

ศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ : กรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็กใน  
จังหวัดน่าน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Potential to Reduce Carbon Footprint by Using Solar Energy : A Case Study of Small  
Hotels in Nan Province



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture in Architecture  
Department of Architecture  
FACULTY OF ARCHITECTURE  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2022  
Copyright of Chulalongkorn University

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | ศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงาน   |
| โดย                             | แสงอาทิตย์ : กรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน |
| สาขาวิชา                        | นายพิสิฐพงศ์ ตันติมาสน์                           |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | สถาปัตยกรรม                                       |
|                                 | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ ینگโรจน์ฤทธิ์       |

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| .....   | คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์       |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรายุทธ ทรัพย์สุข)         |                                 |
| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์                      |                                 |
| .....   | ประธานกรรมการ                   |
| (ศาสตราจารย์ ดร.อรรถนัย เศรษฐบุตร์)           |                                 |
| .....   | อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ ینگโรจน์ฤทธิ์) |                                 |
| .....   | กรรมการ                         |
| (รองศาสตราจารย์ ดร.พรณชลัท สุริโยธิน)         |                                 |
| .....   | กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย        |
| (รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)       |                                 |

พิธีรूपงศ์ ดันตีมารสน์ : ศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ :  
 กรณีสึกษาโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน. ( Potential to Reduce Carbon Footprint by  
 Using Solar Energy : A Case Study of Small Hotels in Nan Province) อ.ที่ปรีกษา  
 หลัก : ผศ. ดร.วรภัทร์ อิงคโรจนัฎฤทธิ์

ปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวที่มีการใช้พลังงานตลอด 24 ชม. ในปัจจุบันอาคารประเภทโรงแรมในประเทศไทยมีการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมยังหากแต่งานวิจัยในด้านการชดเชยคาร์บอนในอาคารประเภทโรงแรมยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในโรงแรมขนาดเล็กซึ่งเป็นโรงแรมทางเลือกหลักของนักท่องเที่ยวชาวไทย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้โรงแรมขนาดเล็ก (2 ชั้น ขนาด 928 และ 820 ตร.ม.) ในจังหวัดน่านเป็นกรณีสึกษา งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์ซึ่งพิจารณาในเรื่องของ พื้นที่หลังคาอาคาร รูปทรงหลังคา รูปร่างอาคาร มุมเอียงหลังคา มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ ทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 8 ทิศทาง โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 และ ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาแนวทางในการติดตั้งที่เหมาะสม

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่เหมาะสม คือ รูปแบบการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี และปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ รูปร่างอาคาร มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18 องศา การวางแนวอาคารและการหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถผลิตพลังงานได้ดีที่สุด คือทิศใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีผลตอบแทนทางการเงิน (Internal rate of return: IRR) อยู่ที่ 11.00% ใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 8.60 ปี ท้ายที่สุด งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรีกษาหลัก .....

# # 6470022025 : MAJOR ARCHITECTURE

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

Pisitpong Tuntimas : Potential to Reduce Carbon Footprint by Using Solar Energy : A Case Study of Small Hotels in Nan Province. Advisor: Asst. Prof. VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D.

Global warming is a major problem caused by inefficient use of resources, especially in tourism industry, in which electricity was consumed 24 hours a day in hotel building. Nowadays, while solar photovoltaic systems (PV) are installed to reduce the carbon footprint of Thai hotels, research on carbon offset of hotel buildings is limited, especially in small hotels which are the main choice of hotels for Thai tourists. The purpose of this research was to evaluate potential to reduce carbon footprint by using solar energy systems. A small hotel (2 stories, 928 and 820 sq.m.) in Nan province was used as a case study. This simulation research considered building roof area, roof shape, building shape, roof inclination angle tilt angle of solar panels and installation direction of solar panels in all 8 directions. Building energy consumption and carbon footprint were estimated with the DesignBuilder v7.0.1.006 energy simulation program. An economics evaluation analysis was performed to determine the optimal installation characteristics.

The results showed that the solar PV system should be installed to cover the annual building's electricity consumption. The main factors contributing to the potential to reduce carbon footprint were building shape, solar panel tilt angle of 18 degrees, orientation of solar panels to the south and southwest with a financial return (Internal rate of return: IRR) of 11.00% and a payback period of 8.60 years. Finally, this research proposes the solar PV installation recommendations for small hotels in Nan Province.

Field of Study: Architecture

Student's Signature .....

Academic Year: 2022

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วรภัทร์ ینگโวจน์ฤทธิ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ตลอดจนถึงติดตาม ความก้าวหน้า ในการดำเนินงานที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ศาสตราจารย์ ดร.อรรถนั ศรีษฐบุตร กรรมการรองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน และ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยัมประยูร ที่สละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

รวมไปถึงพนักงานทุกคนของโรงแรมในอาคารกรณีศึกษา ที่ให้การสนับสนุน ทั้งทางด้านของข้อมูล ความรู้คำแนะนำ ตลอดจนถึงการอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอดและขอบคุณพี่ เพื่อน น้อง และเพื่อนร่วมหลักสูตรทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก

พิสิฐพงศ์ ต้นติมาสน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....   | ค    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....  | ง    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | จ    |
| สารบัญ .....  | ฉ    |
| สารบัญตาราง .....   | ช    |
| สารบัญภาพ .....   | ฉ    |
| บทที่ 1.....  | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....  | 5    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา .....   | 5    |
| 1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....  | 6    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....   | 7    |
| 1.6 คำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา .....   | 7    |
| บทที่ 2.....  | 8    |
| 2.1 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม.....   | 8    |
| 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....   | 12   |
| 2.3 การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร (Building Integrated Photovoltaics)..... | 18   |
| บทที่ 3.....  | 23   |
| 3.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย .....                         | 25   |
| 3.2 การสำรวจพื้นที่และการเลือกกลุ่มตัวอย่าง .....                               | 25   |
| 3.3 การออกแบบการทดลอง .....   | 33   |

|                        |   |     |
|------------------------|---|-----|
| 3.4                    | จำลองศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....   | 35  |
| 3.5                    | วิเคราะห์ข้อมูล.....  | 42  |
| 3.6                    | สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล .....  | 45  |
| บทที่ 4                | .....   | 46  |
| ผลการวิจัยและอภิปรายผล | .....   | 46  |
| 4.1                    | ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case.....                   | 46  |
| 4.2                    | เปรียบเทียบศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ .....  | 50  |
| 4.3                    | ผลประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ .....   | 54  |
| 4.4                    | การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารโรงเรียนกรณีสึกษา.....                              | 73  |
| บทที่ 5                | .....   | 98  |
| 5.1                    | ผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case.....     | 99  |
| 5.2                    | ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case.....            | 100 |
| 5.3                    | ผลการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารโรงเรียนกรณีสึกษา.....  | 101 |
| 5.4                    | ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารกรณีสึกษา .....            | 102 |
| 5.5                    | สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบ ติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงเรียนขนาดเล็ก ในจังหวัดน่าน ..... | 105 |
| บรรณานุกรม             | .....   | 112 |
| ประวัติผู้เขียน        | .....   | 117 |



สารบัญตาราง

| ตารางที่      | หน้า |
|---------------|------|
| ตารางที่ 3.1  | 36   |
| ตารางที่ 3.2  | 41   |
| ตารางที่ 4.1  | 46   |
| ตารางที่ 4.2  | 49   |
| ตารางที่ 4.3  | 51   |
| ตารางที่ 4.4  | 55   |
| ตารางที่ 4.5  | 64   |
| ตารางที่ 4.6  | 67   |
| ตารางที่ 4.7  | 72   |
| ตารางที่ 4.8  | 73   |
| ตารางที่ 4.9  | 76   |
| ตารางที่ 4.10 | 78   |
| ตารางที่ 5.1  | 99   |
| ตารางที่ 5.2  | 103  |
| ตารางที่ 5.3  | 105  |
| ตารางที่ 5.4  | 106  |
| ตารางที่ 5.5  | 108  |
| ตารางที่ 5.6  | 109  |

สารบัญภาพ

| ภาพที่   | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ 1.1 คีย์ภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ.....   | 2    |
| ภาพที่ 1.2 กำลังการผลิตระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2551 - 2561.....   | 3    |
| ภาพที่ 1.3 แนวโน้มการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกตั้งแต่ปี 2005-2018.....  | 3    |
| ภาพที่ 1.4 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579.....  | 4    |
| ภาพที่ 2.1 ประเภทของกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก.....  | 9    |
| ภาพที่ 2.2 ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....   | 13   |
| ภาพที่ 2.3 เครื่องควบคุมการชาร์จ.....  | 14   |
| ภาพที่ 2.4 แบตเตอรี่ลิเธียม.....   | 15   |
| ภาพที่ 2.5 อินเวอร์เตอร์.....  | 16   |
| ภาพที่ 2.6 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง.....   | 17   |
| ภาพที่ 2.7 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ.....   | 18   |
| ภาพที่ 2.8 ผลการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงผลร่มเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis 2010 และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ..... | 19   |
| ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้ามหาวิทยาลัยบูรพา.....  | 20   |
| ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....  | 24   |
| ภาพที่ 3.2 ลงพื้นที่สำรวจโรงแรมในเมืองน่าน.....  | 25   |
| ภาพที่ 3.3 ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา.....  | 26   |
| ภาพที่ 3.4 รูปร่างอาคารโรงแรมในเมืองน่าน.....  | 29   |
| ภาพที่ 3.5 ขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยของรูปร่างอาคารโรงแรมในเมืองน่าน.....  | 30   |
| ภาพที่ 3.6 ประเภทหลังคาของโรงแรมในจังหวัดน่าน.....   | 30   |
| ภาพที่ 3.7 ผังอาคารโรงแรม Base Case.....   | 31   |
| ภาพที่ 3.8 โมเดลจำลองอาคารโรงแรม Base Case.....  | 32   |
| ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือ.....  | 34   |
| ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างการตั้งค่าสภาพอากาศ CHN_YUNNAN_MENGLA_CSWD.....  | 37   |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| ภาพที่ 3.11 | เปรียบเทียบ Daylight Hours เพื่อตรวจสอบไฟล์สภาพอากาศ .....  | 38 |
| ภาพที่ 3.12 | ตัวอย่างการแสดงผลจำลองพลังงานแสงอาทิตย์.....  | 39 |
| ภาพที่ 3.13 | ตัวอย่างการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์.....  | 40 |
| ภาพที่ 3.14 | ตัวอย่างการแสดงผลจำลองพลังงานแสงอาทิตย์.....  | 42 |
| ภาพที่ 4.1  | แผนภูมิเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด.....            | 47 |
| ภาพที่ 4.2  | แผนภูมิเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 2 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด..... | 48 |
| ภาพที่ 4.3  | แผนภูมิเปรียบเทียบงบประมาณในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี.....                              | 50 |
| ภาพที่ 4.4  | แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบเต็มพื้นที่หลังคา.....                                     | 52 |
| ภาพที่ 4.5  | แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา.....                            | 53 |
| ภาพที่ 4.6  | แผนภูมิเปรียบเทียบงบประมาณในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี.....                              | 54 |
| ภาพที่ 4.7  | แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape.....                   | 56 |
| ภาพที่ 4.8  | แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape.....                   | 57 |
| ภาพที่ 4.9  | แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape.....                           | 58 |
| ภาพที่ 4.10 | แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape.....                           | 59 |
| ภาพที่ 4.11 | แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape.....           | 60 |
| ภาพที่ 4.12 | แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape.....                            | 61 |

|   |    |
|---|----|
| ภาพที่ 4.13 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape.....                | 63 |
| ภาพที่ 4.14 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape.....                            | 65 |
| ภาพที่ 4.15 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape.....                | 66 |
| ภาพที่ 4.16 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape.....                | 67 |
| ภาพที่ 4.17 แผนภูมิเปรียบเทียบ ระยะเวลาคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape.....                  | 69 |
| ภาพที่ 4.18 แผนภูมิเปรียบเทียบ ระยะเวลาคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง L-Shape.....                  | 70 |
| ภาพที่ 4.19 แผนภูมิเปรียบเทียบ ระยะเวลาคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape.....      | 71 |
| ภาพที่ 4.20 แนวการวางอาคารกรณีศึกษา.....  | 73 |
| ภาพที่ 4.21 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคาและครึ่งของพื้นที่หลังคา..... | 77 |
| ภาพที่ 4.22 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของของอาคารกรณีศึกษา 1.....  | 81 |
| ภาพที่ 4.23 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของของอาคารกรณีศึกษา 2.....  | 82 |
| ภาพที่ 4.24 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของของอาคารกรณีศึกษา 3.....  | 82 |
| ภาพที่ 4.25 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของของอาคารกรณีศึกษา 4.....  | 83 |
| ภาพที่ 4.26 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของของอาคารกรณีศึกษา 5.....  | 84 |
| ภาพที่ 4.27 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี.....                          | 85 |
| ภาพที่ 4.28 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษา 1.....   | 86 |
| ภาพที่ 4.29 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษา 2.....   | 87 |
| ภาพที่ 4.30 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษา 3.....   | 87 |
| ภาพที่ 4.31 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษา 4.....   | 88 |
| ภาพที่ 4.32 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษา 5.....   | 89 |

ภาพที่ 4.33 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง.....90

ภาพที่ 4.34 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 1.....91

ภาพที่ 4.35 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 2.....92

ภาพที่ 4.36 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 3.....93

ภาพที่ 4.37 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 4.....94

ภาพที่ 4.38 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 5.....95

ภาพที่ 4.39 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง.....96

ภาพที่ 5.1 ปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อแผงในหนึ่งวันของทิศต่างๆ.....100

ภาพที่ 5.2 แนวทางการออกแบบอาคารโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลให้สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ดีที่สุด.....109



## บทที่ 1

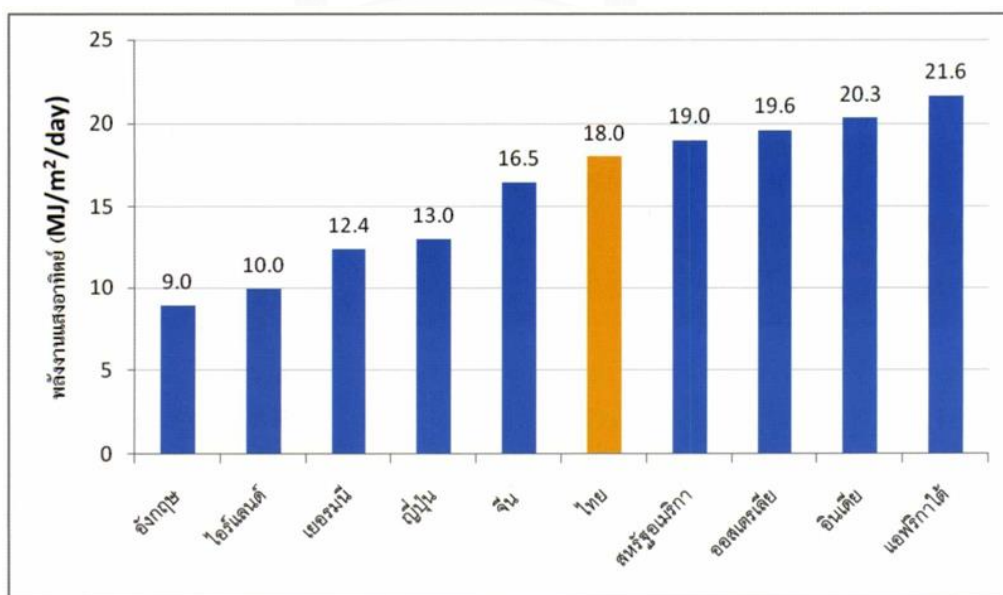
### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้พลังงานของโลกที่เติบโตอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับปัญหาด้านอุปทาน การหมดไปของแหล่งพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การทำลายชั้นโอโซน ภาวะโลกร้อน (Global warming) สภาพภูมิอากาศการเปลี่ยนแปลง ฯลฯ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความเสียหายในด้านเศรษฐกิจ สังคมและสภาพการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก โดยมีนักท่องเที่ยวเดินทางเข้า-ออกประเทศในปี พ.ศ. 2562 จำนวนกว่า 39.9 ล้านคน (กรมการท่องเที่ยว, 2562) ทำให้เศรษฐกิจของประเทศเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วพร้อมกับจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อรูปแบบของความต้องการในการใช้พลังงานของประเทศเป็นอย่างมาก โดยอุตสาหกรรมโรงแรมเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญในภาคอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวที่มีการขยายตัวตลอดเวลา เนื่องจากมีการใช้ทรัพยากรพลังงานเป็นจำนวนมากและมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูง (Gössling และคณะ, 2014) เพื่อใช้ในการให้บริการ ไม่ว่าจะเป็น การซักล้าง การผลิตน้ำร้อน และการประกอบอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงถึง 60.09% เมื่อเทียบจากการใช้งานทั้งหมด (พงษ์ชัย พงษ์สวัสดิ์, 2557) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โรงแรมเป็นหนึ่งในภาคส่วนสำคัญของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Vatan & Yilmaz, 2020)

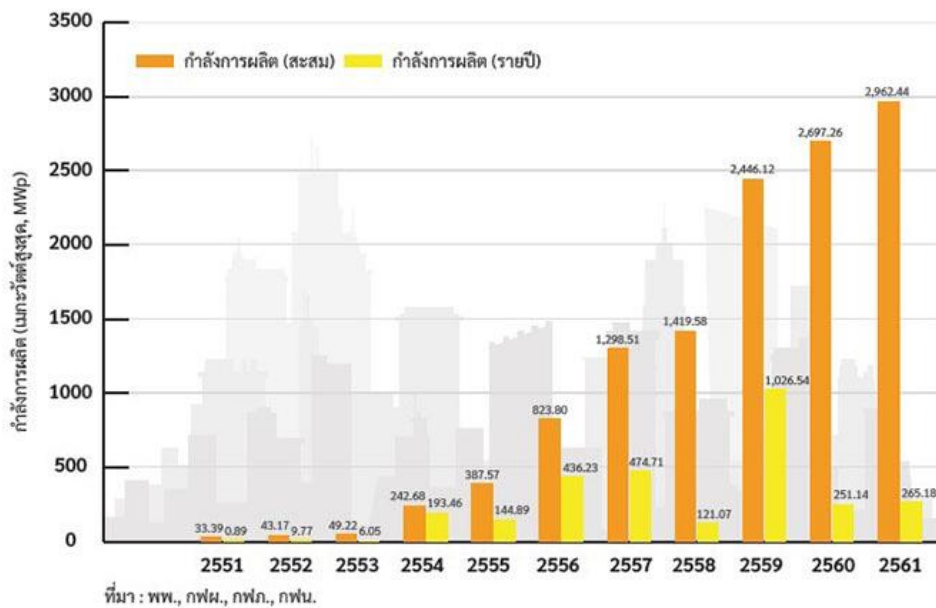
จากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรมอันเป็นเหตุก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ในปัจจุบันได้มีแนวทางในการการวัดผลกระทบจากกิจกรรมที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สร้างขึ้นมาจากกิจกรรมนั้นๆ ขององค์กร หรือ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization, CFO) ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการช่วยลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ทรัพยากรที่น้อยลง และจัดทำแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่มีการปล่อยมากที่สุดนั่นก็คือพลังงานไฟฟ้า (พงษ์ชัย พงษ์สวัสดิ์, 2557) โดยอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือการหันมาพึ่งพาการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบของพลังงานสะอาดเพิ่มมากขึ้น โดยรัฐได้มีนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริม ไม่ว่าจะเป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี จากทางกระทรวงพลังงาน ที่ต้องการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้จากภายในประเทศ โดยพลังงานทดแทนที่รัฐมีการ

ส่งเสริมทั้งในภาคเอกชนและครัวเรือน คือระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน จึงมีแหล่งผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มากมายจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานสะอาดจากธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนเป็นความร้อนและไฟฟ้าได้ ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงหลายพื้นที่ ได้แก่ ภาคใต้และภาคเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุดรธานี และบางพื้นที่ในภาคกลาง พื้นที่รวมศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์คิดเป็นประมาณ 14.3% ของพื้นที่โดยรวมของประเทศ โดยได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันที่ประมาณ 19 – 20 MJ/m<sup>2</sup>-วัน ในขณะที่อีก 50% ของประเทศได้รับแสงแดดประมาณ 18 – 19 MJ/m<sup>2</sup>-วัน จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตระบบพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูง มีค่าเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 18.0 เมกะจูลต่อตารางเมตร/วัน (MJ/m<sup>2</sup>-day) จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 1.1 อีกทั้งในปัจจุบันระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้นวัตกรรมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และยังเป็นเทคโนโลยีที่ทั่วโลกให้การสนใจเพิ่มมากขึ้นในทุกๆ ปี ดังแสดงในภาพที่ 1.2 โดยในประเทศไทยได้มีกำลังในการผลิตระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปีดังแสดงในภาพที่ 1.3 จึงส่งผลต่อกลไกการตลาดจึงทำให้ต้นทุนในการติดตั้งลดลง และมีในปัจจุบันประเทศไทยได้มีนโยบาย Solar ภาคประชาชน ปี 2565 ที่จะทำการรับซื้อไฟฟ้า 2.20 บาทต่อหน่วยตามนโยบายของ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ และ นโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (สำนักงานและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558) ดังแสดงในภาพที่ 1.4 จึงทำให้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแนวทางการใช้พลังงานทดแทนที่ทั้งภาคเอกชนและครัวเรือนสามารถเข้าถึงได้ง่ายมากยิ่งขึ้นกว่าในอดีต

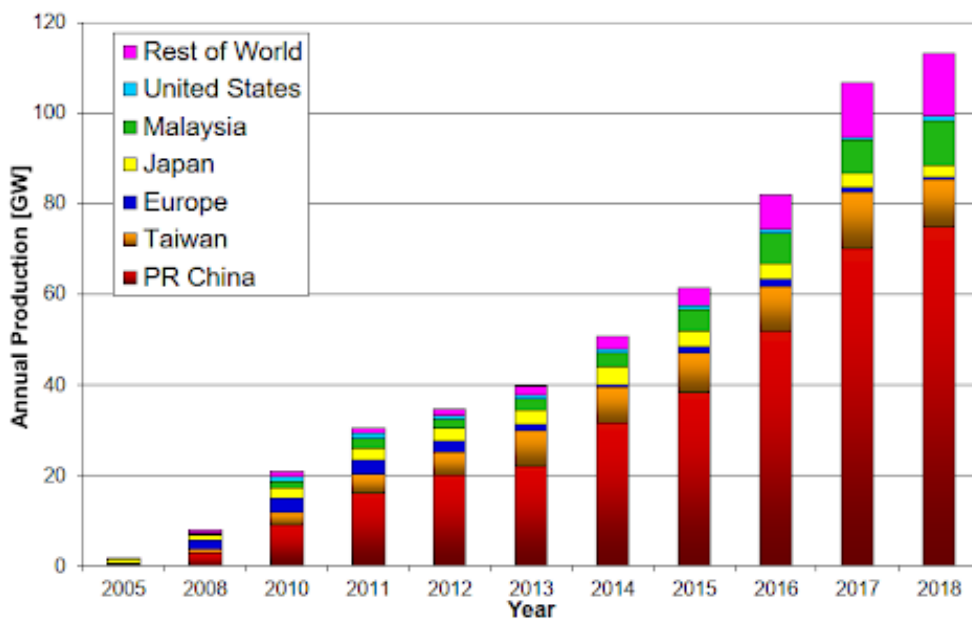


ภาพที่ 1.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ

(ที่มา: ทีมข่าว TCJ, 2559)

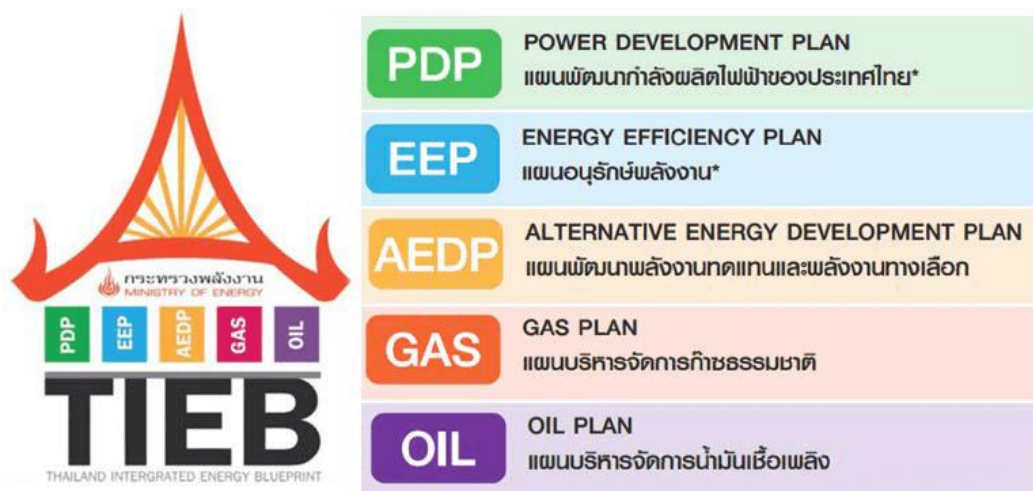


ภาพที่ 1.2 กำลังการผลิตระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2551 – 2561 (ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561)



ภาพที่ 1.2 แนวโน้มการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกตั้งแต่ปี 2005-2018 (ที่มา: Jäger-Waldau, 2020)





ภาพที่ 1.4 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579

(ที่มา: สำนักงานและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558)

ในภาคส่วนอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทย รัฐบาลได้มีการผลักดันให้เกิดนโยบายการส่งเสริมการท่องเที่ยวเมืองรอง เพื่อการกระตุ้นการท่องเที่ยวในเมืองรอง โดยจังหวัดน่านเป็นอีกจังหวัดหนึ่งในประเทศไทย ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกสุดของภาคเหนือ ด้านการท่องเที่ยวของจังหวัดน่านมีอัตลักษณ์ ทั้งสถานที่ทางประวัติศาสตร์โบราณคดี สถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติ อีกทั้งปัจจุบันได้มีโครงการที่ยาวนานใส่ใจไร้คาร์บอนจากทางสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อการพัฒนาแบบการท่องเที่ยวคาร์บอนต่ำสำหรับการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในจังหวัดน่าน ซึ่งเป็นแผนงานหนึ่งที่มุ่งเน้นการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ เพื่อตอบโจทย์ยุทธศาสตร์ประเทศ กลุ่มท่องเที่ยวไทยไร้คาร์บอนโดยโครงการได้มีการส่งเสริมในการเลือกพักที่โรงแรมสีเขียว (Green Hotel) และเพื่อปลูกฝังให้นักท่องเที่ยวมีความตระหนักและคำนึงถึงการรักษาสีเขียวสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นจากปัญหาภาวะโลกร้อนอันเป็นสาเหตุเนื่องมาจากการใช้ทรัพยากรพลังงานเป็นจำนวนมากจากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว โดยเฉพาะภาคส่วนโรงแรม เนื่องจากธุรกิจดังกล่าวเป็นธุรกิจที่มีการดำเนินกิจการตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งต้องใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ สำหรับการดำเนินธุรกิจ แต่สำหรับในประเทศไทยพบว่าการศึกษาวิจัยด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคธุรกิจโรงแรมยังมีการค้นคว้าอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในโรงแรมขนาดเล็ก รวมไปถึงงานวิจัยที่มีการนำพลังงานหมุนเวียนระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอาคารประเภทโรงแรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อโรงแรมขนาดเล็ก โดยเลือกโรงแรมในเมืองน่านเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากสามารถช่วยส่งเสริมและผลักดันนโยบายการท่องเที่ยวไร้คาร์บอน อีกทั้งลักษณะทาง

กายภาพของโรงแรมในเมืองน่าน มีทั้งรูปร่างอาคาร ชนิดหลังคาและพฤติกรรมการใช้พลังงานของ โรงแรมขนาดเล็กซึ่งมีความแตกต่างจากโรงแรมขนาดอื่นๆ จึงต้องการศึกษาเพื่อเสนอแนวทางรูปแบบ การติดตั้งที่เหมาะสมและรูปร่างอาคารและรูปแบบหลังคาของโรงแรมในเมืองน่านที่เหมาะสมต่อการ ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการสร้างจิตสำนึกที่ดีให้แก่บุคลากรภายในโรงแรมร่วมมือ ช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง อันจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไปได้ในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งต่อที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบ พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปร่างอาคารและรูปแบบหลังคาของโรงแรมขนาดเล็กใน จังหวัดน่านที่ส่งต่อต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วย ในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางในการติดตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารโรงแรม ขนาดเล็กในจังหวัดน่าน ที่คำนึงถึงรูปแบบในการติดตั้งและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยใน การลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการวิจัยจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นที่จะเก็บข้อมูล จำนวนมาก จึงต้องมีการกำหนดขอบเขตข้อมูลที่นำมาศึกษา เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูล ได้ตรงตาม วัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

1.3.1 สสำรวจเฉพาะลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของ อาคารโรงแรมขนาดเล็กในเมืองน่าน จำนวน 5 อาคาร

1.3.2 งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบ ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทโรงแรมขนาดเล็ก ที่มีจำนวน ห้องพักไม่เกิน 50 ห้อง

## 1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้องกับ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร

1.4.2 การประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารประเภทโรงแรม  
สำรวจพื้นที่

1.4.2.1 สำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารโรงแรมในจังหวัดน่าน ได้แก่ ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) ข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร)

1.4.2.2 สำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี พ.ศ. 2561-2564 เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร โรงแรมขนาดเล็ก สำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร

1.4.3 การออกแบบการทดลอง

1.4.3.1 การกำหนดตัวแปร

1) ตัวแปรต้นด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) รูปทรงหลังคาอาคาร รูปร่างอาคาร (I-Shape และ L-shape) มุมเอียงหลังคาและมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (18 องศา 20 องศา 25 องศา และ 30 องศา) ทิศทางหลังคาอาคาร 8 ทิศทาง

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh) ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง ( $\text{KgCO}_2\text{eq}$ ) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท) ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนภายใน และ ระยะเวลาคืนทุน)

1.4.4 จำลองศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.4.5.1 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า

1.4.5.2 เปรียบเทียบศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.4.5.3 เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.4.6 สรุปผลการวิจัยและอภิปราย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งต่อการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.2 ทราบถึงอิทธิพลของรูปร่างอาคารและรูปแบบหลังคาของโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.5.3 ทราบถึงแนวทางในการติดตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่คำนึงถึงรูปแบบในการติดตั้งและศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

## 1.6 คำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา

**คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)** หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นจากการใช้พลังงาน การเกษตร การพัฒนาและขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง รวมถึงการทำลายสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ

**ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current: DC)** หมายถึง ไฟฟ้าที่มาจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เช่น จาก ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่

**ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current: AC)** หมายถึง ไฟฟ้าที่ถูกแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรง เช่น ใช้อินเวอร์เตอร์ ในการแปลงกระแสไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านเครื่อง อินเวอร์เตอร์และแปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

**ค่าใช้จ่ายในการลงทุน** หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับระบบ

**มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)** คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการ ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ

**อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)** หมายถึง อัตราผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

**ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)** หมายถึง ระยะเวลาที่ได้รับกระแสเงินสดจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี แสดงหน่วยเป็น จำนวนปีและเดือน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย เรื่อง การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารโรงแรมในจังหวัดน่าน ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

- 2.1 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม
- 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.3 การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร

#### 2.1 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม

##### 2.1.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงแรม

อุตสาหกรรมโรงแรมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย โดยโรงแรมมีการใช้ทรัพยากรจำนวนมาก โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีสาเหตุโดยตรงจากการใช้ทรัพยากรในปริมาณมากของโรงแรม โดยทรัพยากรหลักที่มีการใช้พลังงาน ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า น้ำ (Bohdanowicz และคณะ, 2011) อีกทั้งความแออัดและเสียงรบกวน (Florido และคณะ, 2019) รวมไปถึงการปล่อยมลพิษจากของเสีย โดยเกิดจากการจัดการสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ได้ไม่ดีเพียงพอ จึงส่งผลให้เกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง (Gössling และคณะ, 2005) โดยโรงแรมมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 20.6 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (KgCO<sub>2</sub>eq) ต่อคืน ดังนั้นอุตสาหกรรมโรงแรมควรมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำจำนวนมาก รวมไปถึงการสร้างของเสีย เพราะฉะนั้นโรงแรมควรควรมีจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าอาคารทั่วไป และควรเลือกวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น เพื่อช่วยลดมลพิษและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม (Ahn และคณะ, 2013)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint, CF) ซึ่งเป็นการวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs) โดยการทำกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กร โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังภาพที่ 2.1 ได้แก่

- ประเภทที่ 1: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct GHG Emission) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร เช่น การเดินทางด้วยยานพาหนะขององค์กร การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในองค์กร การบำบัดน้ำเสียที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ

- ประเภทที่ 2: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Electricity Indirect GHG Emission) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า หรือความร้อนที่ถูกนำเข้ามาจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร ได้แก่ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ความร้อน

- ประเภทที่ 3: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Other Indirect GHG Emission) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ได้แก่ การใช้น้ำประปา การใช้วัสดุสำนักงาน การกำจัดขยะในส่วนของ การขนส่งและการฝังกลบ



ภาพที่ 2.1 ประเภทของกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก  
(ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559)

โดยในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมดังนี้

พงษ์ชัย พงษ์ชวลิต (2557) ได้ทำการหาแนวทางในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรสำหรับโรงแรมขนาดกลางและเล็ก โดยได้คัดเลือกโรงแรมจำนวน 2 แห่งที่มีขนาดกลางและเล็กเป็นตัวแทนในการศึกษา พบได้ว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 553 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>eq) และพบว่า

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดคือเครื่องปรับอากาศ 60.09% รองลงมาคือเครื่องทำน้ำร้อน 17.64% อุปกรณ์ส่องสว่าง 15.05% และอื่นๆ 7.22% นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอแนวทางการลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ พบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย 24.87 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>eq) ต่อปี คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 4.49%

พิมพ์ลภัส พงศกรรังศิลป์ (2560) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการบริโภคในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยวทางทะเลและชายหาด ในพื้นที่อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าแหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือพาหนะในการเดินทางระหว่าง ประเทศ ร้อยละ 61.15 ในขณะที่คาร์บอนฟุตพริ้นท์ภายในประเทศ ส่วนใหญ่เกิดจากธุรกิจที่พัก ร้อยละ 37.10 รองลงมาคือการขนส่งภายในแหล่งท่องเที่ยว และการกำจัดขยะ โดยมีควมมีการใช้มาตรการจูงใจด้านภาษี เพื่อลดปริมาณขยะและส่งเสริมการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ส่งเสริมและการสร้างกิจกรรมทางเลือกที่เน้นการท่องเที่ยวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้นักท่องเที่ยวมากขึ้น

มัลลิกา ทิพย์ไชย (2560) ได้มีการศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงสถาปัตยกรรมโรงแรมตากอากาศ ด้วยแนวคิด การท่องเที่ยวคาร์บอนต่ำ พื้นที่พิเศษหมู่เกาะช้าง พบว่าต้องมีการจัดทำบัญชีเพื่อลดการปล่อยมลพิษจากโรงแรม โดยการนำวิธีการศึกษานี้ไปใช้ในวงกว้างสามารถกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการปล่อยก๊าซคาร์บอน ซึ่งจำเป็นสำหรับการตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนของโรงแรม และพื้นที่เชื่อมโยง จึงมีการเสนอว่าโรงแรมควรเน้นที่การลดการใช้ไฟฟ้าให้น้อยที่สุด เพื่อหาว่าการใช้ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดจึงจำเป็นต้องดำเนินการอย่างละเอียด การตรวจสอบสำหรับโรงแรม

วรินทร์ ฉิมน้อย (2561) ได้ทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในรีสอร์ท บนเกาะสมุย จ.สุราษฎร์ธานี โดยกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกๆ กิจกรรมคือ 88.12% กิจกรรมจากการใช้ Gas LPG เป็นกิจกรรมรองลงมาที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 8.63%

นุรีน ทรงศิริ (2562) ได้มีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโรงแรมขนาดใหญ่ในจังหวัดกรุงเทพมหานครพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโรงแรมขนาดใหญ่ มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม 3,592.40 tonCO<sub>2</sub>eq ต่อคืน โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งสำคัญที่สุดในการสร้างก๊าซเรือนกระจกโดยทางอ้อม มากถึงร้อยละ 85.4 โดยมีการเสนอว่าโรงแรมควรมีการใช้มาตรการจูงใจด้านภาษี เพื่อลดปริมาณขยะและส่งเสริมการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

สาธารณะส่งเสริมและการสร้างกิจกรรมทางเลือกที่เน้นการท่องเที่ยวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้กับนักท่องเที่ยวมากขึ้น

สุวรรณพิทักษ์ และคณะ (2563) การประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกในโรงแรมพัทยา พบว่า จากการวิเคราะห์แหล่งที่มาขอการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ใหญ่ที่สุดของโรงแรมคือปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยคิดเป็น 77% จากสัดส่วนทั้งหมด โดยมีการสร้างแผนนโยบาย คือ การปรับใช้สิ่งจูงใจของตลาดคาร์บอนเพื่อจูงใจเจ้าของและผู้ประกอบการ กลไกนี้จะสร้างการค้าใบอนุญาตคาร์บอนเครดิต และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคส่วนโรงแรมได้

โดยการดำเนินงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมในต่างประเทศ ดังนี้

Taylor และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในสหราชอาณาจักร พบว่าโดยหากต้องการบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยมลพิษ 80% ควรมีการเปลี่ยนแปลง HVAC และการปรับปรุงแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และการผลิตพลังงานหมุนเวียน จะต้องใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานเพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้ เช่น ป้อนความร้อนจากแหล่งพื้นดิน เซลล์แสงอาทิตย์พลังงานแสงอาทิตย์ และชีวมวล

Ming Cheung (2013) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในฮ่องกง โดยต้องการศึกษาวิธีที่โรงแรมต้องการบรรลุพลังงานเป็นศูนย์สุทธิ โดยเลือกใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุดในระบบแสงสว่างและเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่ และในอุปกรณ์ไฟฟ้าของตัวอาคารเอง ทำให้ประหยัดต้นทุนในระยะยาวได้อย่างมาก และมีการเสนอการนำพลังงานหมุนเวียนจากแสงอาทิตย์ ไฟฟ้า/ความร้อนการผลิตพลังงาน รวมไปถึงพลังงานหมุนเวียนจากลมเข้ามาช่วยในการลดการใช้พลังงานในโรงแรม

Joseph H.K.Lai (2015) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในฮ่องกง โดยมีการจัดทำบัญชีคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อทราบสัดส่วนในการปล่อยมลพิษของโรงแรม เพื่อลดการปล่อยมลพิษจากโรงแรม ซึ่งจำเป็นสำหรับการตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนของโรงแรม โรงแรมจึงควรเน้นที่การลดการใช้ไฟฟ้าให้น้อย

Panayiota Pieria และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในประเทศกรีซ โดยทราบถึงความสำคัญของปัจจัยในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคโรงแรม และแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด แต่ปัจจุบันพบว่ายังมีโรงแรมมีเพียง 10% เท่านั้นของโรงแรมที่มีการใช้



ทรัพยากรพลังงานหมุนเวียน ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน เพื่อใช้ในการลดการปล่อยมลพิษ

Rajarajan และ Venkatasubramanian (2016) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม 1-5 ดาว ในประเทศอินเดีย โดยต้องการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมเพื่ออนุรักษ์พลังงานได้และมีการหาแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดด้วย เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้ พบว่า โรงแรมระดับ 3, 4 และ 5 ดาวใช้ไฟฟ้า 80% ที่ซื้อมาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลังงานลม โดยโรงแรมระดับ 1 และ 2 ดาวควรมีการซื้อพลังงานสะอาดด้วยการติดตั้งวิธีการผลิตไฟฟ้าอย่างเพียงพอ

Mohammad Salehi (2021) ได้ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมในประเทศอิหร่าน พบว่าควรมีพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือก ปรับแต่งเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานขององค์กร เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของโรงแรมอย่างสม่ำเสมอ และนำเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานแสงอาทิตย์ควรได้รับการส่งเสริมอย่างเข้มข้นในหมู่ผู้ประกอบการโรงแรมที่ได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอในอิหร่าน

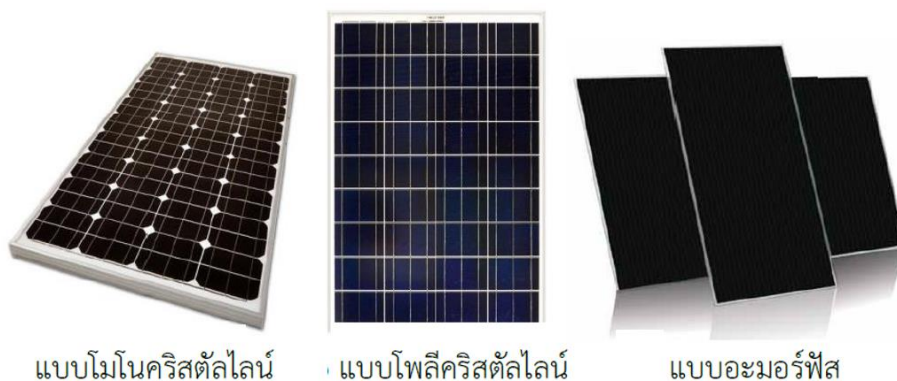
โดยจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมพบว่าภาคส่วนโรงแรมได้มีการคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคโรงแรมเช่นกัน และพบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรมเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด จึงทำให้โรงแรมต่างๆ ต้องจัดทำแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ปัจจุบันยังเป็นเพียงการเสนอแนวทางแบบเบื้องต้นเท่านั้น ยังไม่ได้มีการลงรายละเอียดจึงยังไม่สามารถนำไปปรับใช้ได้โดยตรง

## 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากคู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สามารถแบ่งส่วนประกอบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังนี้

### 2.2.1 อุปกรณ์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

2.2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar panel) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง สามารถแบ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 3 ประเภทดังภาพที่ 2.2 ดังนี้



แบบโมโนคริสตัลไลน์

แบบโพลีคริสตัลไลน์

แบบอะมอร์ฟัส

### ภาพที่ 2.2 ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

- แผงโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์ นั้นเป็นชนิดที่ทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเริ่มมาจากแท่งซิลิคอนทรงกระบอก อันเนื่องมาจาก เกิดจากกระบวนการ กวนให้ผลึกเกาะกันที่แกนกลาง จึงทำให้เกิดแท่งทรงกระบอก จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยม เพื่อที่จะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบโมโนซิลิคอนลง ทำให้เซลล์แต่ละเซลล์หน้าตาเป็นอย่างไรที่เห็นในแผงโซลาร์เซลล์ มีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 25 ปีขึ้นไป ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าชนิด โพลีคริสตัลไลน์ เมื่ออยู่ในภาวะแสงน้อย

- แผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดแรก ที่ทำมาจากผลึก โดยในกระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ เกิดจากการหลอมซิลิคอนหรือแก้วให้เหลว แล้ว

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวต่อแสงมากที่สุดสามารถรับแสงที่อ่อนๆ ได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้ต่างๆ สามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองและฝนตกชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็มีผลเสีย คือ ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูง มีประสิทธิภาพ 7-8% จึงจำเป็นที่จะต้องใช้พื้นที่บนหลังคามาก

2.2.1.2 เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge controller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็วและเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็ต้องตัดการชาร์จทันที ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เครื่องควบคุมการชาร์จ

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562)

2.2.1.3 แบตเตอรี่ (Battery) ใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และจะทำการปล่อยพลังงานไฟฟ้าไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลาที่ไม่ใช่แสงอาทิตย์ โดยแบตเตอรี่ที่นิยมนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ แบบตะกั่วกรด (lead-acid) อัลคาไลน์ (alkaline) นิกเกิลแคดเมียม (nickel-cadmium) โดยแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดจะนิยมใช้มากที่สุด เพราะมีราคาถูกและมีขนาดความจุสูง แต่ในปัจจุบันได้มีแบตเตอรี่แบบลิเธียม ดังภาพที่ 2.4 โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้มีความหนาแน่นของพลังงานสูง โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นก่อนที่จะใช้หลังจากเก็บมาเป็นเวลานาน มีอัตราการคายประจุของตัวเองต่ำ และไม่จำเป็นต้องดูแลรักษามาก แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่คือจำเป็นต้องใช้วงจรป้องกันแรงดันและกระแสให้อยู่ในเขตปลอดภัย มีการเสื่อมตามเวลาแม้ว่าจะไม่มีการใช้งาน และยังมีอัตราการจ่ายกระแสไม่สูงมาก ไม่เหมาะสมกับงานที่ใช้โหลดหนักๆ



ภาพที่ 2.4 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562)

2.2.1.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยอินเวอร์เตอร์แบบที่นิยมใช้มากที่สุด ก็คือ Grid Tile Inverter ดังแสดงในภาพที่ 2.5 โดยมีหน้าที่ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ ให้กลายเป็นไฟที่สามารถทำการจ่ายเข้าสู่ตัวอาคารได้อย่างปลอดภัย และทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้งานได้เหมือนกับการใช้พลังงานไฟจากแหล่งทั่วไป โดยอินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานเมื่อแผงโซลาร์เซลล์มีพลังงานมากพอ จากนั้นมันจะทำการแปลงไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ที่เป็นไฟกระแสตรง ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ แล้วจึงทำการเชื่อมเข้ากับไฟของการไฟฟ้าหรือกระบวนการ Synchronization เพื่อทำการจ่ายไฟเข้าไปในสายไฟภายในบ้านและอาคาร นอกจากนี้หากเข้าสู่ช่วงแดดอ่อนหรือเมื่อไม่มีแสงแดด อินเวอร์เตอร์ก็จะปรับไปใช้ไฟจากการไฟฟ้ามาจ่ายแทนโดยอัตโนมัติ ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างสะดวก ไม่ต้องกังวลแม้ช่วงแสงแดดอ่อน อีกทั้งยังช่วยลดค่าไฟในระยะยาวได้เป็นอย่างดี นอกเหนือจากความสามารถในการแปลงไฟแล้ว อินเวอร์เตอร์ยังช่วยรักษาระดับไฟให้มีความเสถียร ไม่เกิดการไฟตกหรือไฟอ่อน นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์ยังมีความปลอดภัยในการใช้งานสูงและที่สำคัญอินเวอร์เตอร์บางรุ่นยังสามารถแสดงผลการแปลงไฟและปริมาณไฟที่จ่ายผ่านแอปพลิเคชันมือถือได้อีกด้วย ถือเป็นก้าวใหม่ของเทคโนโลยี

- อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Central Inverter) เป็นเครื่องอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ สามารถต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้พร้อมกันหลายแผงพร้อมกัน ส่งผลให้ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ

- อินเวอร์เตอร์สตริง (String Inverter) เป็นเครื่องอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก สามารถ ติดตั้งกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มเล็กๆ เท่านั้น ทำให้ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้เป็น

จำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนในการก่อสร้างอาจสูงกว่าการใช้ Central Inverter ในระยะแรกได้ อินเวอร์เตอร์สตริง จะมีข้อดี คือ เมื่อกรณีเกิดเหตุขัดข้องกับอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จะสามารถซ่อมบำรุงได้เร็วและ สูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้มีต้นทุนการบำรุงรักษา และ ความเสี่ยงในการ สูญเสียรายได้ต่ำกว่าการใช้ Central Inverter



ภาพที่ 2.5 อินเวอร์เตอร์

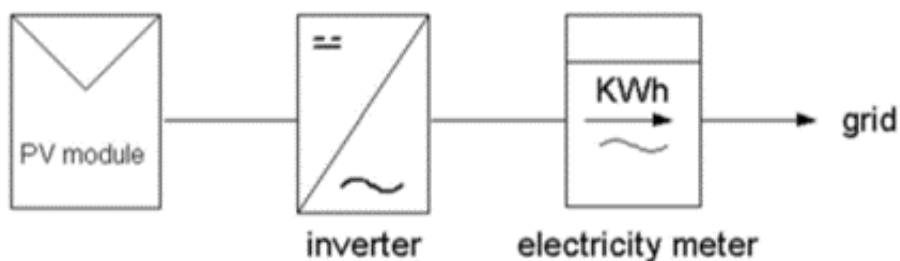
(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562)

## 2.2.2 ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งเป็น 2 ระบบ ตามลักษณะการใช้งาน ดังต่อไปนี้

### 2.2.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ดังแสดงในภาพที่ 2.6 หากไฟฟ้าที่ผลิตไม่เพียงพอ อาคารสามารถใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าได้ โดยการสนับสนุนจากภาครัฐ เป็นระบบเหมาะกับอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในช่วงกลางวัน เช่น อาคารสำนักงาน อาคารสำนักงานกึ่งที่พัก และ อาคารประเภทโรงงาน



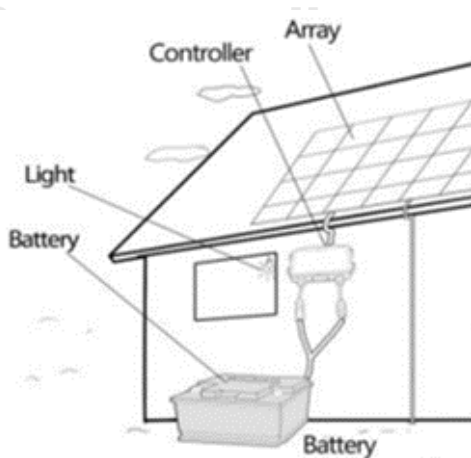
ภาพที่ 2.6 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562)

#### 2.2.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Off-grid system)

เป็นระบบที่ไม่เชื่อมต่อการไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกเก็บในแบตเตอรี่ และนำมาใช้งานเมื่อเราเปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยปริมาณความจุของแบตเตอรี่ (จำนวนลูกแบตเตอรี่) จะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการใช้พลังงานของบ้านแต่ละหลัง ในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล ไฟฟ้าอาจจะตกหรือดับอยู่บ่อยครั้ง การใช้ระบบ off grid ช่วยทำให้ระบบไฟฟ้าในบ้านไม่ได้รับความเสียหายจากไฟตก ไฟดับ ที่เกิดขึ้นนี้ เหมาะกับอาคารที่มีการใช้พลังงานในช่วงเวลากลางคืน

#### จุพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.7 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562)

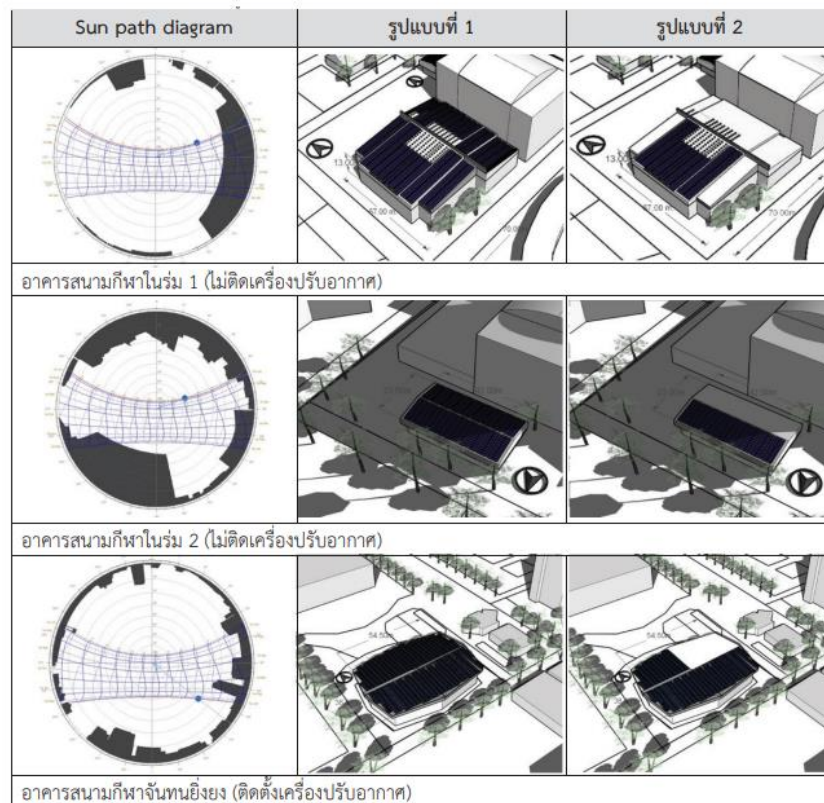
## 2.3 การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร (Building Integrated Photovoltaics)

สุรียนต์ ชมดี (2558) การลงทุนผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในครัวเรือนในเชิงประหยัดค่าไฟฟ้า อัตราค่าไฟฟ้า ทั้งนี้ราคาค่าไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จากต้นทุนด้านพลังงาน ในการศึกษาที่ตั้ง สมมุติฐานให้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3% ต่อปี ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาด 3,000 วัตต์, 5,000 วัตต์ และ 10,000 วัตต์ ในจังหวัด เชียงใหม่ พบว่า ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 12.11 ปี, 10.25 ปี และ 9.51 ปี แต่พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 3,000 วัตต์ จะไม่เหมาะสม ในการลงทุนทุกจังหวัดแต่ระบบขนาด 5,000 วัตต์ ขึ้นไปจะมีแนวโน้มที่จะผ่านเกณฑ์ความเหมาะสม ในการลงทุนติดตั้ง ซึ่งให้ผลตอบแทนสูงกว่าการ ลงทุนในพันธบัตรรัฐบาล

อังสนา พจนศิริ (2559) ศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการติดตั้งระบบ ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก โดยทำการติดตั้งบนหลังคาโรงงาน ในพื้นที่ปริมณฑล โดยผลที่ได้คือ การติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทโรงงาน ระบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system) มีความเป็นไปได้ที่จะลงทุนมากกว่าระบบอิสระ (Off-grid system) เนื่องจากมี ระยะเวลาในการคืนทุนที่เร็วกว่าและรูปแบบที่ติดตั้งมีความเหมาะสมต่อพฤติกรรมการใช้งานมากกว่า

กฤติเดช ดวงใจบุญ (2561) ศึกษาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนของอาคาร ธุรกิจประเภทโรงแรม โดยทำการศึกษาในโรงแรมขนาดกลาง ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ตขนาดของระบบ ที่ 25% ของความต้องการน้ำร้อนทั้งหมด โดยติดตั้งตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ขนาด 40 m<sup>2</sup> ร่วมกับความ ร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ชุด ผลิตน้ำร้อนรวมได้วันละ 2,987 ลิตร/วัน เป็นปริมาณน้ำ ร้อนที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ 2,375 ลิตร/วัน

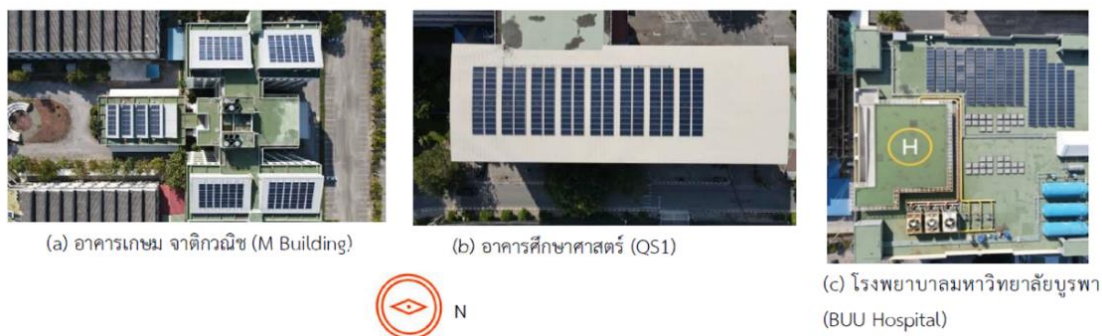
วรรณจิต จันทร์เสละ (2562) ศึกษาศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสนามกีฬาใน โดยมีการจำลอง Sun Path แสดงผลร่องเงาสำหรับการ ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.8 โดยหลังจากการจำลองศักยภาพการ ผลิตฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 พบว่า หลังคาที่เหมาะสมในการลงทุนมากที่สุดคือหลังคาทรงเพิงหมาแหงน มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา หลังคาอาคารหันไปทางทิศใต้ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด และรูปแบบการติดตั้งระบบผลิต พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติมีศักยภาพในการลงทุนที่สุด



ภาพที่ 2.8 ผลการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงผลรังเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis 2010 และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ  
(ที่มา: วรณจิต จันทรเสละ, 2562)

โชคชัย ชื่นวัฒนา (2565) ได้ศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาอาคารศึกษา 5 ดังแสดงในภาพที่ 2.9 โดยพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลผลิตไฟฟ้า โดยผล ทิศทางและมุมเอียงของแผง ในขณะที่การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพและชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลกระทบน้อยต่อ ผลผลิตที่ได้ ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากสถานที่ติดตั้งจริง โดยนำผลจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลผลผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบที่ติดตั้งอยู่จริง จำนวน 5 ระบบ





ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยบูรพา

(ที่มา : โชคชัย ชื่นวัฒนา, 2565)

จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร โดยจากแหล่งข้อมูลในงานวิจัยในประเทศไทย พบว่าเป็นการศึกษาในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยเป็นส่วนมาก และอาคารประเภทอื่นๆ ที่ได้มีการศึกษา เช่น อาคารเรียน โรงยิม โรงพยาบาลของมหาลัย รวมไปถึงอาคารธุรกิจในขนาดต่างๆ แต่ในภาคส่วนของโรงแรม ยังมีการค้นคว้าอย่างจำกัด โดยปัจจุบันในภาคโรงแรมมีการศึกษาเฉพาะเพียงระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ยังไม่ได้มีการคำนึงถึงส่วนของระบบปรับอากาศและระบบส่องสว่างที่เป็นสัดส่วนที่มีการใช้พลังงานสูงในอาคารประเภทโรงแรม อีกทั้งยังเป็นการศึกษาในกรณีศึกษาเพียงในโรงแรมขนาดกลาง ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต แต่ในปัจจุบันยังขาดข้อมูลประเด็นการเสนอแนวทางการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโรงแรมทางเลือกหลักของนักท่องเที่ยวชาวไทย (มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด, 2564)

โดยการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือระยะเวลาในการคืนทุนเป็นสิ่งอีกหนึ่งสิ่งสำคัญในการลงทุนติดตั้งระบบที่เราจำต้อง พิจารณาก็คือระยะเวลาในการคืนทุน หากการลงทุนมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็ว จะทำให้ได้กำไร ในปริมาณที่มากขึ้นตามอายุการใช้งานสูงสุดของระบบ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ คือ นำต้นทุนในการติดตั้งทั้งหมดไปหารกำไรที่ได้จากการขายไฟฟ้าคืนสู่การไฟฟ้าต่อปี ซึ่งมาจากการนำพลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้เฉลี่ยทั้งปี (หน่วย/ปี) ที่ได้มาจากการ นำไปคูณกับอัตราค่าไฟฟ้าของภาครัฐจากระบบ (บาท/หน่วย) อีกทั้งการเลือกติดตั้งประเภทและขนาดของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อรูปแบบอาคาร ก็จะสามารถทำให้คืนทุนได้เร็วยิ่งขึ้น เช่น งานวิจัยของ สุริยนต์ ชมดี (2558) ได้มีการศึกษาขนาดของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม และนำลงทุนของที่อยู่อาศัยในภาคเหนือ โดยพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 3,000 วัตต์ จะไม่เหมาะสมในการลงทุนทุกจังหวัดแต่ระบบขนาด 5,000 วัตต์ ขึ้นไปจะมีแนวโน้มที่จะผ่านเกณฑ์ความเหมาะสมในการลงทุนติดตั้งซึ่งให้ผลตอบแทนสูงกว่า และงานวิจัยของ อังสนา พจนศิริ (2559) พบว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทใดที่เหมาะสมกับอาคารประเภทโรงงานขนาด โดยสรุปได้ว่าระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On-Grid System) มีความเป็นไปได้ที่จะลงทุนถ้าเทียบกับระบบโดดเดี่ยว (Off-Grid System) จึงจะเห็นได้ว่าความนำลงทุนของโครงการนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของอาคารหรือลักษณะการใช้พลังงานของประเภทอาคารที่แตกต่างกัน แต่ในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารประเภทโรงแรมขนาดเล็กยังมีอยู่อย่างจำกัด

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทรูปการทบทวนงานวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมจากทั้ง 3 หัวข้อ 1) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม 2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 3) การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร (Building Integrated Photovoltaics) จะเห็นได้ว่าปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม พบว่ายังมีการค้นคว้าอยู่อย่างจำกัด รวมไปถึงแนวทางที่เสนอจากงานวิจัยในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นเพียงการเสนอแนวทางเบื้องต้น อีกทั้งยังไม่ได้มีการลงรายละเอียดในการติดตั้งและการวิเคราะห์ศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารโรงแรมขนาดเล็กเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง และพบว่ายังขาดข้อมูลในด้านของประเภทระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับอาคารประเภทโรงแรมขนาดเล็ก โดยจากหัวข้อสุดท้ายในเรื่องการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร พบว่าปัจจุบันข้อมูลในด้านการนำ

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในอาคารประเภทโรงแรมยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะโรงแรมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโรงแรมทางเลือกหลักของนักท่องเที่ยวชาวไทย และยังเป็นโรงแรมที่มีลักษณะการใช้พลังงาน และ สิ่งอำนวยความสะดวกที่แตกต่างจากโรงแรมขนาดอื่น

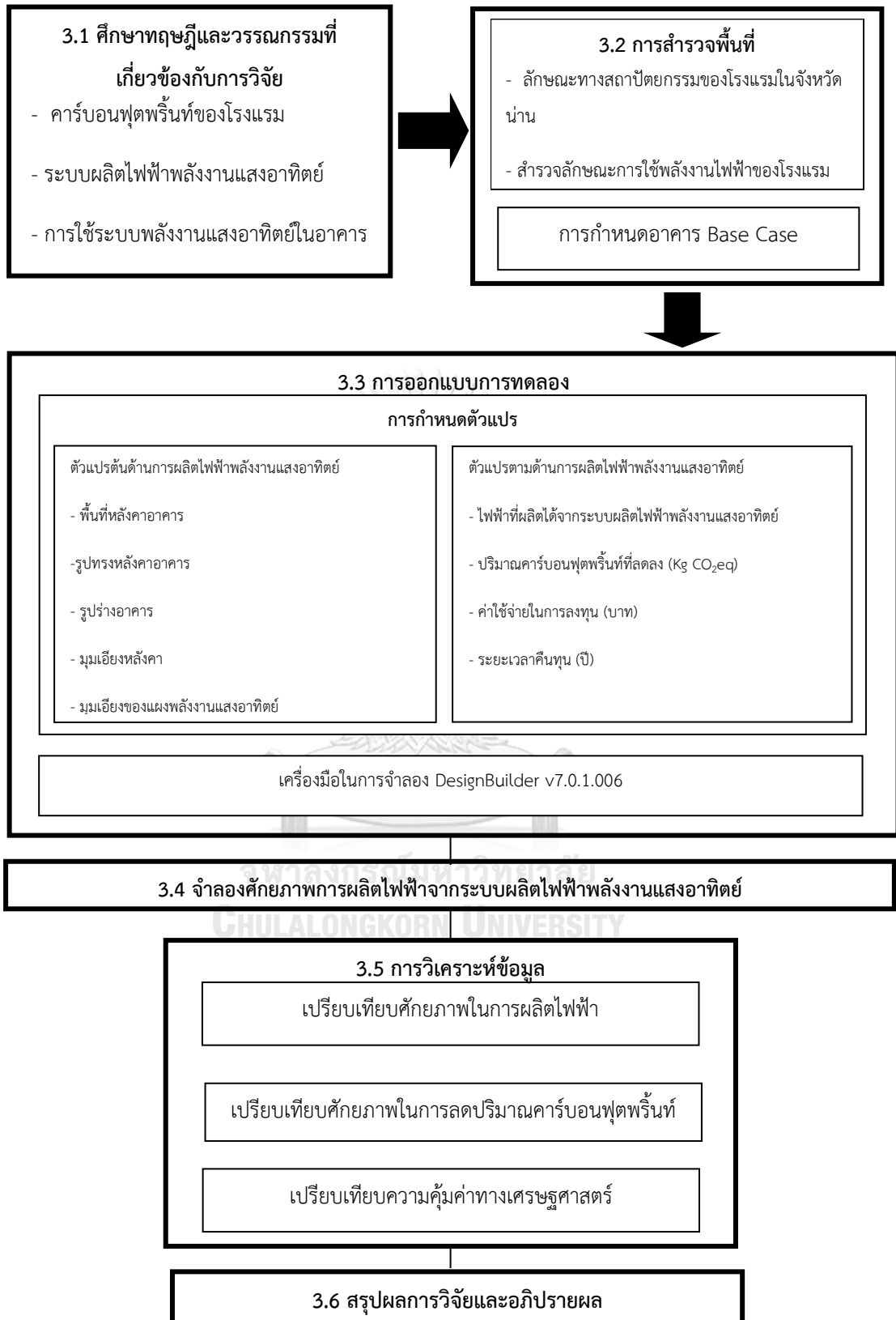
งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ รูปร่างอาคารและรูปแบบหลังคาที่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ รวมไปถึงการเสนอรูปแบบการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และทำการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาในการคืนทุนของแนวทางแต่ละรูปแบบ เพื่อที่จะสามารถเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ที่มีการโรงแรมขนาดเล็กในเมืองน่าน รวมไปถึงผู้ที่ต้องการเปิดกิจการโรงแรมขนาดเล็กและสามารถวางแผนในการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์เพื่อเป็นการส่งเสริมและสร้างจิตสำนึกที่ดีให้แก่บุคลากรภายในโรงแรมให้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาภาวะโลกร้อนและร่วมมือช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันจะนำไปสู่การพัฒนาการท่องเที่ยวที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีการศึกษา

ศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์: กรณีศึกษาอาคาร  
โรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านเป็นการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์ (Simulation Research) โดย  
งานวิจัยนี้ได้ กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ 6 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และมีหัวข้อดังนี้

- 3.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
- 3.2 การสำรวจพื้นที่และการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
- 3.3 การออกแบบการทดลอง
- 3.4 จำลองศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.6 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

### 3.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทั้งหมด 3 เรื่องหลัก ได้แก่ 1) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม 2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 3) การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร

### 3.2 การสำรวจพื้นที่และการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

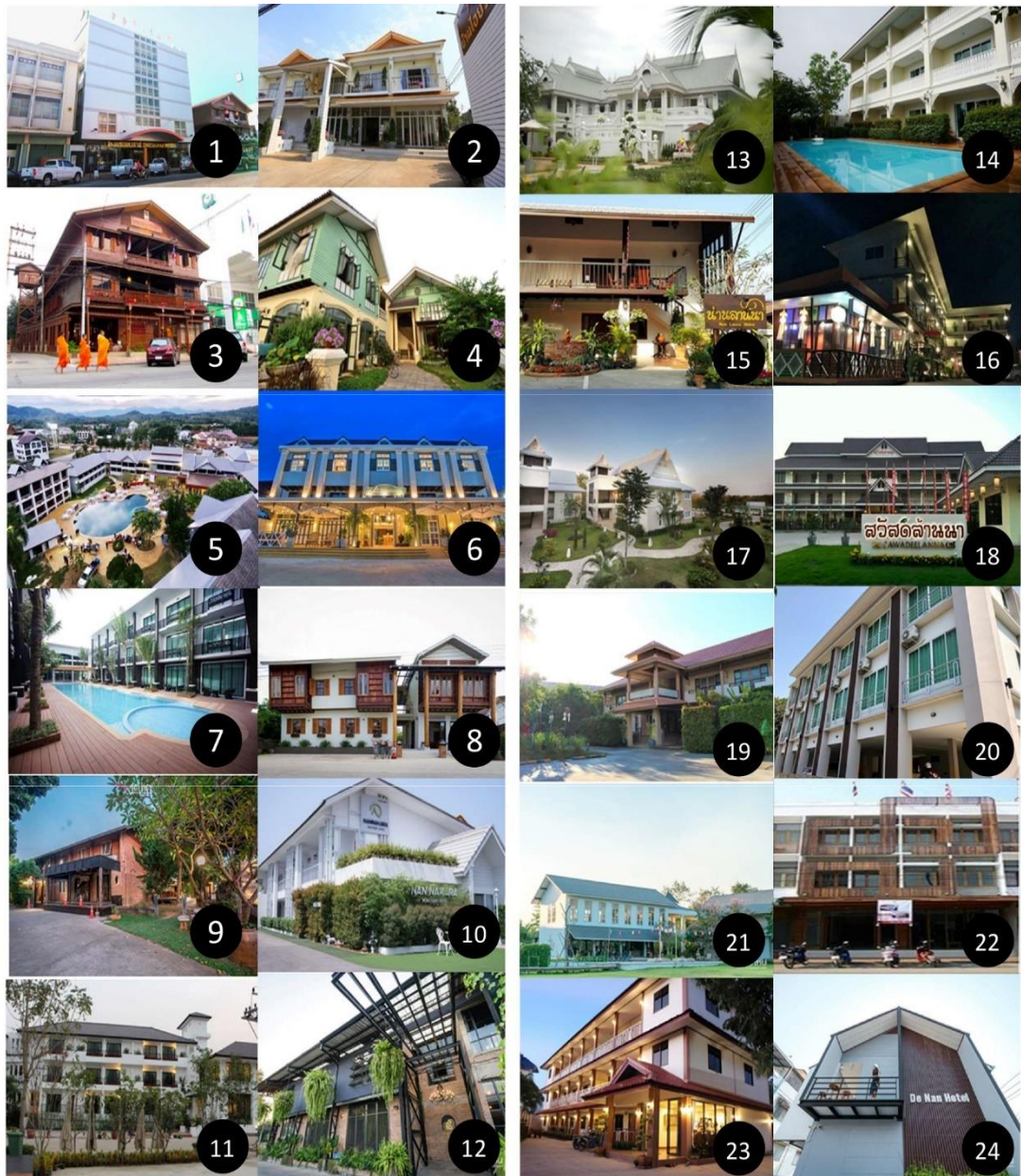
#### 3.2.1 การสำรวจพื้นที่

- สำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโรงแรมในจังหวัดน่าน

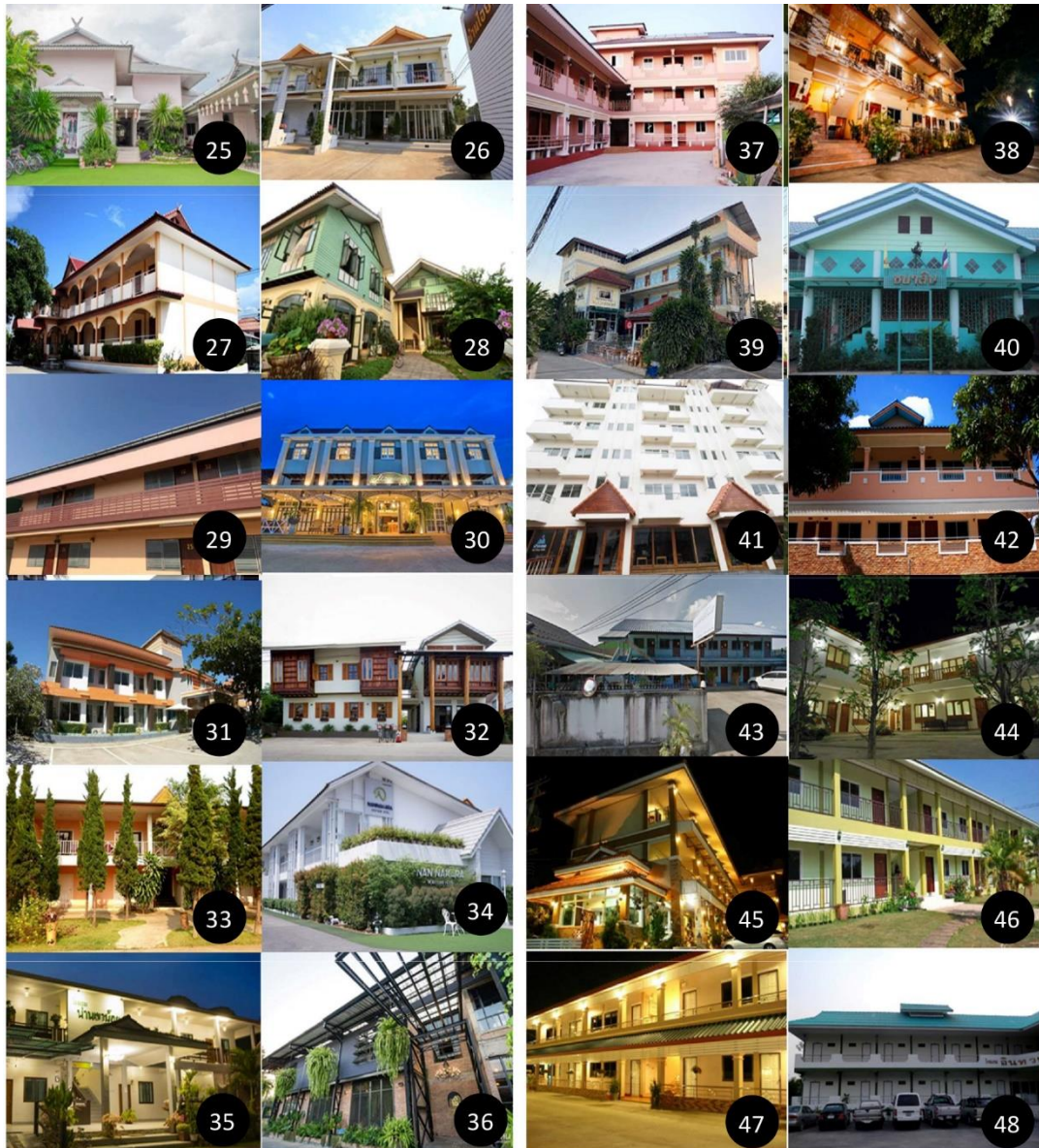
จากการทำการสำรวจโรงแรมในจังหวัดน่านจากการลงพื้นที่ และ การสำรวจผ่าน บราวเซอร์ Google Earth โดยทำการสำรวจโรงแรมทั้งหมด 76 โรงแรม ดังแสดงในภาพที่ 3.2 และ 3.3 โดยมีการสำรวจข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ ขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) รูปร่างอาคาร ความกว้าง ความยาวของอาคาร รูปทรงของหลังคาอาคาร ข้อมูลขนาด พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) มุมเอียงของหลังคาอาคาร (องศา) วัสดุของอาคาร ปริมาณพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (Window-to-Wall Ratio; WWR) วัสดุของอาคาร เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และทำการกำหนดอาคารต้นแบบ (Base Case Building)



ภาพที่ 3.2 ลงพื้นที่สำรวจโรงแรมในจังหวัดน่าน

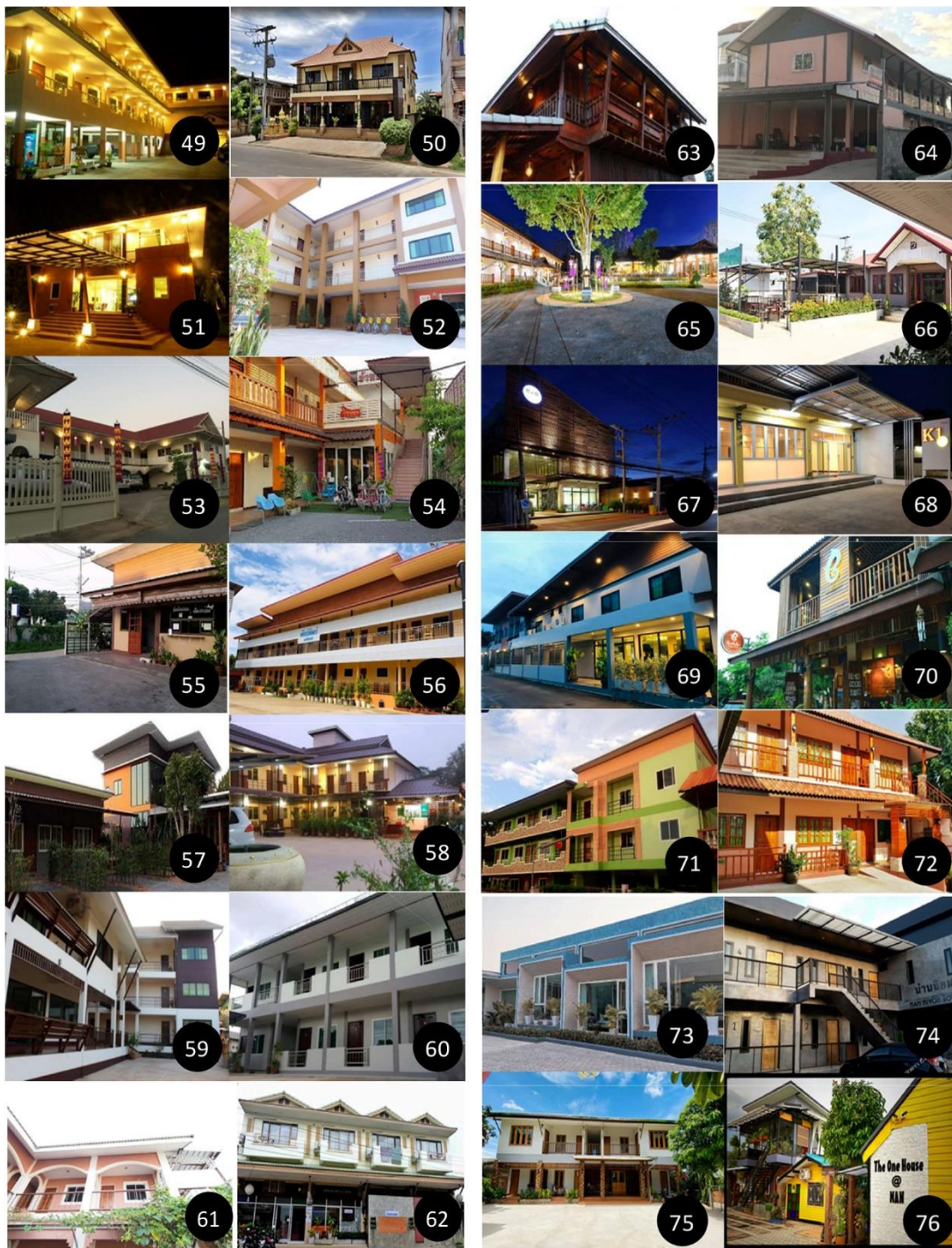


ภาพที่ 3.3 ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.3 ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา (ต่อ)





ภาพที่ 3.3 ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา (ต่อ)

- สำรวลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรมในเมืองน่าน

จากการทำการสำรวจโรงแรมในเมืองน่าน โดยการสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและสอบถามพนักงานดูแล และ ผู้ประกอบการ พบว่าเนื่องจากโรงแรมในเมืองน่านส่วนมากเป็นโรงแรมขนาดเล็ก โดยมีลักษณะเฉพาะ คือ ฟังก์ชันการใช้งานหลักของอาคารคือ ห้องพักอย่างเดียว มีเพียงบางโรงแรมที่มีห้องอาหารประกอบด้วย ตอนกลางวันจะไม่ค่อยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่จะเน้นการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางคืนเป็นหลัก ซึ่งมาจากส่วนของแขกผู้เข้าพัก โดยมาจากการใช้ของ ระบบไฟฟ้า ส่องสว่าง และ เครื่องปรับอากาศเป็นหลัก

### 3.2.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

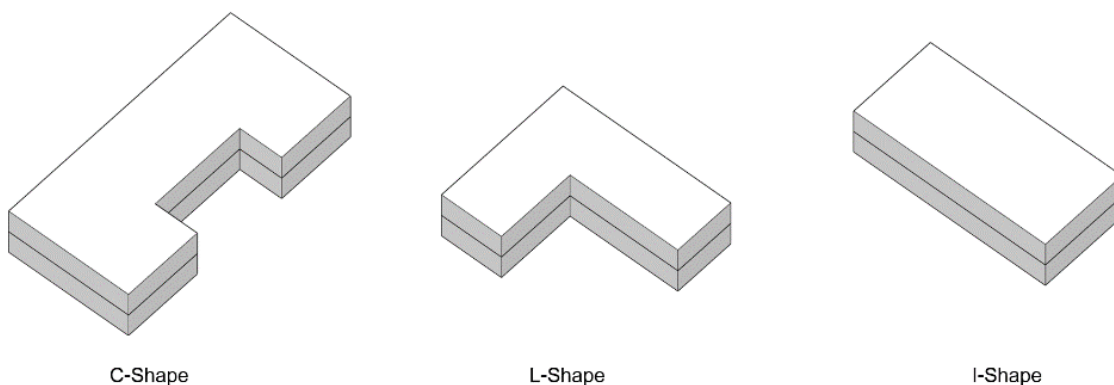
โดยข้อมูลจากการสำรวจโรงแรมในเมืองน่านทั้งหมด 76 โรงแรม ได้กำหนดเกณฑ์ในการเลือกอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้

- ขนาดโรงแรม

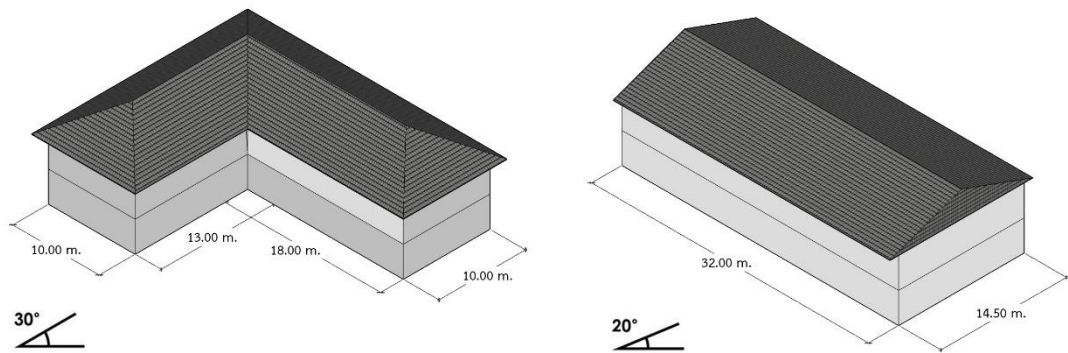
โรงแรมในเมืองน่านมีจำนวนห้องพักเฉลี่ยอยู่ที่ 22.20 ห้อง ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์โรงแรมขนาดเล็ก (มีห้องพักต่ำกว่า 50 ห้อง) และ มีความสูงอาคารเฉลี่ยไม่เกิน 3 ชั้น

- รูปร่างอาคาร

จากการสำรวจพื้นที่ในเมืองน่านพบว่า สัดส่วนรูปร่างอาคารโรงแรมในเมืองน่านแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ 1) I-Shape (64.00%) 2) L-Shape (30.67%) 3) C-Shape (5.33%) ดังภาพ โดยรูปร่างที่มีสัดส่วนเยอะที่สุดคือ I-Shape และ L-Shape ซึ่งมีขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 32 X 14.50 ม. และ 10 x 28 x 23 x 10 x13 x18 ม. ตามลำดับ มุมเอียงของหลังคาเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 20-30 องศา ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และ 3.5



ภาพที่ 3.4 รูปร่างอาคารโรงแรมในเมืองน่าน

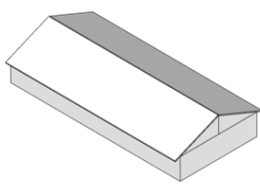


ภาพที่ 3.5 ขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยของรูปร่างอาคารโรงแรมในเมืองน่าน

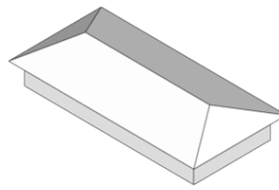
- ประเภทของหลังคา

จากการเก็บข้อมูลสัดส่วนประเภทหลังคาของโรงแรมในเมืองน่านแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ได้แก่ 1) หลังคาอาคารทรงจั่ว 40.79% 2) หลังคาอาคารทรงจั่วผสมปั้นหยา 25.00% 3) หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน 18.42% 4) หลังคาอาคารทรงปั้นหยา 10.50% 5) หลังคาอาคารแบบเรียบ 5.29%

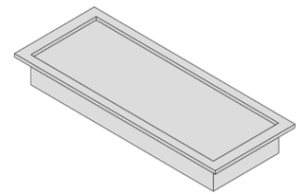
หลังคาอาคารทรงจั่ว



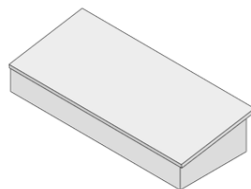
หลังคาอาคารทรงปั้นหยา



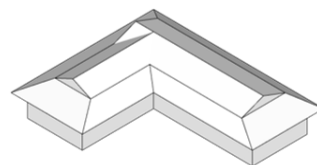
หลังคาอาคารแบบเรียบ



หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน



หลังคาอาคารทรงจั่วผสมปั้นหยา

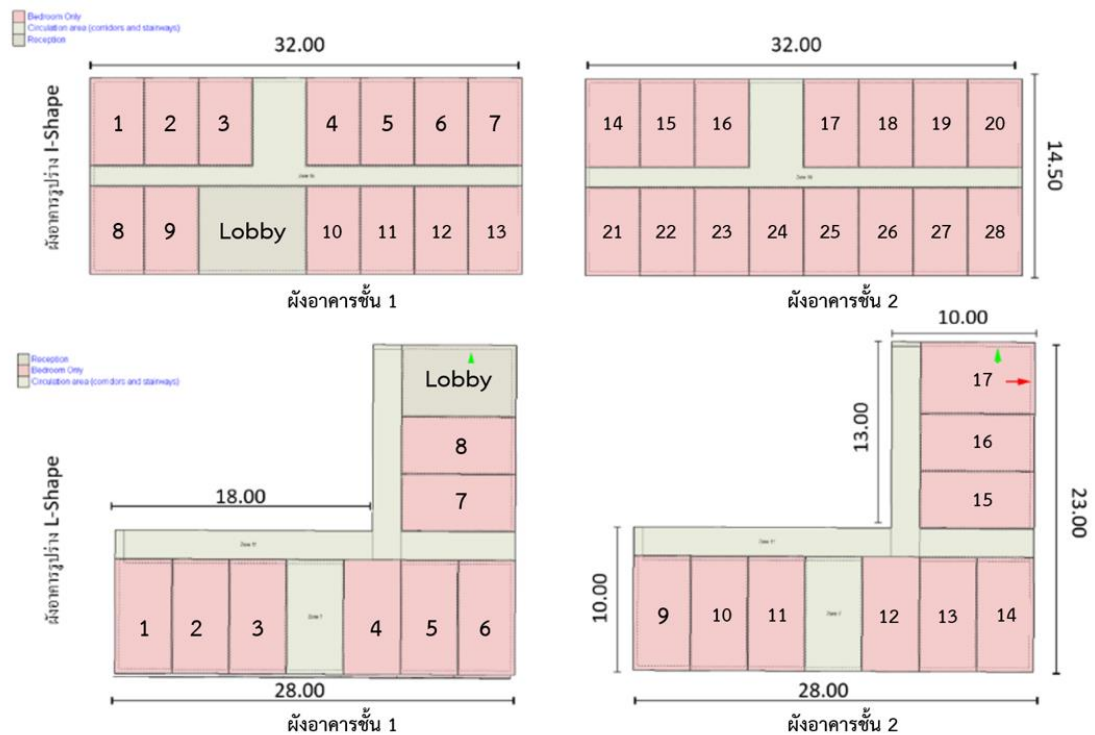


ภาพที่ 3.6 ประเภทหลังคาของโรงแรมในจังหวัดน่าน

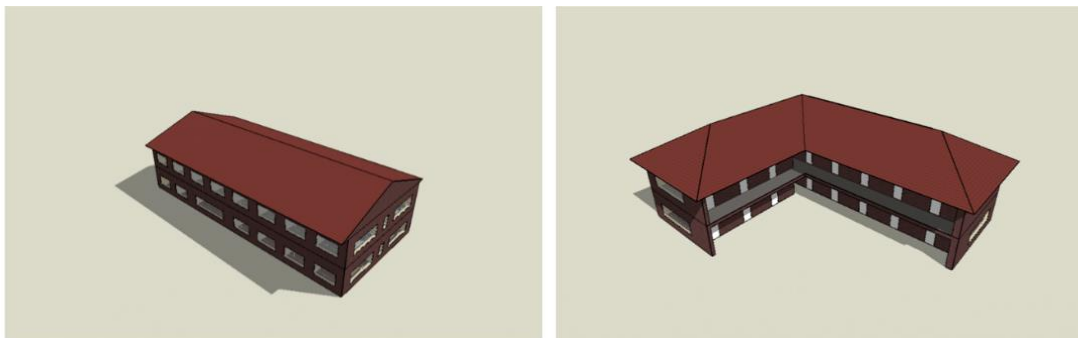
ดังนั้นจากการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโรงแรมในจังหวัด ได้แก่ ขนาดโรงแรม รูปร่างอาคาร และ ประเภทหลังคาจึงสามารถกำหนดอาคาร Base Case ได้ 2 รูปแบบ คือ อาคารรูปร่าง I-Shape และ อาคารรูปร่าง L-Shape โดยผังพื้นที่อาคารและขนาดห้องได้กำหนดจากการประมาณการณจากแบบสถาปัตยกรรมของโรงแรม A และ B ในจังหวัดน่าน ที่สอดคล้องกับอาคารรูปร่าง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

1) อาคารโรงแรม Base Case รูปร่าง I-shape อาคาร 2 ชั้น มีจำนวนห้องพัก 28 ห้อง โดยมีพื้นที่อาคาร 928 ตารางเมตร และมีพื้นที่หลังคา 514 ตารางเมตร มุมเอียงหลังคาที่ 20 องศา มีพื้นที่หลังคา 561.83 ตารางเมตร โดยมีขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 32 X 14.50 ม. ดังแสดงในภาพที่ 3.7 และ ภาพที่ 3.8

2) อาคารโรงแรม Base Case รูปร่าง L-shape อาคาร 2 ชั้น อาคาร มีจำนวนห้องพัก 17 ห้อง โดยมีพื้นที่อาคาร 820 ตารางเมตร และมีพื้นที่หลังคา 598.45 ตารางเมตร มุมเอียงหลังคาที่ 20 องศา ดังแสดงในภาพที่ 3.7 และ ภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 ผังอาคารโรงแรม Base Case



ภาพที่ 3.8 โมเดลจำลองอาคารโรงแรม Base Case

ดังนั้นจากผลการสำรวจพื้นที่ เพื่อเลือกอาคารกรณีศึกษาจากเกณฑ์ในการเลือกอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 3 ข้อ คือ 1) ขนาดของโรงแรมในเมืองน่านซึ่งอยู่ในเกณฑ์โรงแรมขนาดเล็กเป็นส่วนมาก 2) โดยมีรูปร่างอาคาร I-Shape และ L-Shape เป็นหลัก 3) ประเภทของหลังคาของโรงแรมเป็นทรงจั่ว และ ทรงจั่วผสมปั้นหยา จึงแบ่งเป็น อาคารกรณีศึกษา จำนวนทั้งสิ้น 5 กรณีศึกษา ซึ่งมีลักษณะอยู่ในเกณฑ์ข้างต้น ได้แก่

- โรงแรมขนาดเล็กจำนวน 20 ห้อง ความสูง 2 ชั้น อาคารเดี่ยว โดยมีรูปร่างอาคารลักษณะ I-Shape หลังคาแบบ หลังคาอาคารทรงจั่ว มุมเอียงหลังคาที่ 20 องศา

- โรงแรมขนาดเล็กจำนวน 30 ห้อง ความสูง 2 ชั้น ผังแบบ Cluster โดยมีอาคารห้องพัก 2 อาคาร โดยอาคารห้องพักมีรูปร่างอาคารลักษณะ I-Shape และ L-Shape หลังคาอาคารทรงจั่วผสมปั้นหยา มุมเอียงหลังคาที่ 21.50 องศา

- โรงแรมขนาดเล็กจำนวน 26 ห้อง ความสูง 3 ชั้น อาคารเดี่ยว โดยมีรูปร่างอาคารลักษณะ L-Shape หลังคาแบบ หลังคาอาคารทรงจั่วผสมปั้นหยา มุมเอียงหลังคาที่ 22.5 องศา

- โรงแรมขนาดเล็กจำนวน 29 ห้อง ความสูง 3 ชั้น ผังแบบ Cluster โดยมีอาคารห้องพัก 2 อาคาร โดยอาคารทั้งหมดมีรูปร่างอาคารลักษณะ I-Shape หลังคาแบบ หลังคาอาคารทรงปั้นหยา มุมเอียงหลังคาที่ 30 องศา

- โรงแรมขนาดเล็กจำนวน 11 ห้อง ความสูง 2 ชั้น อาคารเดี่ยว โดยมีรูปร่างอาคารลักษณะ L-Shape หลังคาแบบ หลังคาอาคารทรงจั่ว มุมเอียงหลังคาที่ 30 องศา

### 3.3 การออกแบบการทดลอง

#### 3.3.1 กำหนดตัวแปร

การประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์ โดยทำการเลือกประเภทระบบเป็นชนิด Grid-connected system ทำการระบุพิกัดสถานที่ติดตั้ง ณ เมืองน่าน ซึ่งอยู่ที่ละติจูด 18.78 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.77 องศาตะวันออก เลือกฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ และ อุณหภูมิบรรยากาศจากฐานข้อมูลของ ที่สอดคล้องกับสถานที่ติดตั้ง โดยกำหนดใช้ไฟล์สภาพอากาศในเมืองน่าน ไฟล์ CHN\_YUNNAN\_MENGLA\_CSWD จากนั้นทำการกำหนดตัวแปรหลัก ( Main parameter) ได้แก่

##### 1) ตัวแปรต้น

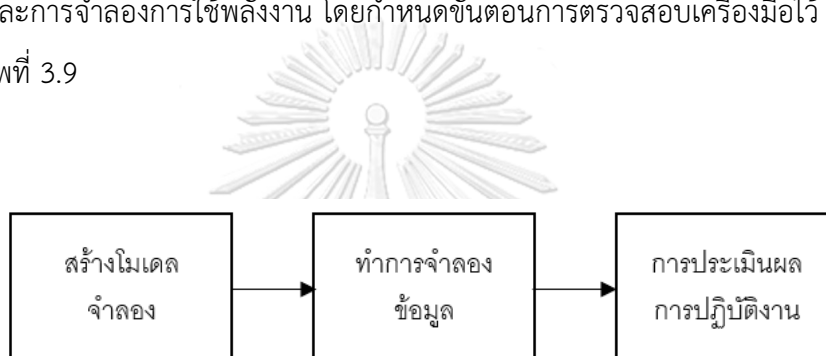
- พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร)
- รูปทรงหลังคาอาคาร รูปร่างอาคาร (I-Shape และ L-shape)
- มุมเอียงหลังคา ( $18^{\circ}$   $20^{\circ}$   $25^{\circ}$  และ  $30^{\circ}$ )
- มุมเอียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ( $18^{\circ}$   $20^{\circ}$   $25^{\circ}$  และ  $30^{\circ}$ )
- ทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง

##### 2) ตัวแปรตาม

- ไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh)
- ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง ( $\text{KgCO}_2\text{eq}$ )
- ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)
- ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนภายใน และ ระยะเวลาคืนทุน)

### 3.3.2 เครื่องมือในการจำลอง

โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือเป็นโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ตัวโปรแกรมมีการผสมผสานการสร้างแบบจำลองอาคารสามมิติที่รวดเร็วเข้ากับการจำลองพลังงานแบบไดนามิก และมีจำลองประสิทธิภาพการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้กับตัวอาคาร อีกทั้งด้วยความง่ายในการใช้งานที่เป็นเอกลักษณ์ และสามารถจำลองเงาที่เกิดขึ้นจากพื้นที่รอบข้าง เพื่อที่จะสามารถทราบถึงพื้นที่ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งยังสามารถจำลองประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ในโปรแกรมเดียว โดยไม่ต้องแยกการจำลองเงาและการจำลองการใช้พลังงาน โดยกำหนดขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือไว้ 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือ

#### 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, 2020)

ข้อมูลความเข้มของการใช้พลังงาน (Lighting Energy Intensity) จากบิลค่าไฟของโรงแรม จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารโรงแรม

2) ทำการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร DesignBuilder v7.0.1.006

3) การประเมินผลการปฏิบัติงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง จากบิลค่าไฟที่ได้ไปเก็บข้อมูลมาจากอาคารกรณีศึกษา และ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการจำลอง ผ่านโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006

โดยจากการทบทวนวรรณกรรม การตรวจสอบเครื่องมือจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ได้มีการใช้เครื่องมือ DesignBuilder v7.0.1.006 ในการการจำลองประสิทธิภาพของระบบพลังงาน แสงอาทิตย์ระหว่างระบบจริงกับการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากผลแสดงให้เห็นว่า ข้อผิดพลาดสูงสุดระหว่างสองผลลัพธ์สำหรับข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดคือประมาณอยู่ที่ระหว่าง 3.7% ถึง 13% (Elghamry, 2020) โดยอีกหนึ่งปัจจัยในความแตกต่างระหว่างผลการจำลองพลังงานของ โปรแกรมและการทำงานอาคารจริงคือการกำหนดตัวแปรและตั้งค่าของพารามิเตอร์ (Fathalian, 2019)

### 3.4 จำลองศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3.4.1 จำลองสภาพร่มเงาบนหลังคาของอาคารกรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็ก โดยทำการจำลอง Sun path Diagram เพื่อแสดงผลร่มเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ทำให้ เพื่อให้ทราบพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม จึงทำการสรุปพื้นที่ และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาอาคารกรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็ก โดยกำหนดติดตั้งแผงบริเวณพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงา จากสภาพแวดล้อมข้างเคียงในช่วงเวลา 09.00 -15.00 น. (Solargis, 2013) ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เหมาะสม

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

ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงาน และเหมาะสมตามความต้องการการใช้พลังงานของแต่ละโรงแรม จากนั้นนำทั้ง 3 กรณีมาวิเคราะห์เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบการจำลองศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า



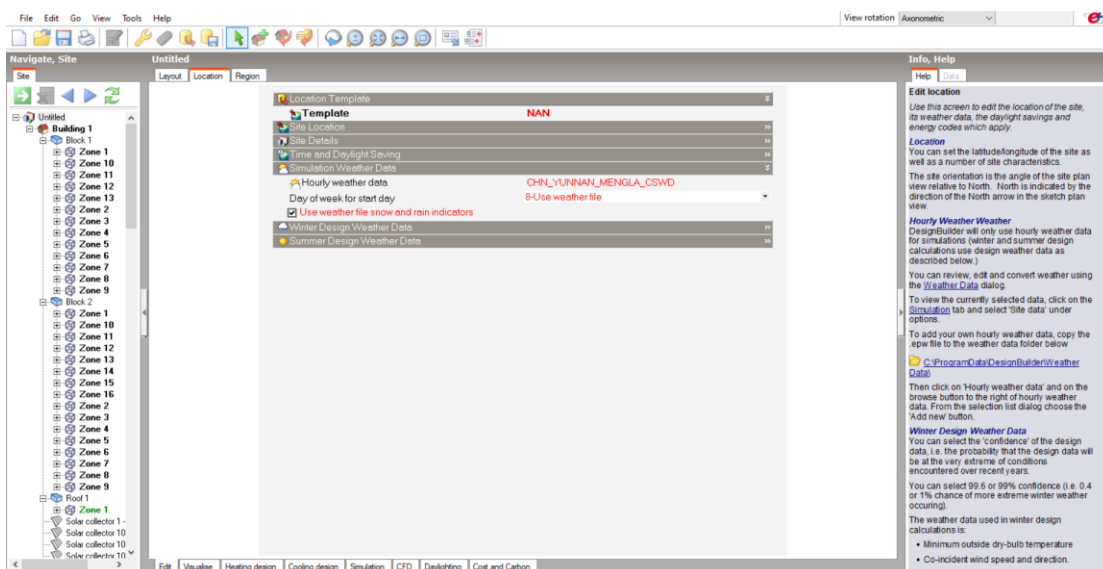
พลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร Base Case และ อาคารกรณีศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อเปรียบเทียบเพื่อยืนยันอีกครั้ง เพื่อเสนอรูปแบบการติดตั้งที่มีศักยภาพสูงที่สุดสำหรับอาคาร Base Case และ อาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 3.1 ทิศทางการวางอาคารกรณีศึกษา

| อาคารกรณีศึกษา  | จำนวนห้อง | ความสูง (ชั้น) | การวางผัง   | รูปร่างอาคาร       | ประเภทหลังคา          | มุมเอียงหลังคา |
|---|-----------|----------------|-------------|--------------------|-----------------------|----------------|
|    | 20        | 2              | อาคารเดี่ยว | I-Shape            | ทรงจั่ว               | 20             |
|   | 30        | 2              | Cluster     | I-Shape<br>L-Shape | ทรงจั่วผสม<br>ปั้นหยา | 21.50          |
|  | 26        | 3              | อาคารเดี่ยว | L-Shape            | ทรงจั่วผสม<br>ปั้นหยา | 22.50          |
|  | 29        | 3              | Cluster     | I-Shape            | ทรงปั้นหยา            | 30             |
|  | 11        | 2              | อาคารเดี่ยว | L-Shape            | ทรงจั่ว               | 30             |

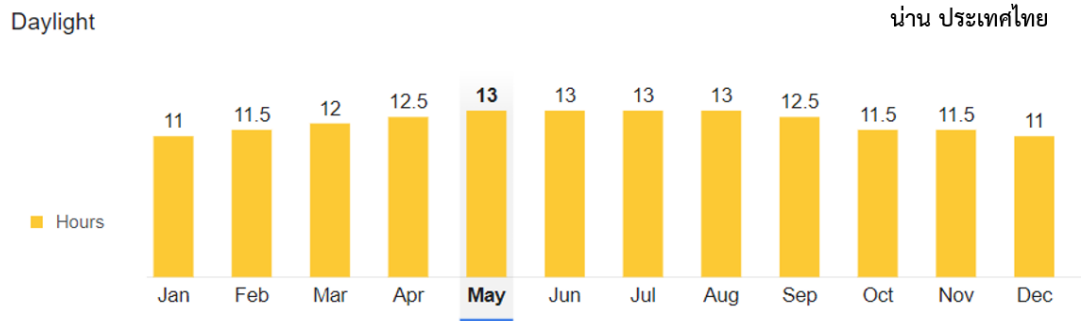
3.4.2 คำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 โดย ทำการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 ปี และคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรายปี โดยมีข้อกำหนด

- กำหนดใช้ไฟล์สภาพอากาศ CHN\_YUNNAN\_MENGLA\_CSWD ดังแสดงในภาพที่ 3.10

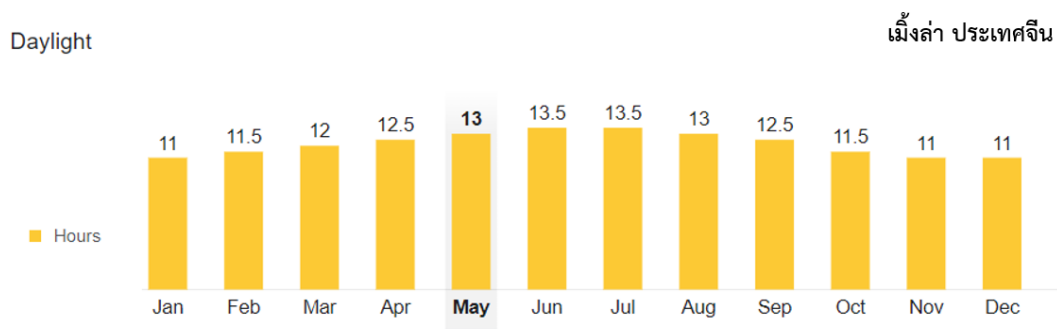


ภาพที่ 3.10 การตั้งค่าสภาพอากาศ CHN\_YUNNAN\_MENGLA\_CSWD

เนื่องจากตัวโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ตั้งค่าไฟล์สภาพอากาศของน่านเป็นไฟล์ CHN\_YUNNAN\_MENGLA\_CSWD หรือ ไฟล์ของอำเภอเมืองลำ มณฑล ยูนนาน ประเทศจีน จึงได้ทำการตรวจสอบช่วงเวลาของพระอาทิตย์ขึ้นและพระอาทิตย์ตก (Daylight Hours) พบว่ามีค่าเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับจังหวัดน่าน ดังแสดงในภาพที่ 3.11 อีกทั้งยังมีลักษณะลมฟ้าอากาศที่ใกล้เคียงกัน โดยมีช่วงฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนสิงหาคม จึงสามารถใช้ตัวไฟล์สภาพอากาศ CHN\_YUNNAN\_MENGLA\_CSWD ได้ ดังที่ตัวโปรแกรมตั้งค่าไว้



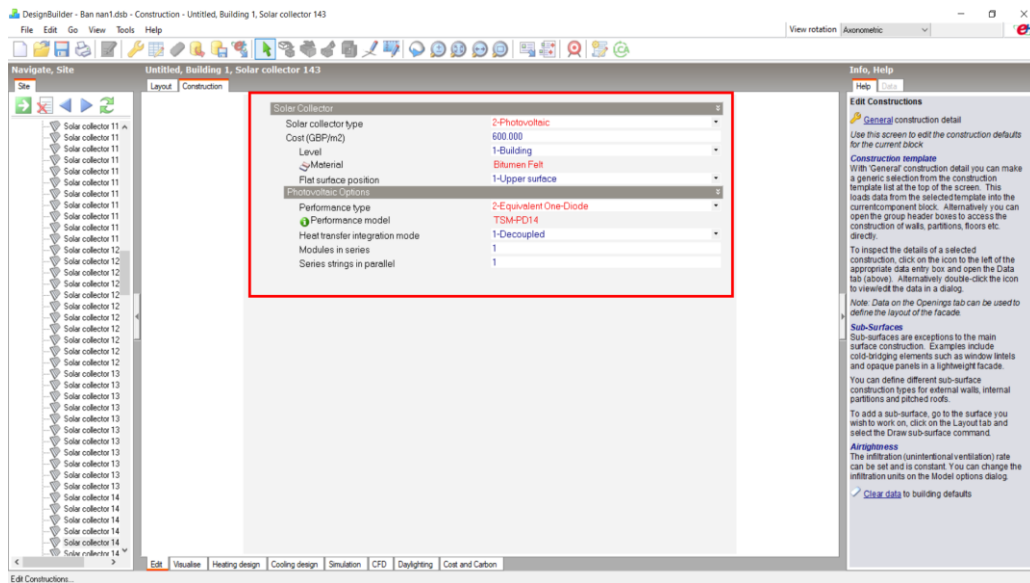
Source: NOAA



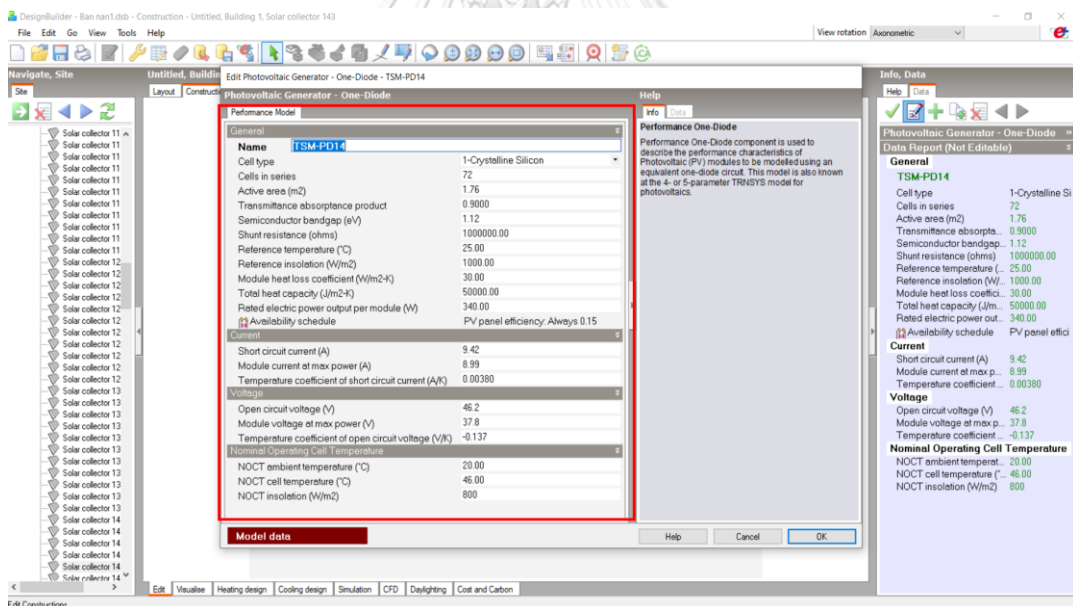
Source: NOAA

ภาพที่ 3.11 เปรียบเทียบ Daylight Hours เพื่อตรวจสอบไฟล์สภาพอากาศ  
(ที่มา: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2565)

- กำหนดใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึกหรือโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 340 วัตต์ต่อแผง ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2,005 x 1,001 มิลลิเมตร โดยกำหนดระบบที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบ Off-grid system เป็นการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งระบบไฟฟ้าส่วนกลางในการใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ยี่ห้อ trina solar รุ่น tsm-pd14 ดังแสดงในภาพที่ 3.12

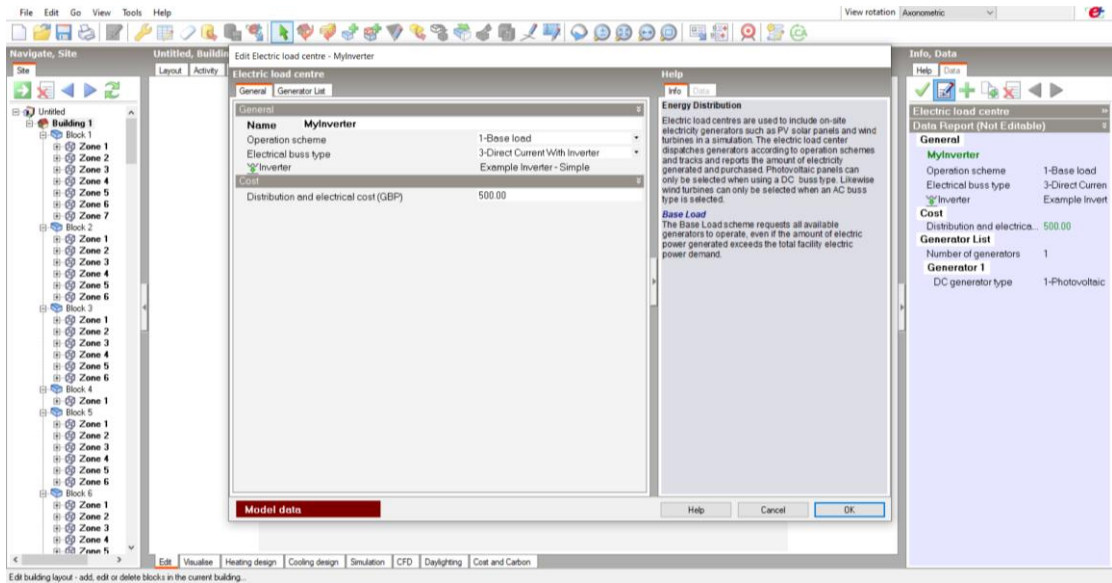


ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างการตั้งค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างการตั้งค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ต่อ)

- กำหนดใช้ประเภทอินเวอร์เตอร์ (String Inverter) โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560) ดังแสดงในภาพที่ 3.13



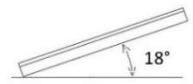



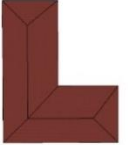











ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์

- กำหนดระบบที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอิสระ (Off-grid system) สามารถเก็บสะสมในระบบสะสมพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่ได้แดดหรือช่วงเวลากลางคืน ซึ่งมีความเหมาะสมกับอาคารประเภทโรงแรม ที่มีการใช้พลังงานในช่วงกลางคืนเป็นหลัก

- กำหนดทิศทางการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังแสดงใน ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรหลักในการจำลองศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

|  |   |  |   |   |  |
|--|---|--|---|---|--|
| <b>1. พื้นที่หลังคาในการติดตั้ง</b><br><b>3. ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี</b> | <b>1. ติดตั้งแบบตั้งพื้นหลังคา</b><br>N<br>    | NE<br>  | <b>3. มุมเอียงหลังคาและแผงเซลล์แสงอาทิตย์</b><br> 18°<br> 20°<br> 25°<br> 30° | <b>4. รูปร่างอาคารและรูปทรงหลังคา</b><br>L-Shape<br> |  |
|  | <b>2. ติดตั้งผนังของพื้นที่หลังคา</b><br>E<br> | SE<br>  |   |   | I-Shape<br>           |
|  | S<br>  | SW<br>  |   |   | หลังคาทรงจั่ว<br>     |
|  | W<br>   | NW<br> |   |   | หลังคาทรงปั้นหย่า<br> |

3.4.3 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 และนำผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมไปถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงในระยะเวลา 1 ปี

- แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรม จากค่าเฉลี่ย ไฟล์สภาพอากาศในจังหวัดน่าน ไฟล์ CHN\_YUNNAN\_MENGLA\_CSWD และ ผลการคำนวณ พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 3.14

Electric Loads Satisfied

|  | Electricity [kWh] | Percent Electricity [%] |
|--|-------------------|-------------------------|
| Fuel-Fired Power Generation                | 0.000             | 0.00                    |
| High Temperature Geothermal*               | 0.000             | 0.00                    |
| Photovoltaic Power                         | 413.524           | 1.17                    |
| Wind Power                                 | 0.000             | 0.00                    |
| Power Conversion                           | -20.68            | -0.1                    |
| Net Decrease in On-Site Storage            | 0.000             | 0.00                    |
| Total On-Site Electric Sources             | 392.848           | 1.11                    |
|  |                   |                         |
| Electricity Coming From Utility            | 34849.185         | 98.89                   |
| Surplus Electricity Going To Utility       | 0.000             | 0.00                    |
| Net Electricity From Utility               | 34849.185         | 98.89                   |
|  |                   |                         |
| Total On-Site and Utility Electric Sources | 35242.032         | 100.00                  |
| Total Electricity End Uses                 | 35242.032         | 100.00                  |

ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างการแสดงผลจำลองพลังงานแสงอาทิตย์

### 3.5 วิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในระยะเวลา 1 ปี หักลบกับปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้จากปีฐาน (2564) ซึ่งจะถูกรวบรวมออกมาเป็นหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kWh) โดยคิดเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (%)

### 3.5.2 เปรียบเทียบศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

คำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตขององค์กรอย่างครบถ้วนเท่าที่จะทำได้และบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรตามขั้นตอนดังสมการที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

โดยที่ CFO= คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

Activity data คือข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก EF (GHG Emission Factors)คือค่าคงที่ ที่ใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการพลังงานไฟฟ้า (kWh) คือ 0.5986 (Kg.CO<sub>2</sub>eq/Unit) อ้างอิงจาก Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)

โดยจะเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงในระยะเวลา 1 ปี หักลบกับ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าจากปีฐาน (2564) ซึ่งจะถูกวัดออกมาเป็น หน่วยตันหรือกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Kg.CO<sub>2</sub>eq) โดยคิดเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (%)

### 3.5.3 เปรียบเทียบศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์

- การประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของ แบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) โดยคำนวณได้จาก สมการที่ 2 โดยกำหนดให้เงิน ที่ใช้ในการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ ทั้งนี้ กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี มอก. จากค่าเฉลี่ยมีอัตราเสื่อมสภาพไม่เกิน 1% ต่อปี และมีค่า บำรุงรักษา 1% ของเงินลงทุน โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัย พลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560)

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

- กรณีอาคารมีการขายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม โดยมีราคารับซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย (kWh) ในอัตรารับซื้อไฟฟ้า 2.20 บาท/หน่วย โดยมีระยะเวลารับซื้อไฟฟ้า 10 ปี ตามนโยบายของ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.)

- กรณีอาคารมีการใช้งานแบตเตอรี่ กำหนดใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ขนาด 10 kWh ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 221,000 บาทต่อลูก โดยอ้างอิงจาก บริษัท โซลาร์ (ไทย แลนด์) จำกัด (2566)

- การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

โดยทั่วไปการวิเคราะห์โครงการจะใช้วิธีการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยการหา ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับหรือผลตอบแทน (มูลค่าปัจจุบันของผลได้) กับ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุน (มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน) ซึ่งสามารถเขียนเป็น สมการดังสมการที่ 3

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



กำหนดให้

$CF_n$  = กระแสเงินสด ณ ปีที่  $n$

$n$  = ระยะเวลาสิ้นสุดโครงการ

$k$  = ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

โดยที่เกณฑ์การยอมรับสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV Acceptance criterion) กิจกรรม จะยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0

- อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal rate of return: IRR) มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิหรือผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายสุทธิหรือต้นทุน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4

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

กล่าวโดยสรุป

$IRR > r$  คຸ້ມคຳແກ່การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

$IRR < r$  ไม่คຸ້ມคຳແກ່การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

$IRR = r$  เสมอตัว

การประเมินระยะเวลาการคืนทุนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) โดยคำนวณได้จาก สมการที่ (3.3) และ (3.4) จากราคารับซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากปีงบประมาณ 2561 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเท่ากับ 4.21 บาทต่อหน่วย โดยอ้างอิงจาก สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2561) โดยมีสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์อ้างอิงจาก กรม พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558) ดังนี้

- ระยะเวลาการคืนทุน (Payback period: PB) ระยะเวลาการดำเนินงานที่มีผลทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการสามารถชดเชยเงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการวิธีการหาระยะเวลาคืนทุนหรือหาจำนวนปีที่จะทำให้ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินที่ลงทุนนี้ ดังสมการที่ 5

คำนวณรายรับต่อปี = ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี(kWh) X 4.21 (บาท)

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน/ ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (5)

### 3.6 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

ทำการสรุปผลการวิจัย โดยการเปรียบเทียบศักยภาพผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละรูปแบบ โดยเปรียบเทียบผลการติดตั้งที่จำลองจากอาคารกรณีศึกษากับอาคาร Base case เพื่อยืนยันผลอีกครั้ง และ เปรียบเทียบจากเกณฑ์หรืองานวิจัยก่อนหน้านี้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว อาคารที่ได้ใบรับรอง LEED จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานน้อยกว่า 25% ถึง 30% เมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป (Amiri และคณะ, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ต้องการลดความเข้มข้นในการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลง 25% ในปี พ.ศ. 2573 โดยเปรียบเทียบการลดการใช้พลังงานในกลุ่มโรงแรมจากการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม กรณีศึกษา โรงแรมริชมอนด์สไตลิส คอนเวนชัน ได้กล่าวว่าถ้ากลุ่มธุรกิจโรงแรมสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างน้อย 10% จะส่งผลทำให้ทิศทางการใช้พลังงานของประเทศนั้นสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน เพื่อเสนอรูปแบบที่เหมาะสมในการลงทุนและรูปแบบในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงแรมขนาดเล็กในเมืองน่าน รวมไปถึงรูปร่างอาคารและรูปแบบหลังคา ของโรงแรมในเมืองน่านที่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร

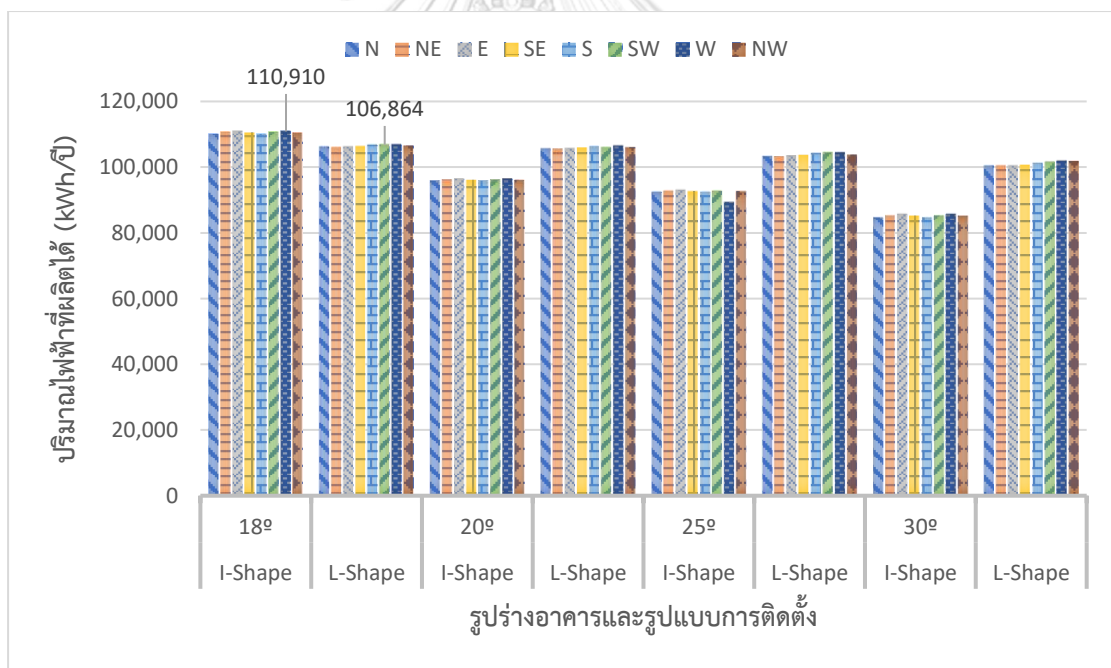
โรงแรม Base Case มีผลการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.1

#### 4.1 ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร

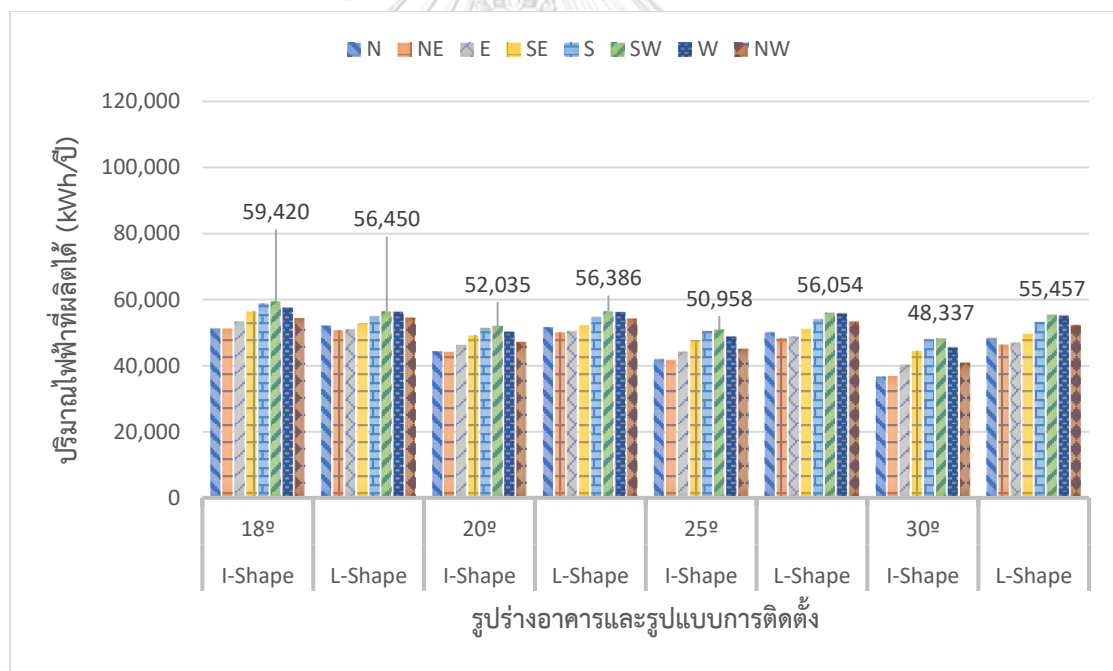
| รูปแบบในการติดตั้ง                   | ทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape |     |     |     |                                  |        |        |        | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape |     |     |     |                                  |         |         |         |
|--------------------------------------|------------------------------|---|-----|-----|-----|----------------------------------|--------|--------|--------|---|-----|-----|-----|----------------------------------|---------|---------|---------|
|                                      |                              | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน<br>(kWh/วัน)      |     |     |     | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี<br>(kWh/ปี) |        |        |        | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน<br>(kWh/วัน)      |     |     |     | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี<br>(kWh/ปี) |         |         |         |
|                                      |                              | 18°                                     | 20° | 25° | 30° | 18°                              | 20°    | 25°    | 30°    | 18°                                     | 20° | 25° | 30° | 18°                              | 20°     | 25°     | 30°     |
| ติดตั้งเพิ่มเติมที่หลังคา            | N                            | 301                                     | 262 | 253 | 231 | 110,076                          | 95,822 | 92,399 | 84,656 | 290                                     | 289 | 282 | 275 | 106,154                          | 105,579 | 103,264 | 100,455 |
|                                      | NE                           | 303                                     | 263 | 253 | 233 | 110,630                          | 96,156 | 92,686 | 85,233 | 290                                     | 289 | 283 | 275 | 105,999                          | 105,443 | 103,143 | 100,455 |
|                                      | E                            | 303                                     | 264 | 254 | 234 | 110,910                          | 96,474 | 93,009 | 85,710 | 290                                     | 289 | 284 | 275 | 106,172                          | 105,654 | 103,405 | 100,430 |
|                                      | SE                           | 303                                     | 263 | 253 | 233 | 110,596                          | 96,119 | 92,707 | 85,270 | 291                                     | 290 | 285 | 276 | 106,489                          | 105,957 | 103,774 | 100,756 |
|                                      | S                            | 301                                     | 262 | 253 | 231 | 110,076                          | 95,882 | 92,399 | 84,656 | 292                                     | 291 | 285 | 277 | 106,800                          | 106,301 | 104,181 | 101,174 |
|                                      | SW                           | 303                                     | 263 | 253 | 233 | 110,630                          | 96,156 | 92,686 | 85,223 | 293                                     | 290 | 286 | 278 | 106,864                          | 105,957 | 104,429 | 101,611 |
|                                      | W                            | 304                                     | 264 | 244 | 234 | 110,910                          | 96,474 | 89,298 | 85,710 | 292                                     | 291 | 285 | 279 | 106,859                          | 106,452 | 104,374 | 101,917 |
|                                      | NW                           | 303                                     | 263 | 253 | 233 | 110,596                          | 96,119 | 92,707 | 85,270 | 291                                     | 290 | 284 | 279 | 106,568                          | 106,045 | 103,867 | 101,869 |
| ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา | N                            | 140                                     | 121 | 114 | 100 | 51,200                           | 44,319 | 41,898 | 36,664 | 142                                     | 141 | 137 | 132 | 52,084                           | 51,545  | 50,040  | 48,321  |
|                                      | NE                           | 140                                     | 120 | 114 | 101 | 51,209                           | 44,121 | 41,727 | 36,896 | 139                                     | 137 | 132 | 127 | 50,710                           | 50,052  | 48,291  | 46,402  |
|                                      | E                            | 146                                     | 126 | 121 | 110 | 53,376                           | 46,248 | 44,271 | 40,270 | 139                                     | 138 | 133 | 128 | 51,006                           | 50,391  | 48,746  | 46,968  |
|                                      | SE                           | 154                                     | 134 | 130 | 121 | 56,388                           | 49,124 | 47,680 | 44,421 | 144                                     | 143 | 139 | 136 | 52,724                           | 52,285  | 51,064  | 49,671  |
|                                      | S                            | 161                                     | 141 | 138 | 131 | 58,876                           | 51,502 | 50,501 | 47,992 | 150                                     | 150 | 148 | 145 | 55,017                           | 54,813  | 54,147  | 53,269  |
|                                      | SW                           | 162                                     | 142 | 139 | 132 | 59,420                           | 52,035 | 50,958 | 48,337 | 155                                     | 154 | 153 | 151 | 56,450                           | 56,386  | 56,054  | 55,457  |
|                                      | W                            | 157                                     | 137 | 133 | 124 | 57,533                           | 50,226 | 48,737 | 45,440 | 154                                     | 153 | 152 | 150 | 56,228                           | 56,141  | 55,743  | 55,100  |
|                                      | NW                           | 148                                     | 128 | 123 | 111 | 54,208                           | 46,995 | 45,027 | 40,849 | 149                                     | 148 | 145 | 142 | 54,428                           | 54,142  | 53,260  | 52,156  |

4.1.1 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมดของอาคารโรงแรม Base Case ดังนี้ รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่า 1) รูปแบบที่ดีที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง I-Shape ที่วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตก (W) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา สามารถผลิตพลังงานได้ดีที่สุด ไฟฟ้าได้ 110,910 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี โดยมีไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานถึง 64,968.19 kWh 2) รูปแบบที่ดีที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง L-Shape วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา สามารถผลิตพลังงานได้ 106,864 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี โดยมีไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานถึง 65,981.19 kWh



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด

4.1.2 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทั้งหมด จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบว่า 1) รูปแบบที่ดีที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง I-Shape ที่วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และทิศใต้ (S) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา สามารถผลิตพลังงานได้ดีที่สุด โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 59,420 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี โดยมีไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานถึง 13,478.1 kWh 2) รูปแบบที่ดีที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง L-Shape วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา สามารถผลิตพลังงานได้ 56,450 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี โดยมีไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานถึง 15,567.19 kWh

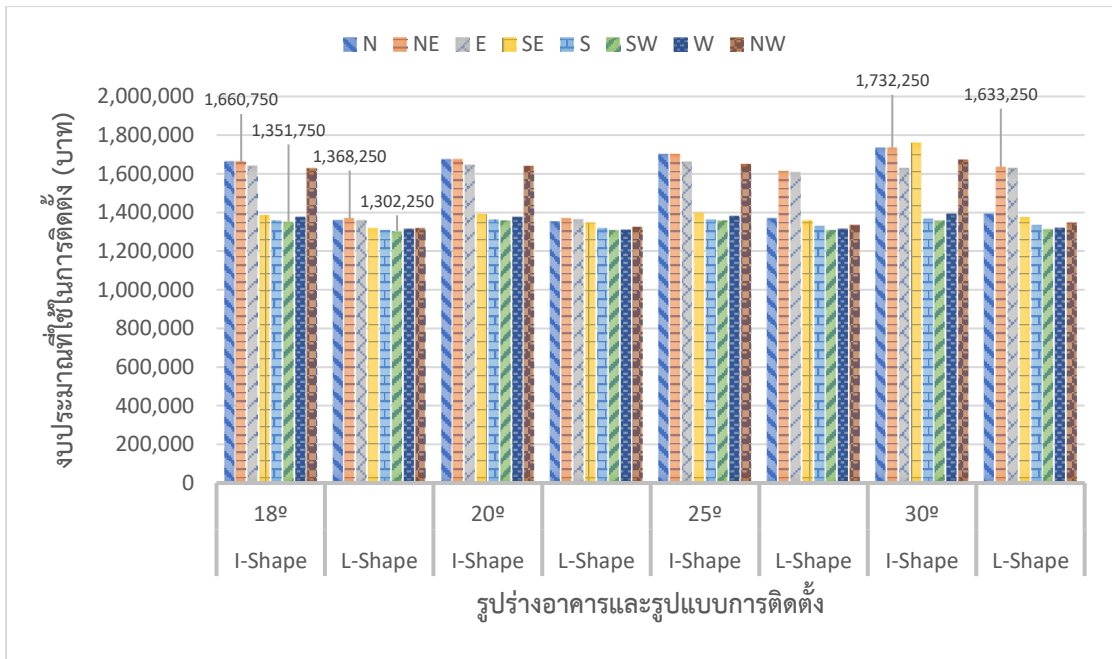


ภาพที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 2 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด

4.1.3 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ดังแสดงในภาพที่ 4.3 พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง L-Shape ที่วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา ใช้งบประมาณในการลงทุนน้อยที่สุดและสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอ โดยใช้งบประมาณในการลงทุน 1,595,750 บาท สามารถผลิตพลังงานได้ 40,882.81 kWh/ปี และสำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา ใช้งบประมาณในการลงทุนน้อยที่สุดและสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอ โดยใช้งบประมาณในการลงทุน 1,658,750 บาท ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 45,941.89 kWh/ปี ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี

**ตารางที่ 4.2** ผลการคำนวณงบประมาณที่ใช้ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี

| รูปแบบในการติดตั้ง          | ทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape |           |           |           | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape |           |           |           |
|-----------------------------|------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|
|                             |                              | งบประมาณที่ใช้ในการติดตั้ง<br>(บาท)     |           |           |           | งบประมาณที่ใช้ในการติดตั้ง<br>(บาท)     |           |           |           |
|                             |                              | 18°                                     | 20°       | 25°       | 30°       | 18°                                     | 20°       | 25°       | 30°       |
| ครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้า 1 ปี | N                            | 1,770,750                               | 1,784,750 | 1,819,750 | 1,868,750 | 1,665,750                               | 1,665,750 | 1,679,750 | 1,707,750 |
|                             | NE                           | 1,777,750                               | 1,791,750 | 1,826,750 | 1,861,750 | 1,679,750                               | 1,679,750 | 1,707,750 | 1,735,750 |
|                             | E                            | 1,742,750                               | 1,749,750 | 1,770,750 | 1,791,750 | 1,665,750                               | 1,672,750 | 1,700,750 | 1,728,750 |
|                             | SE                           | 1,700,750                               | 1,707,750 | 1,714,750 | 1,728,750 | 1,616,750                               | 1,651,750 | 1,665,750 | 1,686,750 |
|                             | S                            | 1,665,750                               | 1,672,750 | 1,672,750 | 1,679,750 | 1,602,750                               | 1,616,750 | 1,630,750 | 1,637,750 |
|                             | SW                           | 1,658,750                               | 1,665,750 | 1,665,750 | 1,672,750 | 1,595,750                               | 1,602,750 | 1,602,750 | 1,609,750 |
|                             | W                            | 1,686,750                               | 1,686,750 | 1,693,750 | 1,700,750 | 1,609,750                               | 1,602,750 | 1,609,750 | 1,616,750 |
|                             | NW                           | 1,728,750                               | 1,735,750 | 1,756,750 | 1,784,750 | 1,616,750                               | 1,623,750 | 1,637,750 | 1,651,750 |



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบงบประมาณในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี

#### 4.2 เปรียบเทียบศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

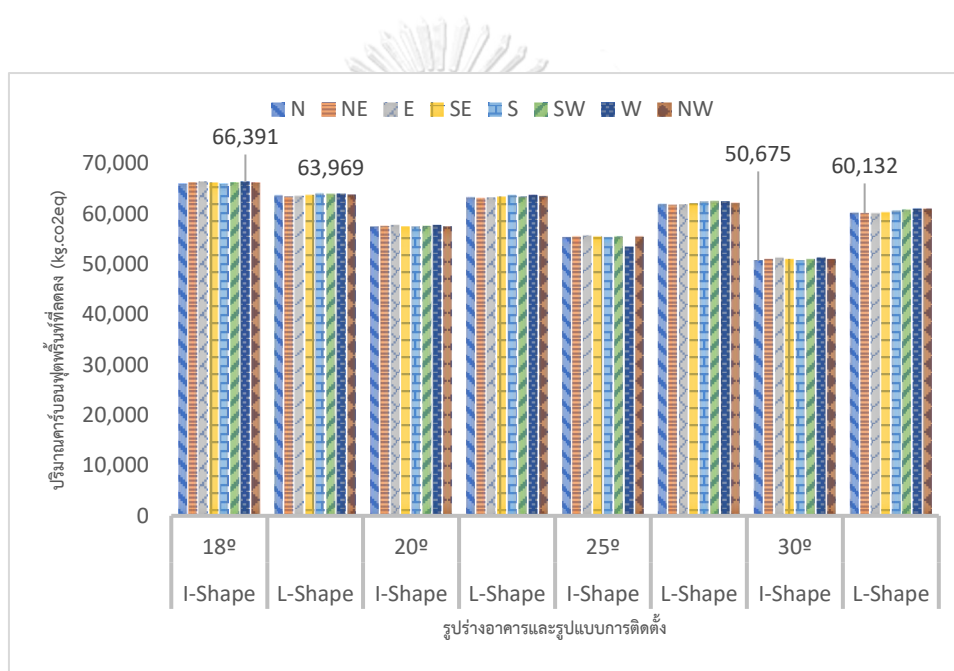
จากผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงของอาคารโรงแรม Base Case รูปทรงอาคาร I-Shape และ L-Shape พบว่าผลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์หันไปในทิศที่แตกต่างกันและมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

| รูปแบบในการติดตั้ง                   | ทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape                             |     |     |     |   |        |        |        | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape                             |     |     |     |   |        |        |        |
|--------------------------------------|------------------------------|---|-----|-----|-----|---|--------|--------|--------|---|-----|-----|-----|---|--------|--------|--------|
|                                      |                              | ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงต่อวัน<br>(kg.co <sub>2</sub> eq/วัน) |     |     |     | ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงต่อปี<br>(kg.co <sub>2</sub> eq/ปี) |        |        |        | ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงต่อวัน<br>(kg.co <sub>2</sub> eq/วัน) |     |     |     | ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงต่อปี<br>(kg.co <sub>2</sub> eq/ปี) |        |        |        |
|                                      |                              | 18°   | 20° | 25° | 30° | 18°   | 20°    | 25°    | 30°    | 18°   | 20° | 25° | 30° | 18°   | 20°    | 25°    | 30°    |
| ติดตั้งแผงที่หลังคา                  | N                            | 181   | 157 | 152 | 139 | 65,891  | 57,359 | 55,310 | 50,675 | 174   | 173 | 169 | 165 | 63,544  | 63,200 | 61,814 | 60,132 |
|                                      | NE                           | 181   | 158 | 152 | 140 | 66,223  | 57,559 | 55,482 | 51,020 | 174   | 173 | 169 | 165 | 63,451  | 63,118 | 61,741 | 60,132 |
|                                      | E                            | 182   | 158 | 153 | 141 | 66,391  | 57,749 | 55,675 | 51,306 | 174   | 173 | 170 | 165 | 63,555  | 63,244 | 61,898 | 60,117 |
|                                      | SE                           | 181   | 158 | 152 | 140 | 66,203  | 57,537 | 55,494 | 51,043 | 175   | 174 | 170 | 165 | 63,744  | 63,426 | 62,119 | 60,313 |
|                                      | S                            | 181   | 157 | 152 | 139 | 65,891  | 57,395 | 55,310 | 50,675 | 175   | 174 | 171 | 166 | 63,930  | 63,632 | 62,363 | 60,563 |
|                                      | SW                           | 181   | 158 | 152 | 140 | 66,223  | 57,559 | 55,482 | 51,014 | 175   | 174 | 171 | 167 | 63,969  | 63,426 | 62,511 | 60,824 |
|                                      | W                            | 182   | 158 | 146 | 141 | 66,391  | 57,749 | 53,454 | 51,306 | 175   | 175 | 171 | 167 | 63,966  | 63,722 | 62,478 | 61,008 |
|                                      | NW                           | 181   | 158 | 152 | 140 | 66,203  | 57,537 | 55,494 | 51,043 | 175   | 174 | 170 | 167 | 63,792  | 63,479 | 62,175 | 60,979 |
| ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา | N                            | 84  | 73  | 69  | 60  | 30,648  | 26,529 | 25,080 | 21,947 | 85  | 85  | 82  | 79  | 31,177  | 30,855 | 29,954 | 28,925 |
|                                      | NE                           | 84  | 72  | 68  | 61  | 30,654  | 26,411 | 24,978 | 22,086 | 83  | 82  | 79  | 76  | 30,355  | 29,961 | 28,907 | 27,776 |
|                                      | E                            | 88  | 76  | 73  | 66  | 31,951  | 27,684 | 26,501 | 24,106 | 84  | 83  | 80  | 77  | 30,532  | 30,164 | 29,179 | 28,115 |
|                                      | SE                           | 92  | 81  | 78  | 73  | 33,754  | 29,406 | 28,541 | 26,590 | 86  | 86  | 84  | 81  | 31,561  | 31,298 | 30,567 | 29,733 |
|                                      | S                            | 97  | 84  | 83  | 79  | 35,243  | 30,829 | 30,230 | 28,728 | 90  | 90  | 89  | 87  | 32,933  | 32,811 | 32,412 | 31,887 |
|                                      | SW                           | 97  | 85  | 84  | 79  | 35,569  | 31,148 | 30,503 | 28,935 | 93  | 92  | 92  | 91  | 33,791  | 33,753 | 33,554 | 33,197 |
|                                      | W                            | 94  | 82  | 80  | 75  | 34,439  | 30,065 | 29,174 | 27,200 | 92  | 92  | 91  | 90  | 33,658  | 33,606 | 33,368 | 32,983 |
|                                      | NW                           | 89  | 77  | 74  | 67  | 32,449  | 28,131 | 26,953 | 24,452 | 89  | 89  | 87  | 86  | 32,581  | 32,409 | 31,881 | 31,221 |



4.2.1 ผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมดของอาคารโรงแรม Base Case จากผลการคำนวณจากสมการ (1) พบว่า 1) รูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาสำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape โดยวางอาคารด้านยาวขวางทิศตะวันตกสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูงสุด คือ 66,391 KgCO<sub>2</sub>eq 2) รูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาสำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape โดยวางอาคารด้านยาวขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูงสุด คือ 63,969 KgCO<sub>2</sub>eq ดังแสดงในภาพที่ 4.4



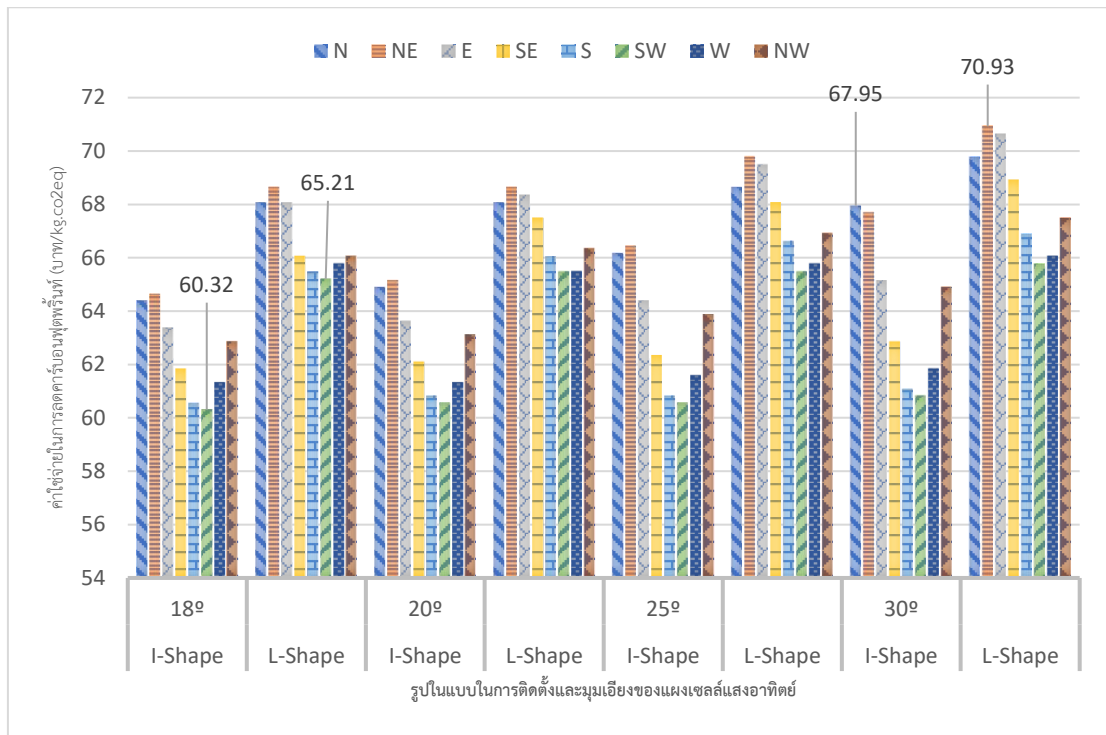
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบเต็มพื้นที่หลังคา

4.2.2 ผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาของอาคารโรงแรม Base Case จากผลการคำนวณจากสมการ (1) พบว่า 1) รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาสำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape โดยวางอาคารด้านยาวขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูงสุด คือ 35,569 KgCO<sub>2</sub>eq 2) รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาสำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape โดยวางอาคารด้านยาวขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูงสุด คือ 33,791 KgCO<sub>2</sub>eq ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รูปแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา

4.2.3 ผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 3 หรือแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าค่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 27,500.82 KgCO<sub>2</sub>eq ต่อปี สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape รูปแบบที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดต่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ รูปแบบอาคาร I-Shape ที่วางแนวอาคารด้านยาววางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มุมเอียง 18 องศา โดยใช้ค่าใช้จ่ายในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพียง 60.32 บาท/ KgCO<sub>2</sub>eq และ ควรหลีกเลี่ยงการวางอาคารแนวยาววางทางทิศเหนือ ที่มุมเอียง 30 องศา เนื่องจากเป็นทิศที่ใช้ค่าใช้จ่ายในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงสุด โดยใช้ค่าใช้จ่าย 67.95 บาท/ KgCO<sub>2</sub>eq แต่ถ้าหากอาคาร Base Case เป็นอาคารรูปร่าง L-Shape ที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 24,472.45 KgCO<sub>2</sub>eq ต่อปี ควรวางด้านยาววางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมเอียง 18 องศา จะเป็นทิศที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดต่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยใช้ค่าใช้จ่ายในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพียง 65.21 บาท/ KgCO<sub>2</sub>eq และ ควรหลีกเลี่ยงการวางอาคารแนวยาววางทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มุมเอียง 30 องศา เนื่องจากเป็นทิศที่ใช้ค่าใช้จ่ายในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงสุด โดยใช้ค่าใช้จ่าย 70.93 บาท/ KgCO<sub>2</sub>eq ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบงบประมาณในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี

#### 4.3 ผลประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์

4.3.1 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของอาคาร Base Case โดยคำนวณจากสมการ (3) มีผลการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.4

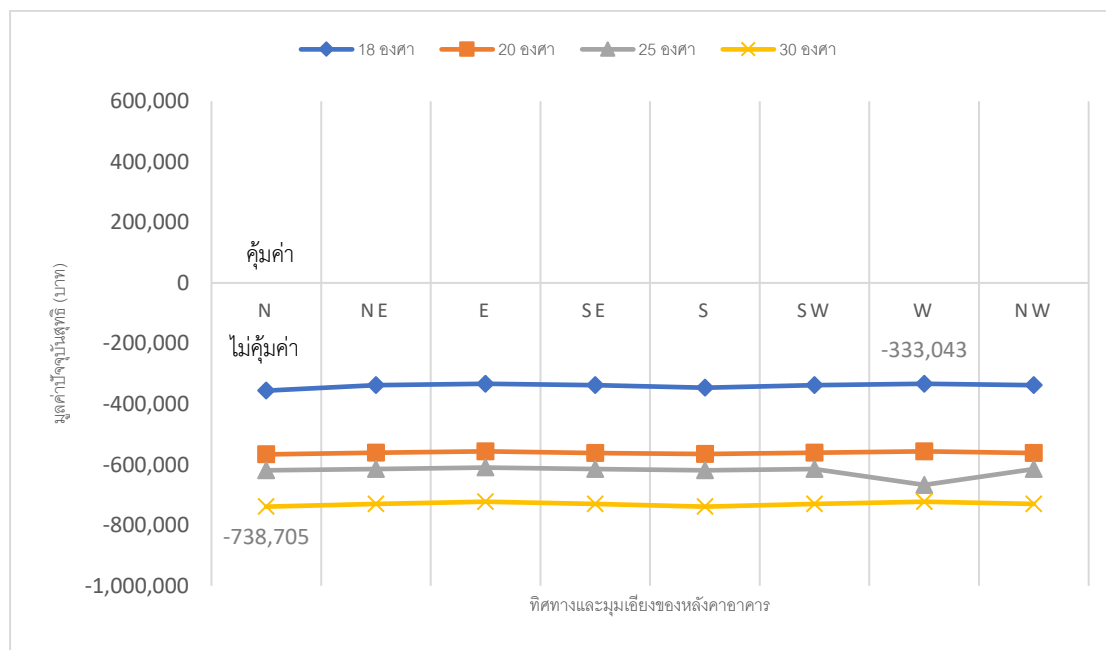
ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

| รูปแบบในการติดตั้ง          | ทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape |          |          |          | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape |          |          |          |
|-----------------------------|------------------------------|---|----------|----------|----------|---|----------|----------|----------|
|                             |                              | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ<br>(บาท)            |          |          |          | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ<br>(บาท)            |          |          |          |
|                             |                              | 18°                                     | 20°      | 25°      | 30°      | 18°                                     | 20°      | 25°      | 30°      |
| เติมพื้นที่หลังคา           | N                            | -355,622                                | -566,179 | -619,059 | -738,705 | -571,420                                | -580,307 | -616,075 | -659,485 |
|                             | NE                           | -337,367                                | -561,015 | -614,638 | -729,795 | -573,821                                | -582,414 | -617,946 | -659,876 |
|                             | E                            | -333,043                                | -556,093 | -609,641 | -722,422 | -571,142                                | -579,155 | -613,900 | -654,840 |
|                             | SE                           | -337,881                                | -561,582 | -614,308 | -729,218 | -566,246                                | -574,464 | -608,197 | -648,367 |
|                             | S                            | -345,917                                | -565,252 | -619,059 | -738,705 | -561,436                                | -569,159 | -601,910 | -641,626 |
|                             | SW                           | -337,367                                | -561,015 | -614,638 | -729,950 | -560,460                                | -566,016 | -598,072 | -636,893 |
|                             | W                            | -333,043                                | -556,093 | -666,977 | -722,422 | -560,524                                | -566,814 | -598,927 | -637,629 |
|                             | NW                           | -337,881                                | -561,582 | -614,308 | -729,218 | -565,021                                | -573,115 | -606,769 | -646,882 |
| ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา  | N                            | -49,676                                 | -171,856 | -232,955 | -365,015 | -200,912                                | -209,234 | -232,491 | -259,058 |
|                             | NE                           | -49,524                                 | -174,926 | -237,255 | -359,175 | -164,693                                | -169,100 | -182,729 | -199,786 |
|                             | E                            | -16,043                                 | -126,193 | -173,067 | -274,024 | -136,869                                | -138,212 | -144,369 | -154,303 |
|                             | SE                           | 30,498                                  | -81,743  | -104,063 | -169,300 | -133,447                                | -134,427 | -139,556 | -148,786 |
|                             | S                            | 68,947                                  | -45,001  | -60,466  | -99,241  | -155,588                                | -158,736 | -169,034 | -182,600 |
|                             | SW                           | 77,345                                  | -36,768  | -53,412  | -93,908  | -191,011                                | -197,798 | -216,660 | -238,200 |
|                             | W                            | 48,187                                  | -64,713  | -87,722  | -143,588 | -217,568                                | -227,059 | -252,480 | -279,962 |
|                             | NW                           | -3,191                                  | -114,651 | -154,004 | -259,410 | -222,136                                | -232,311 | -259,518 | -288,709 |
| ครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้า 1 ปี | N                            | 442,326                                 | 428,326  | 393,326  | 344,326  | 303,624                                 | 303,624  | 289,624  | 261,624  |
|                             | NE                           | 442,326                                 | 421,326  | 386,326  | 351,326  | 289,624                                 | 289,624  | 261,624  | 233,624  |
|                             | E                            | 470,326                                 | 463,326  | 442,326  | 421,326  | 303,624                                 | 296,624  | 261,624  | 240,624  |
|                             | SE                           | 512,326                                 | 505,326  | 498,326  | 484,326  | 352,624                                 | 317,624  | 303,624  | 282,624  |
|                             | S                            | 547,326                                 | 540,326  | 540,326  | 533,326  | 366,624                                 | 352,624  | 338,624  | 331,624  |
|                             | SW                           | 554,326                                 | 547,326  | 547,326  | 540,326  | 373,624                                 | 366,624  | 366,624  | 359,624  |
|                             | W                            | 526,326                                 | 526,326  | 519,326  | 512,326  | 359,624                                 | 366,624  | 359,624  | 352,624  |
|                             | NW                           | 484,326                                 | 477,326  | 456,326  | 428,326  | 352,624                                 | 345,624  | 331,624  | 317,624  |

4.3.1.1 การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของอาคาร Base Case รูปแบบการติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา

- ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 หรือ ติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) โดยจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้ว่าค่า NPV ในรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 มีค่า NPV ที่ต่ำกว่า 0 ในทุกๆ กรณี โดยกิจการจะยอมรับโครงการลงทุนก็ต่อเมื่อค่า NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และ

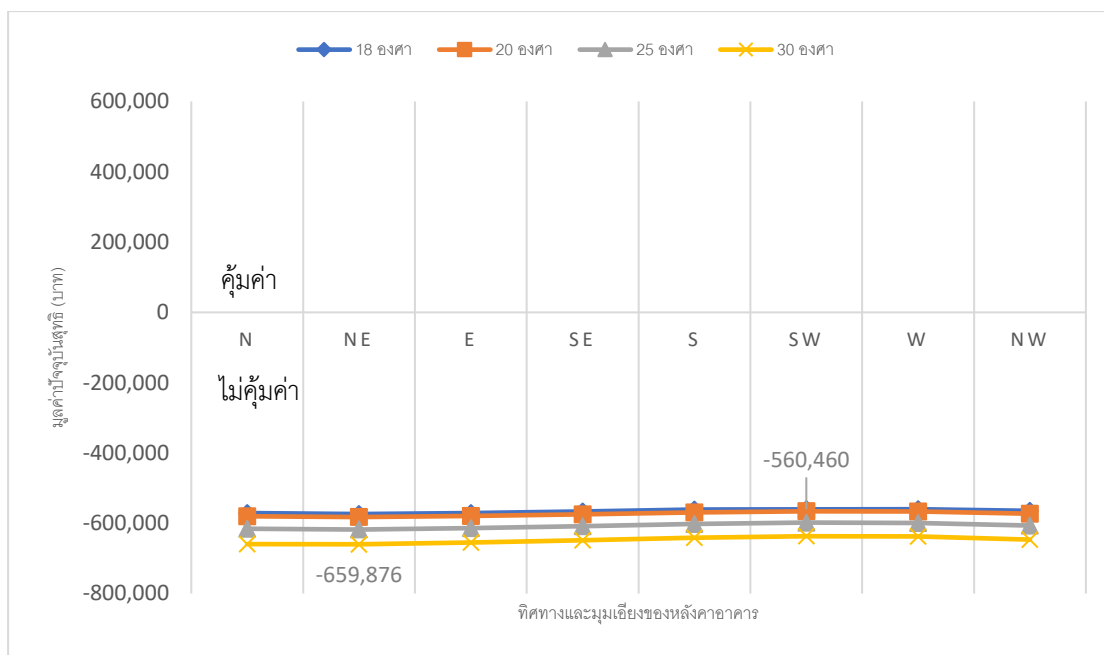
จะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0 จึงทำให้ทุกรูปแบบในการติดตั้งในรูปแบบที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน โดยรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดคือการวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -738,705 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากระดมเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

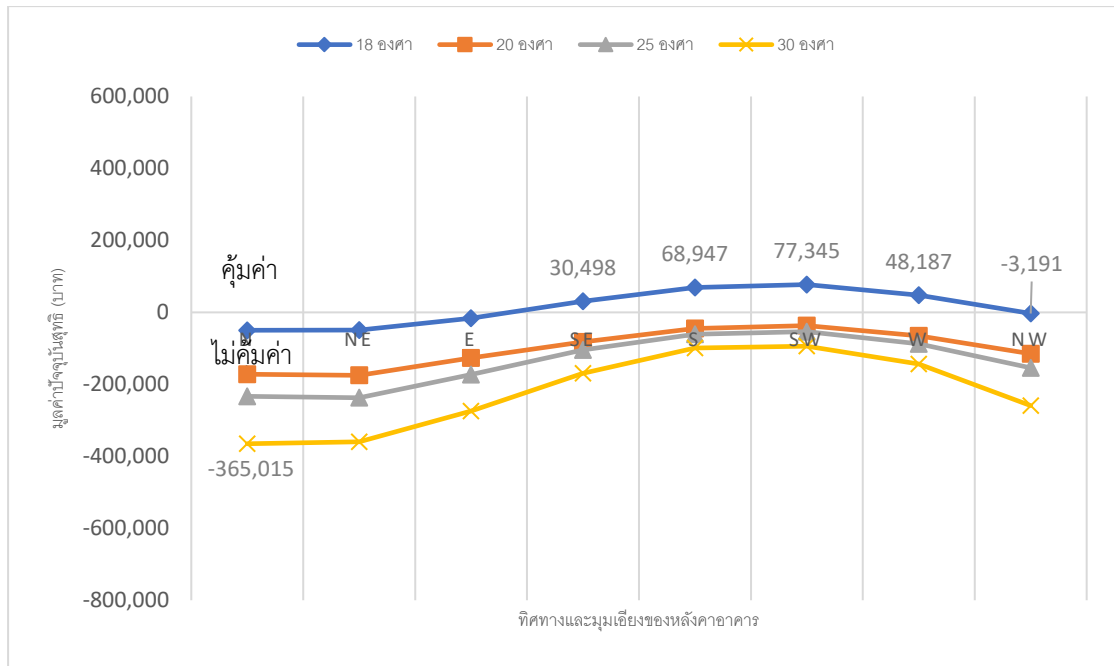
- ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) โดยจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้ว่าค่า NPV ในรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 หรือ ติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา มีค่า NPV ที่ต่ำกว่า 0 ในทุกๆ กรณี โดยกิจการจะยอมรับโครงการลงทุนก็ต่อเมื่อค่า NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0 จึงทำให้ทุกรูปแบบในการติดตั้งในรูปแบบที่ 1 หรือการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา อยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน โดยรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดคือการวางแนวอาคารขวางทิศตะวันออกเอียงเหนือ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -659,876 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape

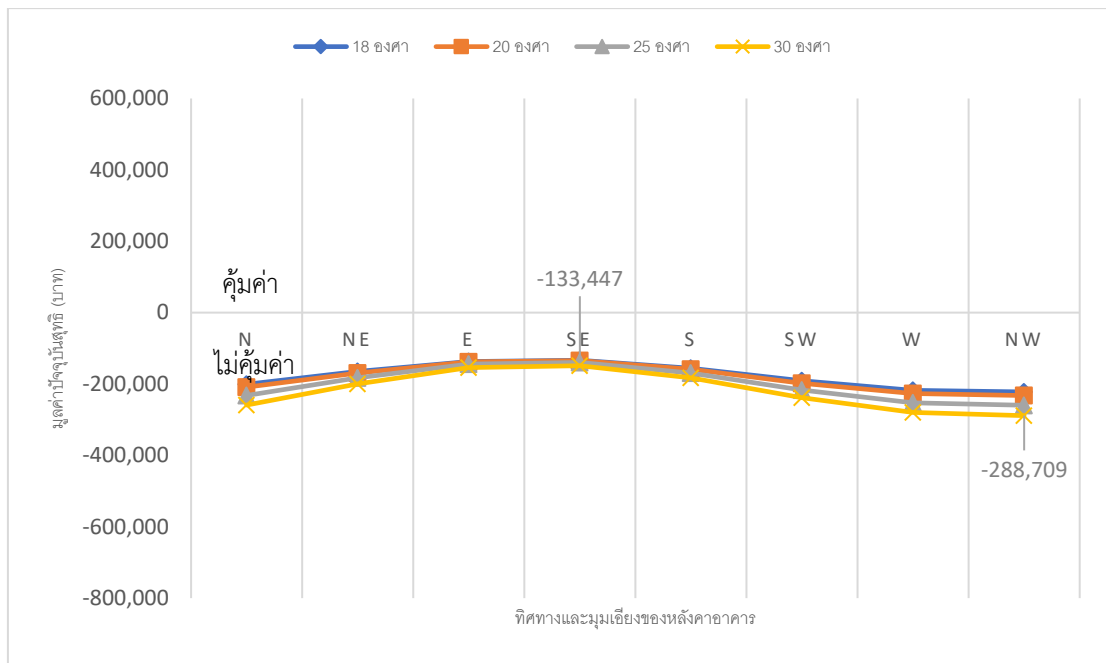
#### 4.3.1.2 การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของอาคาร Base Case รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา

- ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 2 สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน พบว่ารูปแบบการติดตั้งแบบที่ 2 รูปแบบที่มีค่า NPV มากที่สุดคือ การวางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 77,345 บาท และรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดคือ 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 ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งครั้งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape

- ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 2 สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน พบว่ารูปแบบการติดตั้งแบบที่ 2 รูปแบบที่มีค่า NPV มากที่สุดคือ การวางแนวอาคารขวางทิศตะวันออกเฉียงใต้ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -133,447 บาท และรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดคือการวางแนวอาคารขวางตะวันตกเฉียงเหนือ โดยมีค่า NPV เท่ากับ -288,709 บาท ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0 จึงจัดว่าโครงการดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน โดยในรูปแบบที่ 2 มีโครงการที่มีค่า NPV ต่ำกว่า 0 ในทุกรูปแบบจึงทำให้รูปแบบการติดตั้งครั้งหนึ่งของพื้นที่หลังคา สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape อยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน ดังแสดงในภาพที่ 4.10

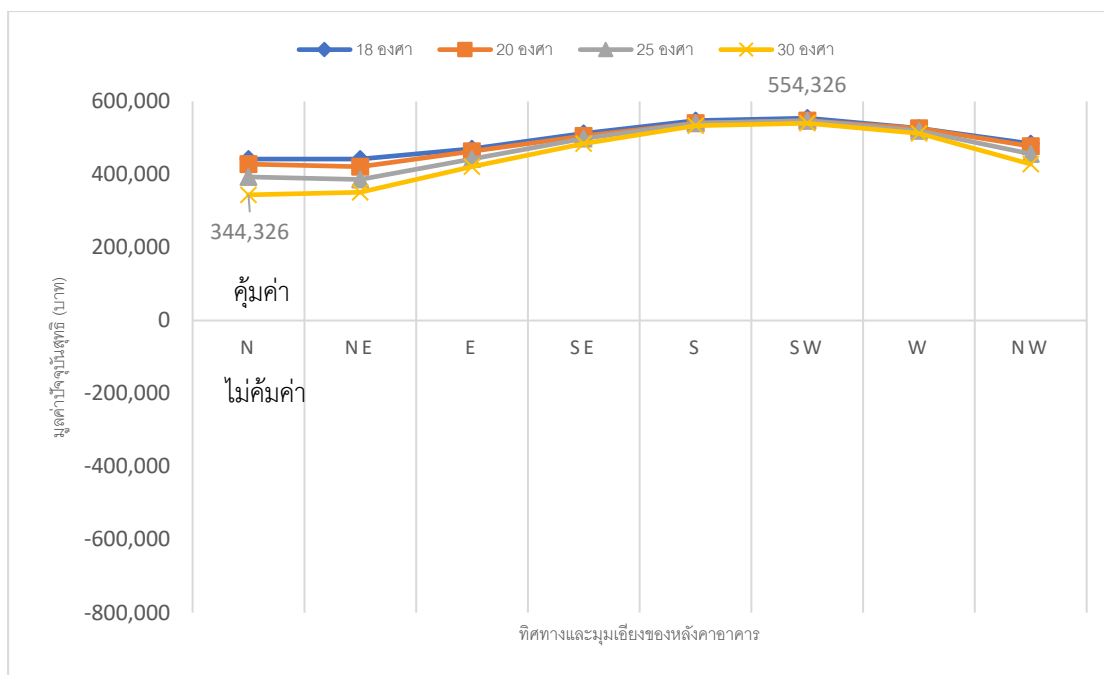


ภาพที่ 4.10 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งครั้งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape

4.3.1.3 การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของอาคาร Base Case รูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี

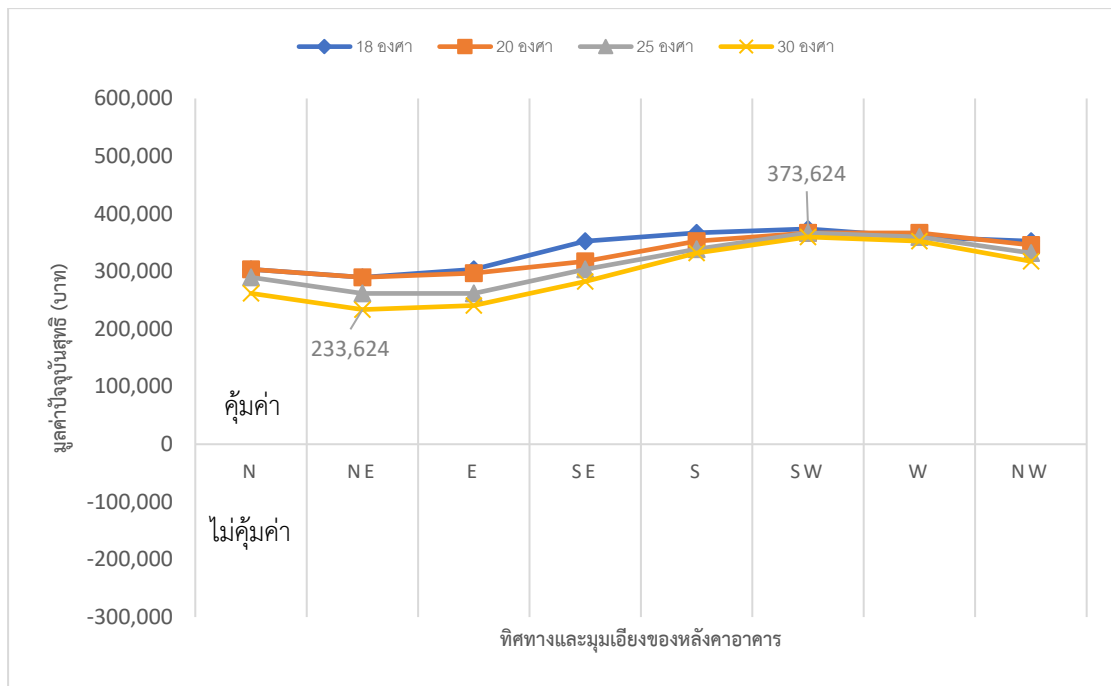
- ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 3 สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape พบว่าระยะเวลาคืนทุนของอาคาร ในรูปแบบที่ 3 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าและค่า IRR (Internal rate of return หรืออัตราผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์) และจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 มีค่า NPV ที่มากกว่า 0 โดยรูปแบบที่มีค่ามากที่สุดคือ การวางแนวอาคารวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 554,326 บาท และรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดที่ คือการวางแนวอาคารวางทิศเหนือ โดยมีค่า NPV เท่ากับ 344,326 บาท โดยในรูปแบบที่ 3 หรือ ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี มีโครงการที่มีค่า NPV มากกว่า 0 ในทุกกรณี จึงทำให้รูปแบบอยู่ในเกณฑ์นำลงทุนมากกว่ารูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4.11





ภาพที่ 4.11 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape

- ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 3 สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape พบว่าระยะเวลาคืนทุนของอาคาร ในรูปแบบที่ 3 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าและค่า IRR (Internal rate of return หรืออัตราผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์) และจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 มีค่า NPV ที่มากกว่า 0 โดยรูปแบบที่มีค่ามากที่สุดคือ การวางแนวอาคารขวางทิศตะวันตก มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 373,624 บาท และรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดที่ คือการวางแนวอาคารขวางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีค่า NPV เท่ากับ 233,624 บาท โดยในรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 3 ไม่มีกรณีใดที่มีค่า NPV ต่ำกว่าศูนย์ทำให้กรณีดังกล่าวมีความน่าลงทุนมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.12



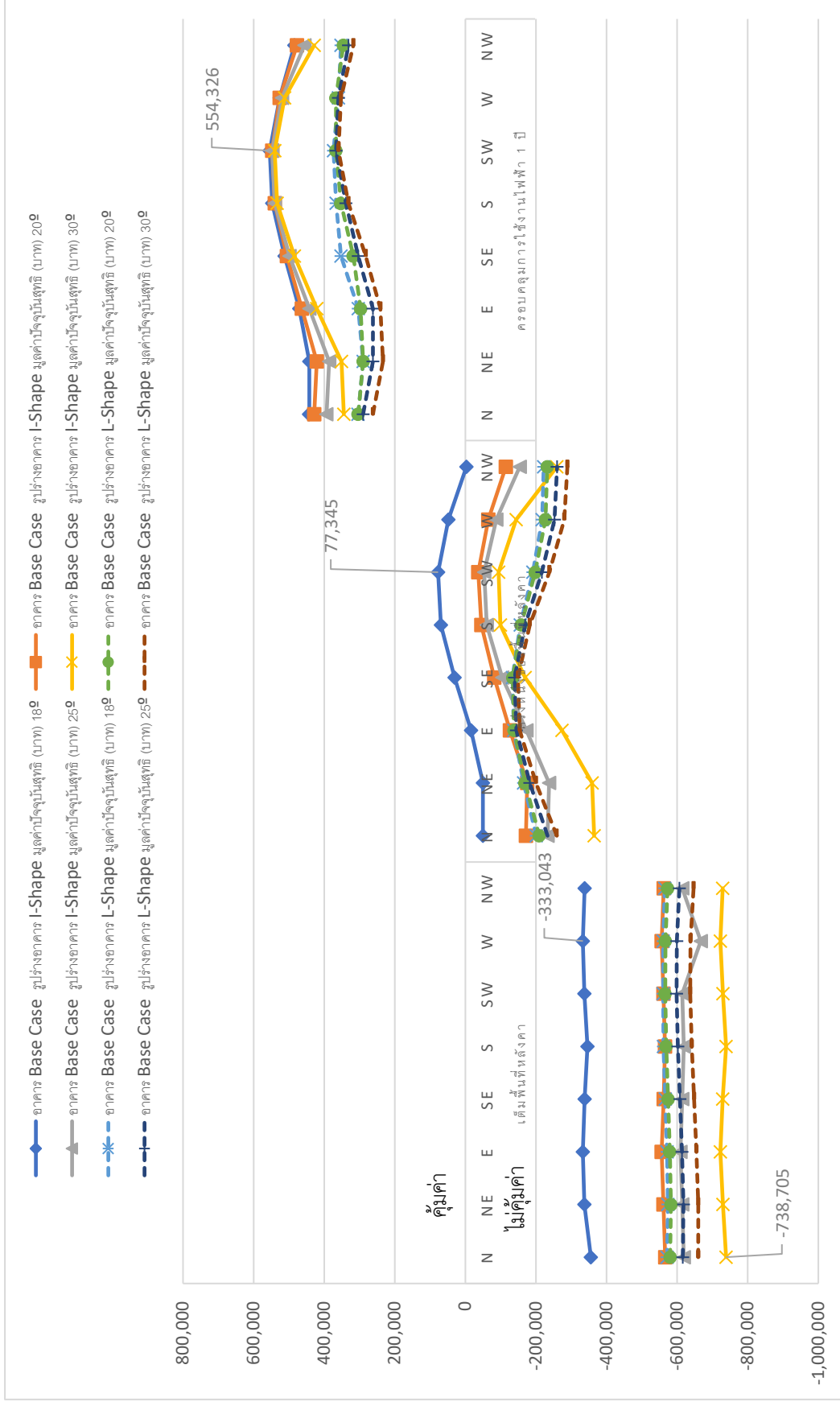
ภาพที่ 4.12 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape

ผลการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง อาคารรูปร่าง I-Shape และ อาคารรูปร่าง L-Shape พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมและอยู่ในเกณฑ์นำลงทุนที่สุดจากการเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายใน คือรูปแบบที่ 3 หรือ รูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวมีค่า NPV ที่มากกว่าศูนย์หรือจัดว่าอยู่ในเกณฑ์นำลงทุน โดยเฉพาะในอาคารรูปร่าง L-Shape แต่มีเพียงบางกรณี ในอาคารรูปร่าง I-Shape ที่รูปแบบที่ 3 มีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ ได้แก่ อาคาร I-Shape รูปแบบการติดตั้งที่มีการวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ และ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีมุมเอียง 25 และ 30 องศา

โดยรูปแบบการติดตั้งที่มีความน่าลงทุนรองลงมาจากรูปแบบที่ 3 คือรูปแบบที่ 2 หรือ การติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวยังมีค่า NPV ที่มีค่าต่ำกว่าศูนย์อยู่ ทั้งในอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape โดยรูปแบบที่ควรหลีกเลี่ยงในการติดตั้ง ได้แก่ 1) อาคารรูปร่าง I-Shape ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งในอาคารที่มีการวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ, ตะวันออกเฉียงเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ที่มีมุมเอียง 25 และ 30 องศา 2) อาคารรูปร่าง L-Shape ควรหลีกเลี่ยง ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งในอาคารที่มีการวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และมีมุมเอียง 18 องศา 20 องศา

25 องศา และ 30 องศาเนื่องจากรูปแบบดังกล่าวมีค่ามูลปัจจุบันสุทธิที่เป็นลบ จึงจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ของโครงการที่ไม่น่าลงทุน

โดยสรุปแล้วสำหรับรูปแบบที่นำลงทุนในการติดตั้งที่สุด สำหรับอาคาร I-Shape คือรูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี โดยวางแนวอาคารด้านยาวและหันทิศแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมเอียง 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 554,326 บาท และ รูปแบบที่มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดสำหรับอาคาร I-Shape หรือควรหลีกเลี่ยงในการติดตั้งคือ รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา การวางแนวอาคารด้านยาวและหันทิศแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศเหนือ ที่มุมเอียง 30 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -738,705 บาท ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำที่สุด และสำหรับรูปแบบที่นำลงทุนในการติดตั้งที่สุดสำหรับอาคาร L-Shape คือรูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี โดยวางแนวอาคารด้านยาวและหันทิศแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมเอียง 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 373,624 บาท และ รูปแบบที่มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดสำหรับอาคาร L-Shape หรือควรหลีกเลี่ยงในการติดตั้งคือ รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา การวางแนวอาคารด้านยาวและหันทิศแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มุมเอียง 30 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -659,876 บาท เนื่องจากเป็นรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape

4.3.2 ผลประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) ของอาคาร Base Case โดยคำนวณจากสมการ (4) มีผลการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.5

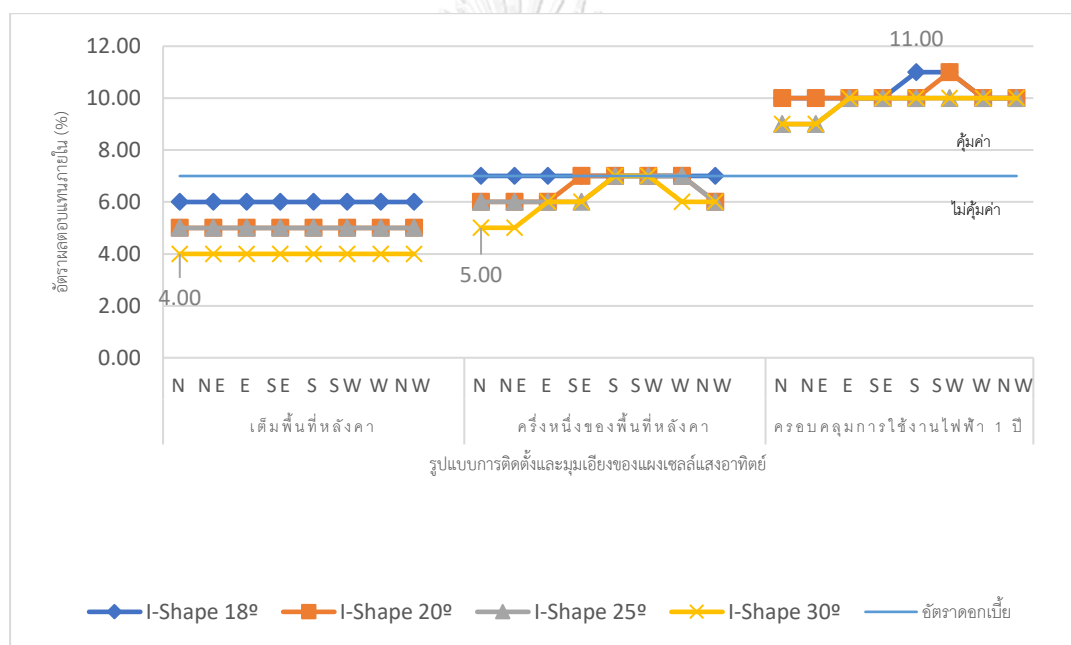
ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

| รูปแบบในการติดตั้ง          | ทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape |       |       |       | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape |      |      |      |
|-----------------------------|------------------------------|---|-------|-------|-------|---|------|------|------|
|                             |                              | IRR (%)                                 |       |       |       | IRR (%)                                 |      |      |      |
|                             |                              | 18°                                     | 20°   | 25°   | 30°   | 18°                                     | 20°  | 25°  | 30°  |
| เติมพื้นที่หลังคา           | N                            | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 4.00 |
|                             | NE                           | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 4.00 |
|                             | E                            | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 4.00 |
|                             | SE                           | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 4.00 |
|                             | S                            | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 4.00 |
|                             | SW                           | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
|                             | W                            | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
|                             | NW                           | 6.00                                    | 5.00  | 5.00  | 4.00  | 5.00                                    | 5.00 | 5.00 | 4.00 |
| ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา  | N                            | 7.00                                    | 6.00  | 6.00  | 5.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | NE                           | 7.00                                    | 6.00  | 6.00  | 5.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | E                            | 7.00                                    | 6.00  | 6.00  | 6.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | SE                           | 7.00                                    | 7.00  | 6.00  | 6.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | S                            | 7.00                                    | 7.00  | 7.00  | 7.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | SW                           | 7.00                                    | 7.00  | 7.00  | 7.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | W                            | 7.00                                    | 7.00  | 7.00  | 6.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
|                             | NW                           | 7.00                                    | 6.00  | 6.00  | 6.00  | 6.00                                    | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
| ครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้า 1 ปี | N                            | 10.00                                   | 10.00 | 9.00  | 9.00  | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | NE                           | 10.00                                   | 10.00 | 9.00  | 9.00  | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | E                            | 10.00                                   | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | SE                           | 10.00                                   | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | S                            | 11.00                                   | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | SW                           | 11.00                                   | 11.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00                                   | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | W                            | 10.00                                   | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
|                             | NW                           | 10.00                                   | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00                                    | 9.00 | 9.00 | 9.00 |

4.3.2.1 ผลการประเมินเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) ของรูปแบบการติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา ในอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape

- ผลการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) พบว่า 1) รูปแบบการติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา มีค่าต่ำกว่า 7%

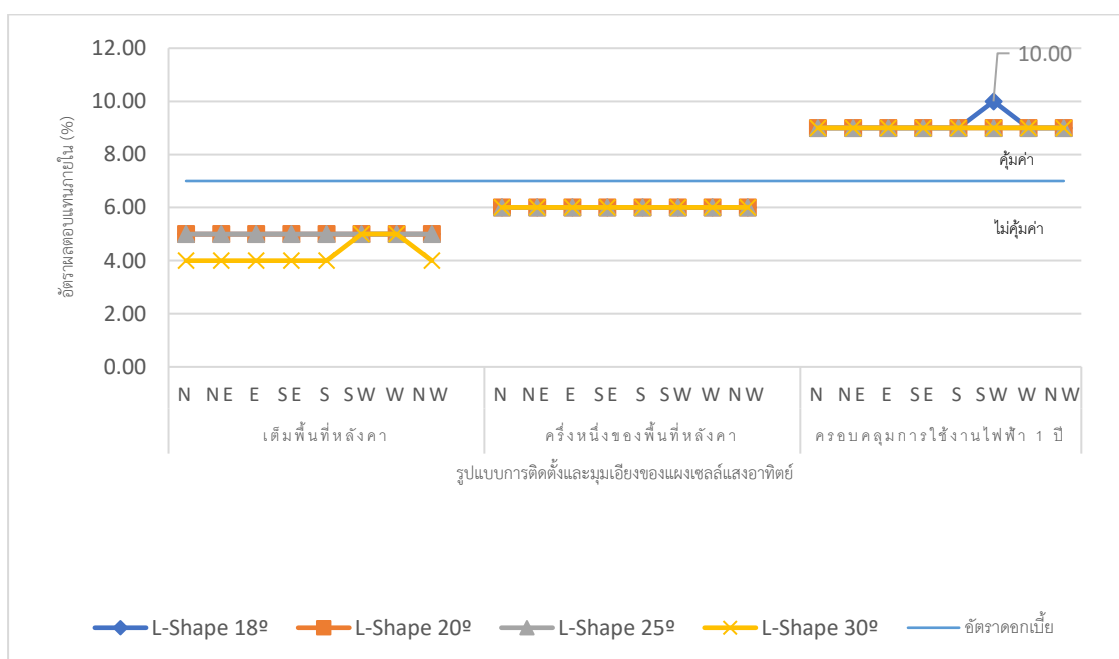
หรือต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยที่นำมาลงทุน ในทุกกรณี จึงทำให้การติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาอยู่ในเกณฑ์ของโครงการที่ไม่น่าลงทุน 2) รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา มีโครงการที่เท่ากับ 7% ทั้งหมด 16 กรณี โดยการวางอาคารแนวยาวหันเข้าหาทิศเหนือ มุมเอียงแผงที่ 30 องศา มีค่า IRR ต่ำที่สุด คือ 5% และโครงการที่มีค่า IRR สูงสุด โดยมีมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18 องศา ทั้ง 8 ทิศทาง โดยมีค่าอยู่ที่ 7% 3) รูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี มีโครงการที่มีค่าสูงกว่า 7% ทั้งหมด โดยการวางอาคารแนวยาวหันเข้าหาทิศเหนือ มุมเอียงแผงที่ 30 องศา มีค่า IRR ต่ำที่สุด คือ 9% และโครงการที่มีค่า IRR สูงสุด คือการวางอาคารแนวยาววางทิศใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีค่า IRR อยู่ที่ 10 % ดังแสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape

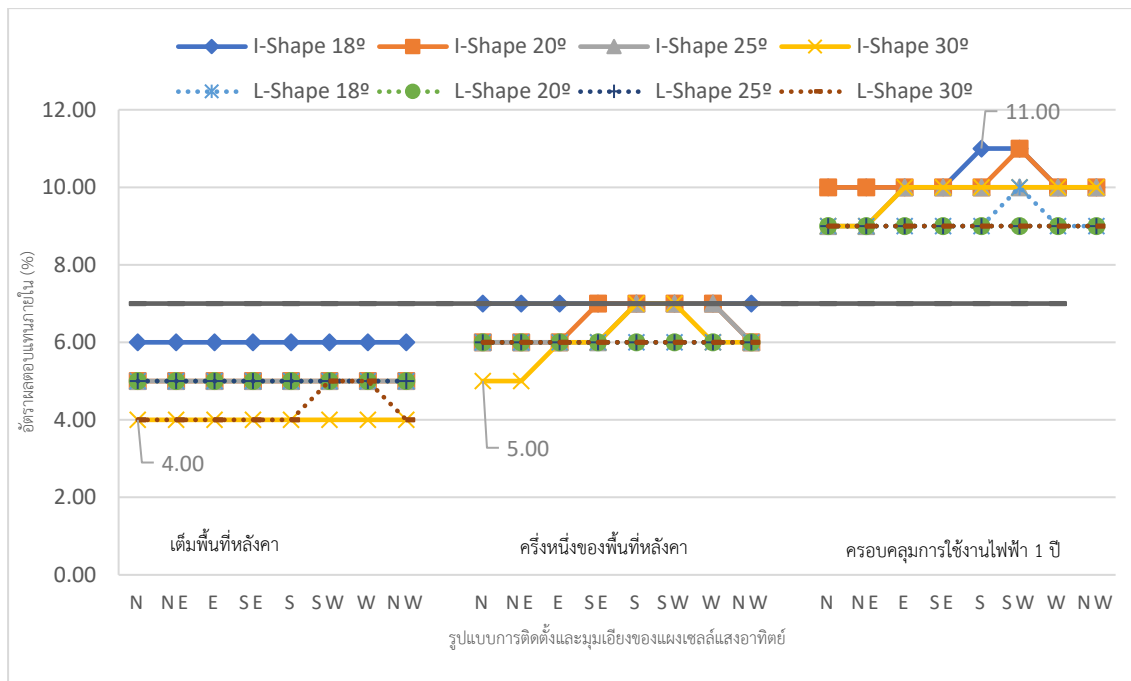
- ผลการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) พบว่า 1 รูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา มีค่าต่ำกว่า 7% หรือต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยที่นำมาลงทุนในทุกกรณี จึงทำให้การติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาอยู่ในเกณฑ์ของโครงการที่ไม่น่าลงทุน 2) รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา มีโครงการที่มีค่าต่ำกว่า 7% หรือต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยที่นำมาลงทุนในทุกกรณี จึงทำให้การติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาอยู่ในเกณฑ์ของโครงการที่ไม่น่าลงทุน 3) รูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี

ไม่มีโครงการใดที่มีค่า IRR ต่ำกว่า 7% จึงจัดว่ารูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี อยู่ในเกณฑ์นำลงทุนในทุกโครงการ โดยรูปแบบการวางอาคารแนวยาวหันเข้าหาทิศ SW และทำมุมเอียง 18 องศา คือรูปแบบที่มีค่า IRR สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 10% ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้งอาคารรูปร่าง L-Shape

สรุปผลการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง อาคารรูปร่าง I-Shape และ อาคารรูปร่าง L-Shape พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมและอยู่ในเกณฑ์นำลงทุนที่สุดจากการเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายใน คือรูปแบบที่ 3 หรือรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวมีค่า IRR ที่สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยที่นำมาลงทุนในทุกกรณีในทั้ง อาคารรูปร่าง I-Shape และ อาคารรูปร่าง L-Shape โดยค่าเฉลี่ยของ IRR ของอาคารรูปร่าง I-Shape จะมีค่าสูงกว่ารูปร่าง L-Shape เล็กน้อย โดยค่า IRR สูงสุดของอาคารรูปร่าง I-Shape เท่ากับ 11% และ ค่าสูงสุดของอาคาร L-Shape เท่ากับ 10% จึงจะเห็นได้ว่าอาคารรูปร่าง I-Shape มีความนำลงทุนในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าอาคารรูปร่าง L-Shape ดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape

4.3.3 ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ของอาคาร Base Case ของอาคาร Base Case โดยคำนวณจากสมการ (5) มีผลการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

| รูปแบบในการติดตั้ง | ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape |       |       |       | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape |       |       |       |
|--------------------|---------------------------------|---|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|
|                    |                                 | ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)                |       |       |       | ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)                |       |       |       |
|                    |                                 | 18°                                     | 20°   | 25°   | 30°   | 18°                                     | 20°   | 25°   | 30°   |
| เติมพื้นที่หลังคา  | N                               | 11.22                                   | 13.05 | 13.48 | 14.48 | 12.31                                   | 12.38 | 12.68 | 13.04 |
|                    | NE                              | 11.15                                   | 13.00 | 13.45 | 14.40 | 12.33                                   | 12.40 | 12.69 | 13.04 |
|                    | E                               | 11.11                                   | 12.96 | 13.41 | 14.34 | 12.30                                   | 12.37 | 12.66 | 13.00 |
|                    | SE                              | 11.15                                   | 13.01 | 13.45 | 14.40 | 12.26                                   | 12.33 | 12.61 | 12.94 |
|                    | S                               | 11.22                                   | 13.04 | 13.48 | 14.48 | 12.22                                   | 12.29 | 12.56 | 12.89 |
|                    | SW                              | 11.15                                   | 13.00 | 13.45 | 14.40 | 12.22                                   | 12.26 | 12.53 | 12.85 |
|                    | W                               | 11.11                                   | 12.96 | 13.88 | 14.34 | 12.22                                   | 12.27 | 12.53 | 12.86 |
|                    | NW                              | 11.15                                   | 13.01 | 13.45 | 14.40 | 12.25                                   | 12.32 | 12.60 | 12.93 |



ตารางที่ 4.6(ต่อ) ผลการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

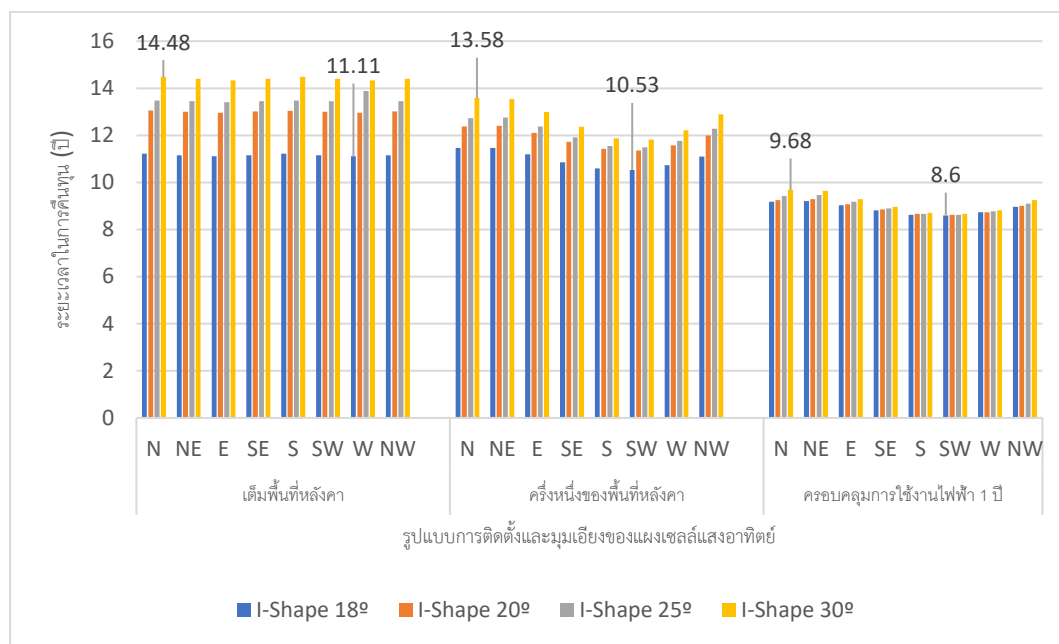
| รูปแบบในการติดตั้ง          | ทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-Shape |       |       |       | อาคาร Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-Shape |       |       |       |
|-----------------------------|------------------------------|---|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|
|                             |                              | ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)                |       |       |       | ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)                |       |       |       |
|                             |                              | 18°                                     | 20°   | 25°   | 30°   | 18°                                     | 20°   | 25°   | 30°   |
| ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา  | N                            | 11.46                                   | 12.38 | 12.73 | 13.58 | 11.93                                   | 12.00 | 12.21 | 12.46 |
|                             | NE                           | 11.46                                   | 12.41 | 12.76 | 13.54 | 11.63                                   | 11.66 | 11.78 | 11.92 |
|                             | E                            | 11.20                                   | 12.11 | 12.38 | 12.99 | 11.40                                   | 11.41 | 11.46 | 11.54 |
|                             | SE                           | 10.85                                   | 11.72 | 11.91 | 12.36 | 11.38                                   | 11.38 | 11.42 | 11.50 |
|                             | S                            | 10.59                                   | 11.42 | 11.55 | 11.87 | 11.55                                   | 11.58 | 11.66 | 11.78 |
|                             | SW                           | 10.53                                   | 11.36 | 11.49 | 11.82 | 11.85                                   | 11.91 | 12.07 | 12.26 |
|                             | W                            | 10.73                                   | 11.58 | 11.77 | 12.22 | 12.08                                   | 12.16 | 12.40 | 12.66 |
|                             | NW                           | 11.10                                   | 12.00 | 12.28 | 12.90 | 12.12                                   | 12.21 | 12.46 | 12.74 |
| ครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้า 1 ปี | N                            | 9.18                                    | 9.25  | 9.43  | 9.68  | 9.70                                    | 9.70  | 9.78  | 9.95  |
|                             | NE                           | 9.21                                    | 9.29  | 9.47  | 9.65  | 9.78                                    | 9.78  | 9.95  | 10.11 |
|                             | E                            | 9.03                                    | 9.07  | 9.18  | 9.29  | 9.70                                    | 9.74  | 9.90  | 10.07 |
|                             | SE                           | 8.81                                    | 8.85  | 8.89  | 8.96  | 9.42                                    | 9.62  | 9.70  | 9.82  |
|                             | S                            | 8.63                                    | 8.67  | 8.67  | 8.71  | 9.33                                    | 9.42  | 9.50  | 9.54  |
|                             | SW                           | 8.60                                    | 8.63  | 8.63  | 8.67  | 9.29                                    | 9.33  | 9.33  | 9.37  |
|                             | W                            | 8.74                                    | 8.74  | 8.78  | 8.81  | 9.37                                    | 9.33  | 9.37  | 9.42  |
|                             | NW                           | 8.96                                    | 9.00  | 9.10  | 9.25  | 9.42                                    | 9.46  | 9.54  | 9.62  |

#### 4.3.3.1 ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ในอาคารรูปร่าง

I-Shape และ อาคารรูปร่าง L-Shape

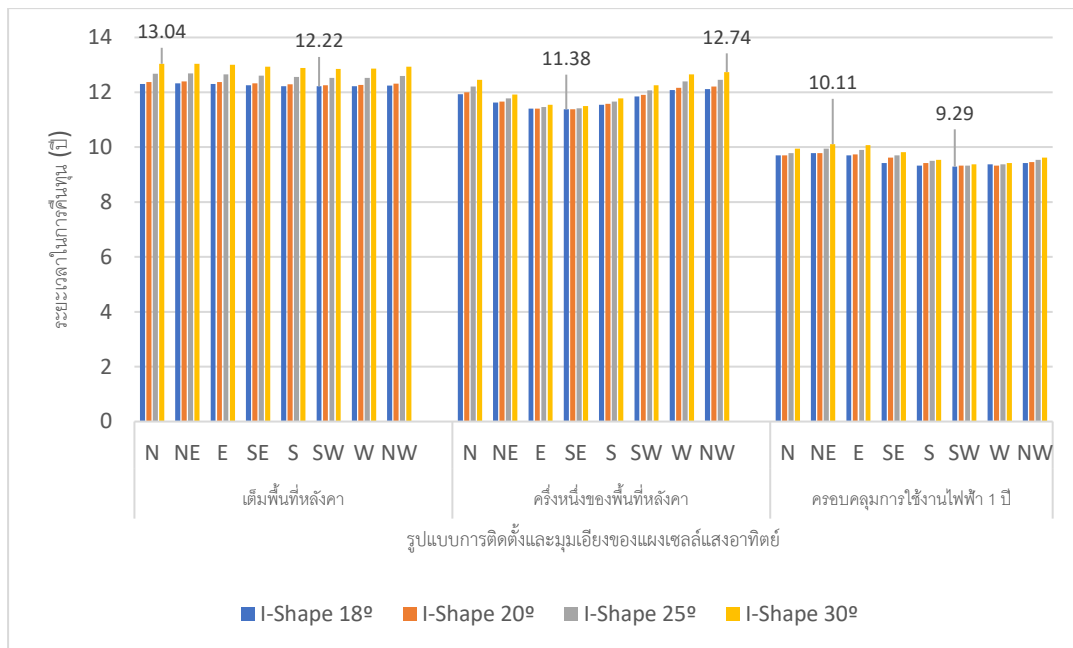
- ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape พบว่า 1) รูปแบบที่ติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาเป็นรูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 2 และ 3 โดยรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคามีโดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ไวที่สุด คือ 11.11 ปี ที่หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันตกและตะวันออก โดยมีมุมเอียงที่ 18 องศา โดยรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคามีระยะเวลาคืนทุนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13.02 ปี 2) รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุดคือ หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียง 18 องศา มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุด คือ 10.53 ปี และมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11.91 ปี 3) รูปแบบในการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี หลังคา รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุดคือ หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เข้าหาทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียง 18 องศา มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุด คือ 8.60 ปี และมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 8.99 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.17



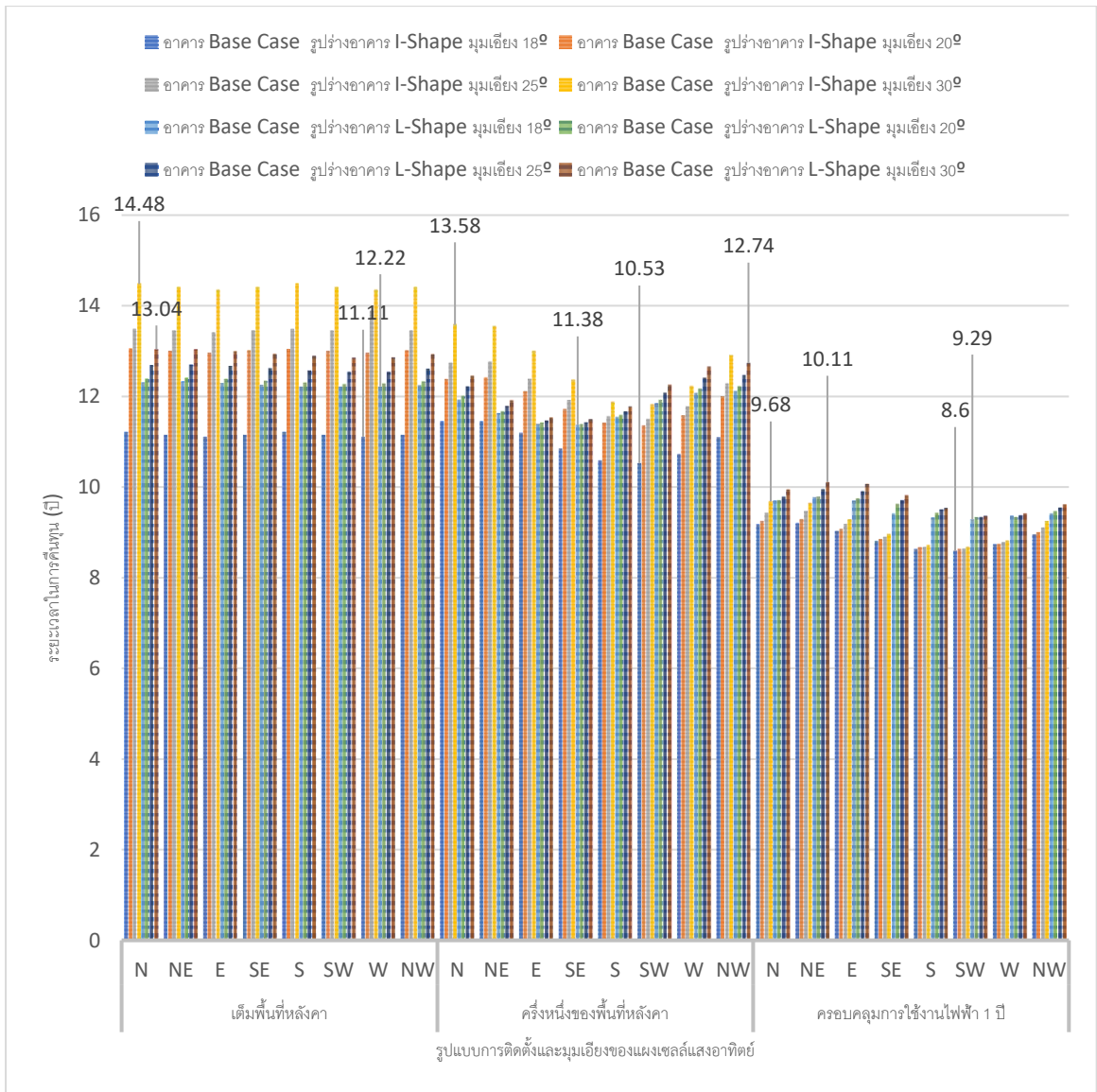
ภาพที่ 4.17 แผนภูมิเปรียบเทียบ ระยะเวลาคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape

- ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) สำหรับอาคารรูปร่าง L-Shape พบว่า 1) รูปแบบที่ติดตั้งแบบพื้นที่หลังคา เป็นรูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ 2 และ 3 โดยรูปแบบติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคามีระยะเวลา โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ไวที่สุด คือ 12.22 ปี หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศทิศใต้ ตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศตะวันตก มุมเอียงที่ 18 องศา โดยรูปแบบติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคามีระยะเวลาคืนทุนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 12.54 ปี 2) รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุดคือ หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันออกเฉียงใต้ มุมเอียง 18 องศา มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุด คือ 11.38 ปี และมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11.89 ปี 3) รูปแบบในการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี หลังคา รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุดคือ หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียง 18 องศา มีระยะเวลาคืนทุนไวที่สุดคือ 9.29 ปี และมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 9.60 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แผนภูมิเปรียบเทียบ ระยะเวลาคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง L-Shape

ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง อาคารรูปร่าง I-Shape และ อาคารรูปร่าง L-Shape ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน พบว่ารูปแบบในการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี มีระยะเวลาในการคืนทุนเร็วที่สุด โดยระยะเวลาคืนทุนโดยเฉลี่ยของอาคารรูปร่าง I-Shape อยู่ที่ 9.60 ปี ซึ่งจะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ไวกว่าอาคารรูปร่าง L-Shape ที่มีระยะเวลาคืนทุนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8.99 ปี โดยทิศทางในการวางอาคารแนวยาวที่ดีที่สุดคือทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มุมเอียง 18 องศา แต่เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนโดยเฉลี่ยทั้ง 3 รูปแบบ ระหว่างอาคาร I-Shape และ L-Shape พบว่ามีระยะเวลาคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 11.31 และ 11.34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโดยภาพรวมอาคารรูปร่าง I-Shape มีระยะเวลาคืนทุนที่ไวกว่า L-Shape เล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 แผนภูมิเปรียบเทียบ ระยะเวลาคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบการติดตั้ง ของอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape

โดยจากการจำลองศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า, ศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปผลการจำลองศักยภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารโรงแรม Base case ทั้ง 3 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

จากผลลัพธ์ทั้งหมดจะเห็นว่ารูปแบบที่ 3 มีความน่าลงทุนมากที่สุด โดยรองลงมาเป็นรูปแบบที่ 2 ที่มีค่า NPV และ IRR ซึ่งอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุน แต่ในรูปแบบดังกล่าวยังมีบางกรณีที่มีเมื่อประมาณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่น่าลงทุน และรูปแบบที่มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดคือรูปแบบที่ 1 หรือ ติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา เนื่องจากค่า NPV และ IRR มีค่าอยู่ใน

เกณฑ์นำลงทุนในทุกๆ กรณี โดยรูปแบบที่มีความเหมาะสมและดีที่สุดในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบคือรูปแบบที่ 3 ทั้งอาคารรูปร่าง L-shape และ I-shape

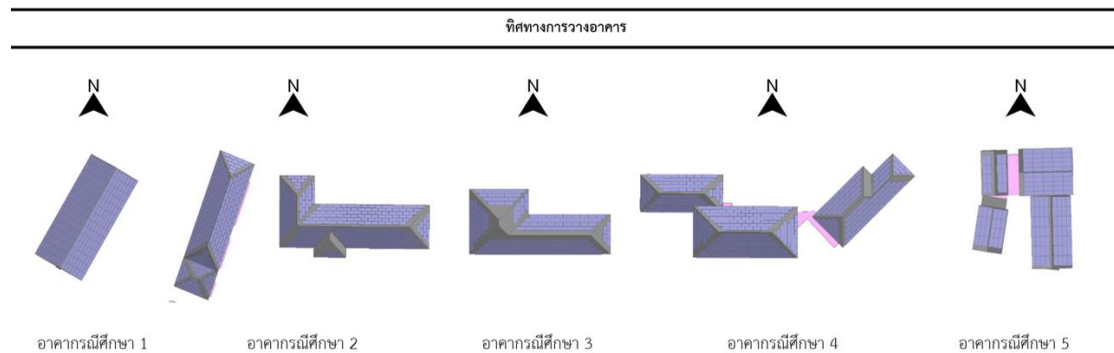
ถึงแม้รูปแบบที่ 1 และ 2 จะสามารถขายค่าไฟส่วนเกินที่ผลิตได้ให้การไฟฟ้าได้ แต่นโยบายจากทาง คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ รองรับการขายเพียงแค่ 10 ปี จึงทำให้ ถึงแม้จะได้เงินจากการขายค่าไฟส่วนเกิน แต่เงินที่ได้จากการขายไฟฟ้าไม่มากเพียงพอต่อความนำลงทุนของโครงการ ซึ่งสอดคล้องกับค่า NPV ที่มีค่าต่ำกว่า 0 ที่พบจากทั้งในรูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2 แต่รูปแบบที่ 3 พบว่าค่า NPV มีค่ามากกว่า 0 ในทุกกรณีซึ่งแสดงว่าอยู่ในเกณฑ์นำลงทุน โดย ตารางที่ 4.7 แสดงรูปแบบที่ดีที่สุดที่เหมาะสมกับอาคารรูปร่าง L-shape และ I-shape

**ตารางที่ 4.7** ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดจากในแต่ละรูปแบบ

| อาคาร   | อาคารโรงแรม Base Case<br>รูปร่างอาคาร I-shape |             |             | อาคารโรงแรม Base Case<br>รูปร่างอาคาร L-shape |             |             |
|---|---|-------------|-------------|---|-------------|-------------|
|   | รูปแบบที่ 1                                   | รูปแบบที่ 2 | รูปแบบที่ 3 | รูปแบบที่ 1                                   | รูปแบบที่ 2 | รูปแบบที่ 3 |
| พื้นที่หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง<br>(ตารางเมตร)                      | 510   | 255         | 226         | 574   | 287         | 180         |
| มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์  | 18°   | 18°         | 18°         | 18°   | 18°         | 18°         |
| จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด<br>340 วัตต์ (แผง)                     | 256   | 128         | 98          | 247   | 124         | 89          |
| ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์(kWp)  | 80  | 40          | 40          | 80  | 40          | 30          |
| พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิต<br>ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์(kWh/ปี) | 96,474.96                                     | 52,035.39   | 45,941.89   | 106,504.44                                    | 56,386.86   | 40,882.81   |
| ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง (kg<br>CO <sub>2</sub> eq/ปี)        | 57,749.91                                     | 31,148.38   | 27,500.81   | 63,753.55                                     | 33,753.17   | 24,472.45   |
| ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ  | 3,550,000                                     | 2,344,000   | 1,658,750   | 3,514,000                                     | 2,328,000   | 1,595,750   |
| IRR ระบบ Off-grid system (%)  | 6   | 7           | 11          | 5   | 6           | 10          |
| NPV ระบบ Off-grid system  | -333,043                                      | 77,345      | 554,326     | -560,460                                      | -133,447    | 373,624     |
| ระยะเวลาคืนทุน (ปี)   | 11.11   | 10.53       | 8.60        | 12.22   | 11.38       | 9.42        |

#### 4.4 การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร โรงแรมกรณีศึกษา

จากการจำลองศักยภาพระบบพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารโรงแรมกรณีศึกษาทั้ง 5 โรงแรม ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 โดยมีแนวการวางอาคารดังแสดงในภาพที่ 4.20 โดยมีผลการจำลองศักยภาพระบบพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.9

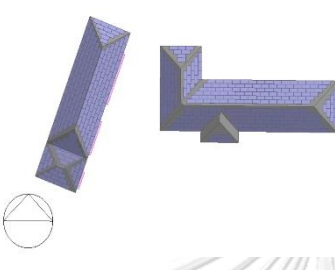
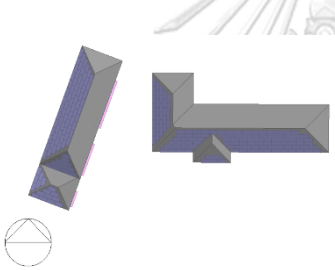
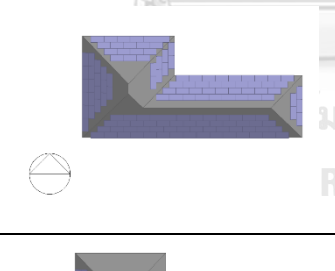
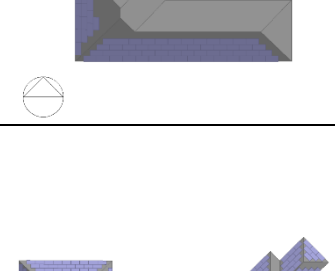
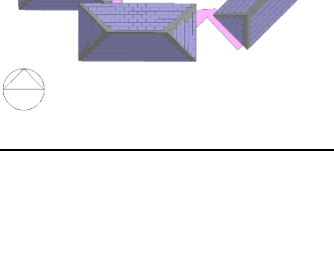


ภาพที่ 4.20 แนวการวางอาคารกรณีศึกษา

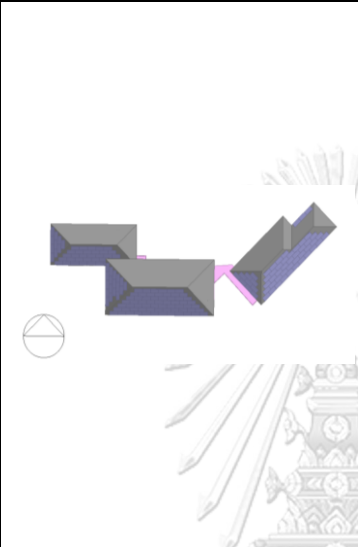
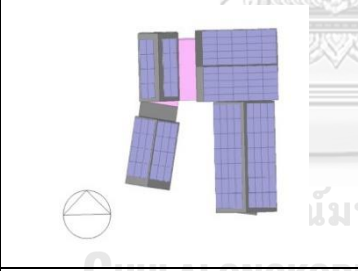
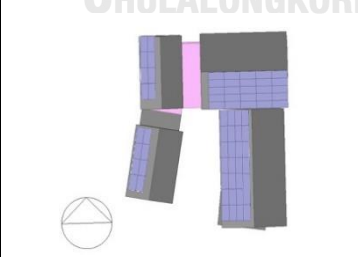
#### ตารางที่ 4.8 ผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารกรณีศึกษาของทิศต่างๆ

| อาคารกรณีศึกษา   | รูปแบบในการติดตั้ง         |               | จำนวนแผงเซลล์ที่ติดตั้ง | ทิศ<br>ทาง<br>และมุม<br>เอียง<br>ของ<br>หลังคา<br>อาคาร | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี<br>(kWh/ปี) |        |        |        |
|------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|---|----------------------------------|--------|--------|--------|
|                  |                            |               |                         |   | 18°                              | 20°    | 25°    | 30°    |
| อาคารกรณีศึกษา 1 | เติมพื้นที่หลังคา          | จำนวน 196 แผง | 98                      | SE  | 84,676                           | 84,104 | 82,430 | 80,435 |
|                  |                            |               | 98                      | NW  | 84,676                           | 84,104 | 82,430 | 80,435 |
|                  | ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา | จำนวน 98 แผง  | 98                      | SE  | 43,172                           | 42,983 | 42,393 | 41,629 |
|                  |                            |               | -                       | NW  | -                                | -      | -      | -      |

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารกรณีศึกษาของทิศต่างๆ

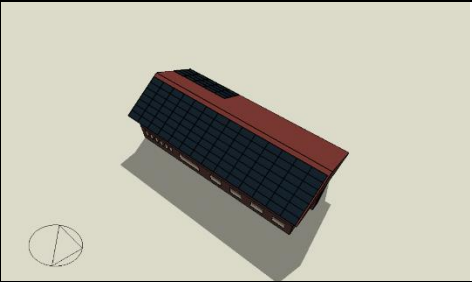
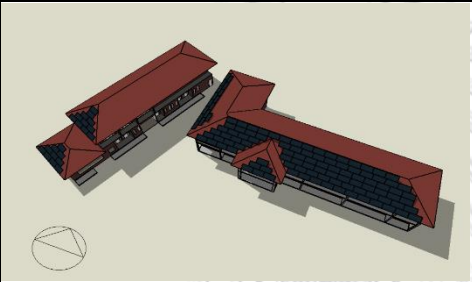
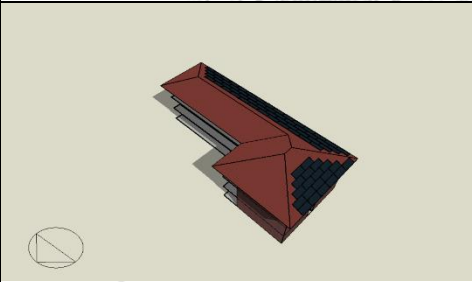
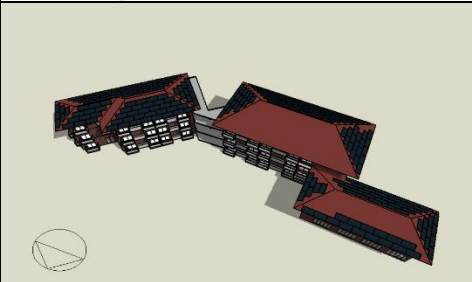
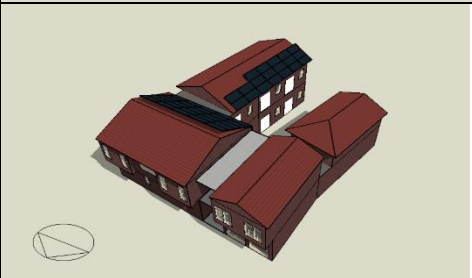
| อาคารกรณีศึกษา   | รูปแบบในการติดตั้ง   |               | จำนวนแผงเซลล์ที่ติดตั้ง   | ทิศ<br>ทาง<br>และมุม<br>เอียง<br>ของ<br>หลังคา<br>อาคาร | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี<br>(kWh/ปี) |        |        |        |        |        |
|------------------|----------------------|---------------|---|---|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  |                      |               |   |   | 18°                              | 20°    | 25°    | 30°    |        |        |
| อาคารกรณีศึกษา 2 | เติมพื้นที่หลังคา    | จำนวน 442 แผง |    | 97  | N                                | 39,000 | 38,384 | 36,722 | 34,893 |        |
|                  |                      |               |   | 21  | NE                               | 33,481 | 8,273  | 7,934  | 7,580  |        |
|                  |                      |               |   | 24  | E                                | 13,484 | 9,910  | 9,648  | 9,369  |        |
|                  |                      |               |   | 73  | SE                               | 9,749  | 33,334 | 32,877 | 32,284 |        |
|                  |                      |               |   | 97  | S                                | 44,618 | 44,604 | 44,411 | 43,991 |        |
|                  |                      |               |   | 21  | SW                               | 33,481 | 9,757  | 9,743  | 9,681  |        |
|                  |                      |               |   | 30  | W                                | 10,008 | 13,454 | 13,335 | 13,164 |        |
|                  |                      |               |   | 76  | NW                               | 8,402  | 31,889 | 31,048 | 30,094 |        |
|                  | ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ | จำนวน 221 แผง |   | -   | N                                | -      | -      | -      | -      |        |
|                  |                      |               |   | -   | NE                               | -      | -      | -      | -      | -      |
|                  |                      |               |   | -   | E                                | -      | -      | -      | -      | -      |
|                  |                      |               |   | 70  | SE                               | 29,075 | 28,948 | 28,550 | 28,036 |        |
|                  |                      |               |   | 97  | S                                | 44,618 | 44,604 | 44,411 | 43,991 |        |
|                  |                      |               |   | 21  | SW                               | 33,481 | 9,757  | 9,743  | 9,681  |        |
| -                | -                    | -             | -   | -   | -                                | -      | -      |        |        |        |
|                  |                      |               |   |   |                                  |        |        | 30     | W      | 10,008 |
| อาคารกรณีศึกษา 3 | เติมพื้นที่หลังคา    | จำนวน 221 แผง |  | 54  | N                                | 21,711 | 21,368 | 20,443 | 19,425 |        |
|                  |                      |               |   | 13  | E                                | 5,421  | 5,368  | 5,226  | 5,075  |        |
|                  |                      |               |   | 54  | S                                | 24,839 | 24,831 | 24,724 | 24,490 |        |
|                  |                      |               |   | 20  | W                                | 8,990  | 8,969  | 8,890  | 8,776  |        |
|                  | ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ | จำนวน 221 แผง |  | -   | N                                | -      | -      | -      | -      |        |
|                  |                      |               |   | -   | E                                | -      | -      | -      | -      | -      |
|                  |                      |               |   | 54  | S                                | 24,839 | 24,831 | 24,724 | 24,490 |        |
|                  |                      |               |   | 16  | W                                | 7,192  | 7,175  | 7,112  | 7,021  |        |
| อาคารกรณีศึกษา 4 | เติมพื้นที่หลังคา    | จำนวน 354 แผง |  | 101   | N                                | 40,608 | 39,967 | 38,237 | 36,332 |        |
|                  |                      |               |   | 6   | NE                               | 2,400  | 2,364  | 2,267  | 2,166  |        |
|                  |                      |               |   | 28  | E                                | 11,676 | 11,562 | 11,256 | 10,930 |        |
|                  |                      |               |   | 39  | SE                               | 17,181 | 17,106 | 16,871 | 16,567 |        |
|                  |                      |               |   | 101   | S                                | 46,458 | 46,444 | 46,243 | 45,806 |        |
|                  |                      |               |   | 6   | SW                               | 2,785  | 2,788  | 2,784  | 2,766  |        |
|                  |                      |               |   | 28  | W                                | 12,585 | 12,557 | 12,446 | 12,286 |        |
|                  |                      |               |   | 45  | NW                               | 19,058 | 18,882 | 18,384 | 17,819 |        |

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

| อาคารกรณีศึกษา   | รูปแบบในการติดตั้ง                    |   | จำนวนแผงเซลล์ที่ติดตั้ง | ทิศ<br>ทาง<br>และมุม<br>เอียง<br>ของ<br>หลังคา<br>อาคาร | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี<br>(kWh/ปี) |        |        |        |
|------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|---|----------------------------------|--------|--------|--------|
|                  |                                       |   |                         |   | 18°                              | 20°    | 25°    | 30°    |
| อาคารกรณีศึกษา 1 | ครึ่งหนึ่งของพื้นที่<br>จำนวน 177 แผง |   | -                       | N   | -                                | -      | -      | -      |
|                  |                                       |   | -                       | NE  | -                                | -      | -      | -      |
|                  |                                       |   | -                       | E   | -                                | -      | -      | -      |
|                  |                                       |   | 39                      | SE  | 29,075                           | 28,948 | 28,550 | 28,036 |
|                  |                                       |   | 101                     | S   | 44,618                           | 44,604 | 44,411 | 43,991 |
|                  |                                       |   | 6                       | SW  | 33,481                           | 9,757  | 9,743  | 9,681  |
|                  |                                       |   | 28                      | W   | 10,008                           | 13,454 | 13,335 | 13,164 |
|                  |                                       |   | 3                       | NW  | 1,348                            | 1,345  | 1,333  | 1,316  |
| อาคารกรณีศึกษา 5 | เต็มพื้นที่หลังคา<br>จำนวน 177 แผง    |  | 25                      | N   | 10,052                           | 9,893  | 9,465  | 8,993  |
|                  |                                       |   | 48                      | E   | 20,016                           | 19,820 | 19,296 | 18,737 |
|                  |                                       |   | 25                      | S   | 11,499                           | 11,496 | 11,446 | 11,338 |
|                  |                                       |   | 48                      | W   | 21,575                           | 21,526 | 21,336 | 21,062 |
|                  | ครึ่งหนึ่งของพื้นที่<br>จำนวน 177 แผง |  | -                       | N   | -                                | -      | -      | -      |
|                  |                                       |   | -                       | E   | -                                | -      | -      | -      |
|                  |                                       |   | 25                      | S   | 11,499                           | 11,496 | 11,446 | 11,338 |
|                  |                                       |   | 48                      | W   | 21,575                           | 21,526 | 21,336 | 21,062 |

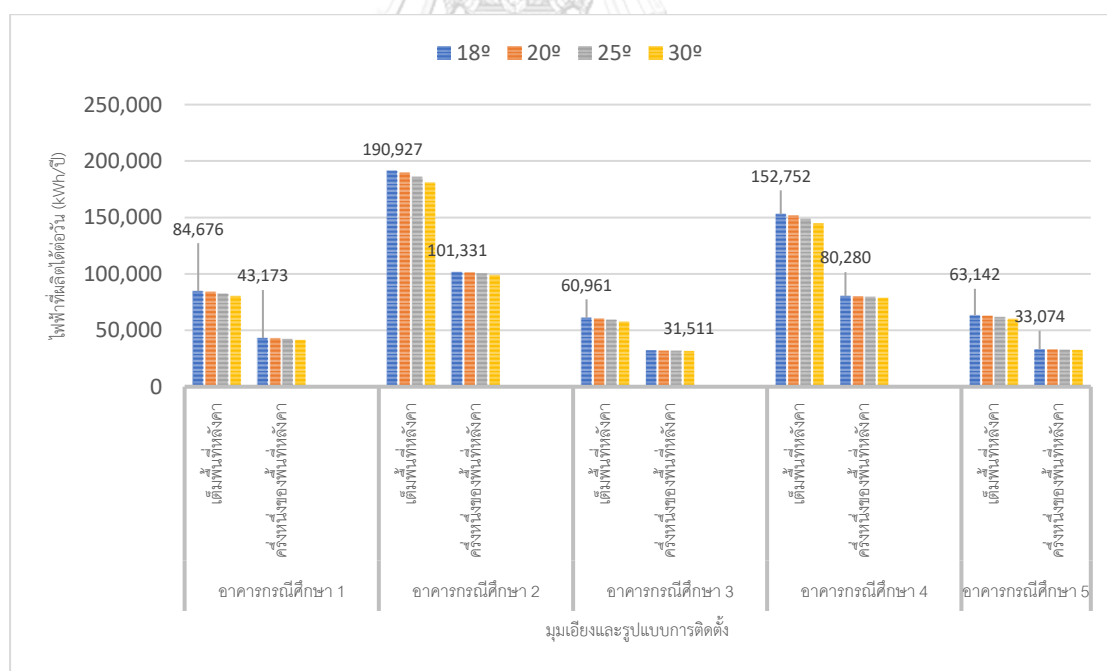


ตารางที่ 4.9 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

| อาคารกรณีศึกษา   | รูปแบบในการติดตั้ง                 |   | ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี<br>(kWh/ปี) |         |         |         |
|------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|---------|---------|---------|
|                  |                                    |   | 18°                              | 20°     | 25°     | 30°     |
| อาคารกรณีศึกษา 1 | เติมพื้นที่<br>หลังคา              |    | 84,676                           | 84,104  | 82,430  | 80,435  |
|                  | ครึ่งหนึ่ง<br>ของพื้นที่<br>หลังคา |   | 43,173                           | 42,984  | 42,394  | 41,629  |
| อาคารกรณีศึกษา 2 | เติมพื้นที่<br>หลังคา              |   | 190,927                          | 189,604 | 185,719 | 181,056 |
|                  | ครึ่งหนึ่ง<br>ของพื้นที่<br>หลังคา |   | 101,331                          | 101,149 | 100,366 | 99,120  |
| อาคารกรณีศึกษา 3 | เติมพื้นที่<br>หลังคา              |  | 60,961                           | 60,536  | 59,283  | 57,766  |
|                  | ครึ่งหนึ่ง<br>ของพื้นที่<br>หลังคา |   | 32,031                           | 32,006  | 31,836  | 31,511  |
| อาคารกรณีศึกษา 4 | เติมพื้นที่<br>หลังคา              |  | 152,752                          | 151,667 | 148,487 | 144,671 |
|                  | ครึ่งหนึ่ง<br>ของพื้นที่<br>หลังคา |   | 80,280                           | 80,153  | 79,569  | 78,612  |
| อาคารกรณีศึกษา 5 | เติมพื้นที่<br>หลังคา              |  | 63,142                           | 62,735  | 61,543  | 60,130  |
|                  | ครึ่งหนึ่ง<br>ของพื้นที่<br>หลังคา |   | 33,074                           | 33,022  | 32,782  | 32,400  |

4.4.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคาและครึ่งของพื้นที่หลังคา

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ของ อาคารโรงแรมกรณีศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4. พบว่าค่า ปริมาณไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆ กันและมี มุมเอียงหลังคาที่ต่างกันของรูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาและครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคา ในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 มุมเอียงหลังคาที่ 18 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 190,927 kWh/ปี และ อาคารกรณีศึกษาที่ 3 มุมเอียงหลังคาที่ 30 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด โดยสามารถผลิตได้เพียง 57,766 kWh/ปี 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 มุมเอียงหลังคาที่ 18 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 101,331 kWh/ปี และ อาคารกรณีศึกษาที่ 3 มุมเอียงหลังคาที่ 30 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด โดยสามารถผลิตได้เพียง 31,511 kWh/ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคาและครึ่งของพื้นที่หลังคา

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการนิสิตศึกษา

| จุดประเมินมูลค่า     | มูลค่าของ<br>หลังคาอาคาร       | NPV<br>(บาท) |             |             |             | IRR<br>(%) |       |       |       | ระยะเวลาคืนทุน<br>(ปี) |       |       |       | ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ<br>(ล้านบาท) |      |      |      |
|----------------------|--------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|------|------|------|
|                      |                                | 18°          | 20°         | 25°         | 30°         | 18°        | 20°   | 25°   | 30°   | 18°                    | 20°   | 25°   | 30°   | 18°                                   | 20°  | 25°  | 30°  |
| อาคาร<br>กรณีศึกษา 1 | เต็มพื้นที่หลังคา              | 77636.08     | 68,797.61   | 42,931.16   | 12,104.66   | 7.00       | 7.00  | 7.00  | 7.00  | 10.12                  | 10.18 | 10.34 | 10.54 | 3.00                                  |      |      |      |
|                      | ครึ่งหนึ่งของ<br>พื้นที่หลังคา | 519,978.45   | 510,440.55  | 480,666.16  | 442,060.38  | 10.00      | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 8.73                   | 8.77  | 8.89  | 9.05  | 1.66                                  |      |      |      |
|                      | ครอบคลุมการ<br>ใช้งานใน 1 ปี   | 755,443.58   | 748,443.58  | 727,443.58  | 699,443.58  | 11.00      | 11.00 | 11.00 | 11.00 | 8.08                   | 8.11  | 8.21  | 8.33  | 1.80                                  | 1.81 | 1.83 | 1.86 |
| อาคาร<br>กรณีศึกษา 2 | เต็มพื้นที่หลังคา              | -781,024.44  | -801,467.28 | -861,497.83 | -933,549.94 | 5.00       | 5.00  | 5.00  | 5.00  | 11.23                  | 11.33 | 11.65 | 12.03 | 5.90                                  |      |      |      |
|                      | ครึ่งหนึ่งของ<br>พื้นที่หลังคา | -46,399.26   | -49,384.28  | -58,184.83  | -68,839.60  | 7.00       | 7.00  | 7.00  | 7.00  | 11.17                  | 11.18 | 11.23 | 11.29 | 3.46                                  |      |      |      |
|                      | ครอบคลุมการ<br>ใช้งานใน 1 ปี   | 984,799.63   | 984,799.63  | 977,799.63  | 963,799.63  | 12.00      | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 7.85                   | 7.85  | 7.87  | 7.92  | 2.13                                  | 2.13 | 2.14 | 2.15 |

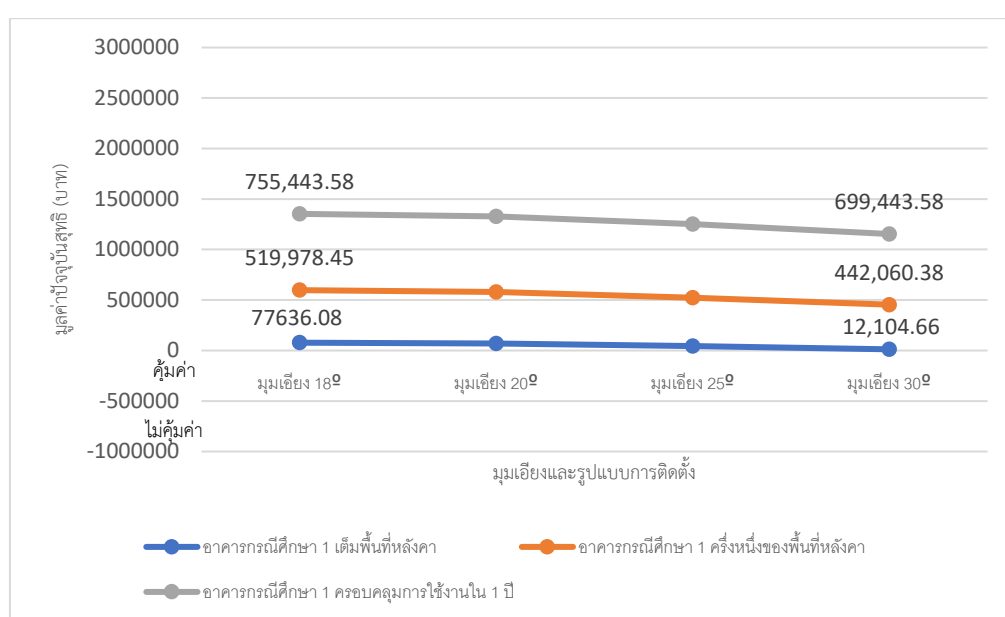
ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ข้อมูลเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตศึกษา

| ชนิดระบบเทคโนโลยี    | มุมมองของ<br>หลังอาคาร         | NPV<br>(บาท) |              |              |              | IRR<br>(%) |       |       |       | ระยะเวลาคืนทุน<br>(ปี) |      |      |      | ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ<br>(ล้านบาท) |      |      |      |
|----------------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------|-------|-------|------------------------|------|------|------|---------------------------------------|------|------|------|
|                      |                                | 18°          | 20°          | 25°          | 30°          | 18°        | 20°   | 25°   | 30°   | 18°                    | 20°  | 25°  | 30°  | 18°                                   | 20°  | 25°  | 30°  |
| อาคาร<br>กรณีศึกษา 3 | เติมพื้นที่หลังคา              | 662,846.35   | 659,861.33   | 651,060.78   | 640,406.00   | 11.00      | 11.00 | 11.00 | 11.00 | 6.93                   | 6.95 | 6.97 | 7.00 | 2.18                                  |      |      |      |
|                      | ครึ่งหนึ่งของ<br>พื้นที่หลังคา | 367,696.64   | 366,435.02   | 357,855.96   | 341,454.81   | 10.00      | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 8.86                   | 8.88 | 8.91 | 9.00 | 1.25                                  |      |      |      |
| อาคาร<br>กรณีศึกษา 4 | ครอบคลุมการ<br>ใช้งานใน 1 ปี   | 390,829.37   | 383,829.37   | 383,829.37   | 376,829.37   | 10.00      | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 8.74                   | 8.78 | 8.78 | 8.83 | 0.98                                  | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
|                      | เติมพื้นที่หลังคา              | 1,150,101.47 | 1,133,336.18 | 1,084,199.20 | 1,025,234.83 | 9.00       | 9.00  | 9.00  | 9.00  | 8.92                   | 8.96 | 9.06 | 9.20 | 5.28                                  |      |      |      |
| อาคาร<br>กรณีศึกษา 4 | ครึ่งหนึ่งของ<br>พื้นที่หลังคา | 1,397,585.79 | 1,391,176.72 | 1,361,705.12 | 1,313,410.05 | 13.00      | 13.00 | 12.00 | 12.00 | 7.51                   | 7.52 | 7.58 | 7.67 | 2.65                                  |      |      |      |
|                      | ครอบคลุมการ<br>ใช้งานใน 1 ปี   | 2,606,508.64 | 2,592,508.64 | 2,564,508.64 | 2,515,508.64 | 15.00      | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 6.36                   | 6.4  | 6.45 | 6.54 | 3.25                                  | 3.27 | 3.30 | 3.35 |

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ข้อมูลเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตศึกษา

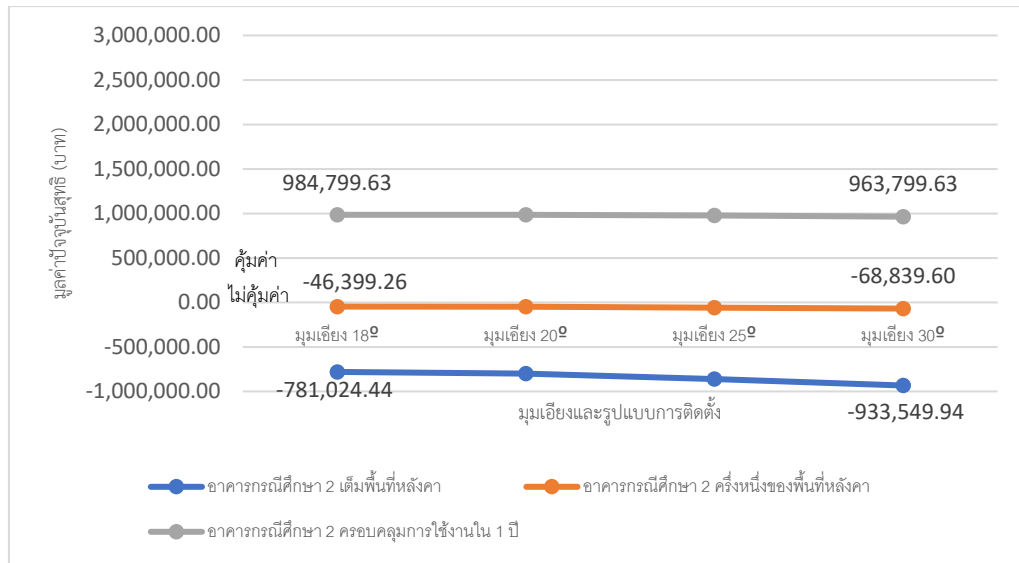
| ผู้เสนอแบบเทคโนโลยี  | มุมมองของ<br>หลังคาอาคาร       | NPV<br>(บาท) |             |             |             |      | IRR<br>(%) |      |      |       |       | ระยะเวลาคืนทุน<br>(ปี) |       |       |      |      | ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ<br>(ล้านบาท) |      |      |  |  |
|----------------------|--------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------|------------|------|------|-------|-------|------------------------|-------|-------|------|------|---------------------------------------|------|------|--|--|
|                      |                                | 18°          | 20°         | 25°         | 30°         | 30°  | 18°        | 20°  | 25°  | 30°   | 30°   | 18°                    | 20°   | 25°   | 30°  | 18°  | 20°                                   | 25°  | 30°  |  |  |
| อาคาร<br>กรณีศึกษา 5 | เดิมพื้นที่หลังคา              | -535,954.67  | -542,243.58 | -560,662.22 | -582,495.73 | 3.00 | 3.00       | 3.00 | 3.00 | 3.00  | 14.34 | 14.4                   | 14.74 | 15.09 | 2.22 |      |                                       |      |      |  |  |
|                      | ครึ่งหนึ่งของ<br>พื้นที่หลังคา | -47,561.78   | -48,365.28  | -52,073.73  | -57,976.35  | 7.00 | 7.00       | 6.00 | 6.00 | 11.04 | 11.06 | 11.12                  | 11.22 | 1.30  |      |      |                                       |      |      |  |  |
|                      | ครอบคลุมการ<br>ใช้งานใน 1 ปี   | -51,872.22   | -51,872.22  | -58,872.22  | -58,872.22  | 6.00 | 6.00       | 6.00 | 6.00 | 6.00  | 12.06 | 12.06                  | 12.13 | 12.13 | 1.07 | 1.07 | 1.07                                  | 1.08 | 1.08 |  |  |

- ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของอาคารกรณีศึกษา 1 จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่าค่า NPV ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานในหนึ่งปี และ แบบติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา โดยรูปแบบที่มีค่า NPV สูงสุดคือรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี มุมเอียง 18 องศา มีค่า NPV 755,443.58 บาท จึงมีความน่าลงทุนมากกว่า รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาซึ่งอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุนน้อยที่สุดเนื่องจากมีค่า NPV ที่ต่ำที่สุด โดยมีค่า 12,104.66 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.22



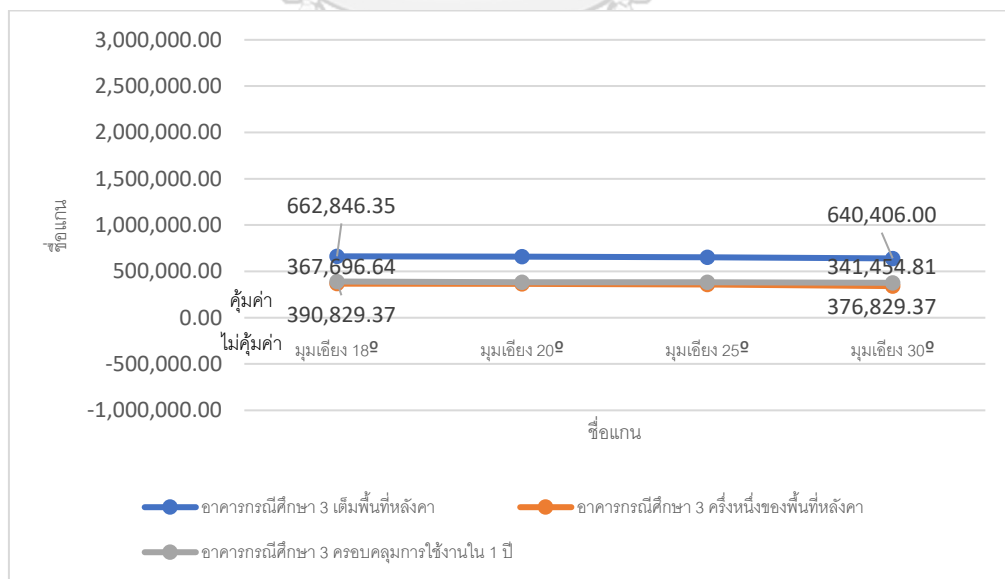
ภาพที่ 4.22 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของอาคารกรณีศึกษา 1

- ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของอาคารกรณีศึกษา 2 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่มีค่า NPV สูงสุดคือรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี 984,799.63 บาท จึงมีความน่าลงทุนมากกว่า รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคาซึ่งอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุนเนื่องจากมีค่า NPV ที่ต่ำกว่า 0 โดยมีค่า -993,549.94 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.23



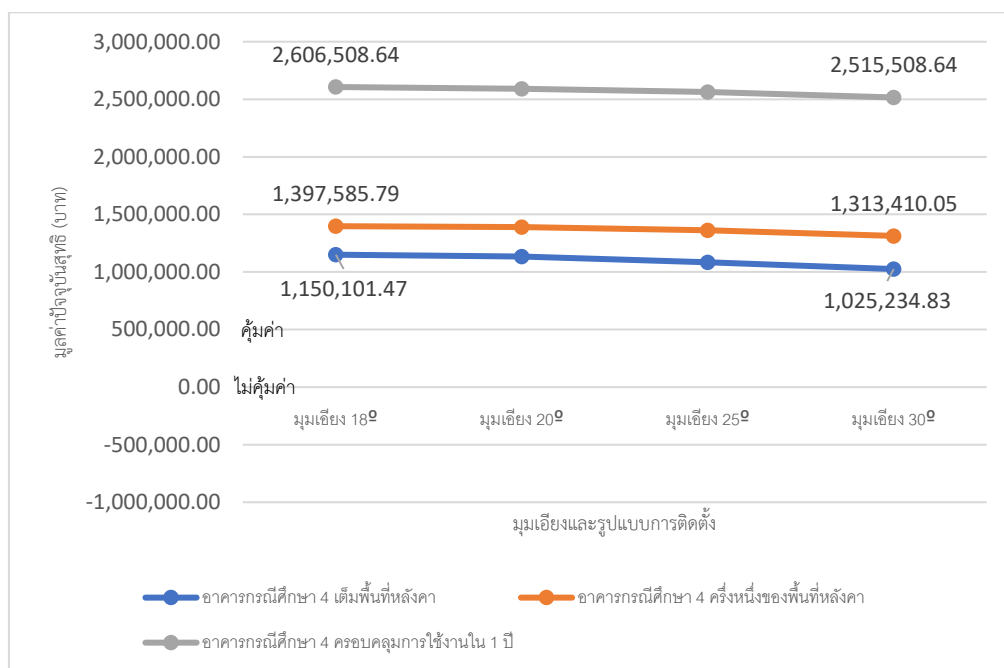
ภาพที่ 4.23 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของอาคารกรณีศึกษา 2

- ผลการมูลค่าปัจจุบันสุทธิของอาคารกรณีศึกษา 3 จะเห็นได้ว่าค่า NPV ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานในหนึ่งปี และ แบบติดตั้งครั้งหนึ่งของพื้นที่หลังคา โดยรูปแบบที่มีค่า NPV สูงสุดคือรูปแบบเพิ่มพื้นที่หลังคา 662,846.35 บาท จึงมีความน่าลงทุนมากกว่า รูปแบบการติดตั้งแบบครั้งหนึ่งของพื้นที่หลังคาซึ่งอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุนน้อยที่สุดเนื่องจากมีค่า NPV ที่น้อยที่สุดโดยมีค่า 341,454.81 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของอาคารกรณีศึกษา 3

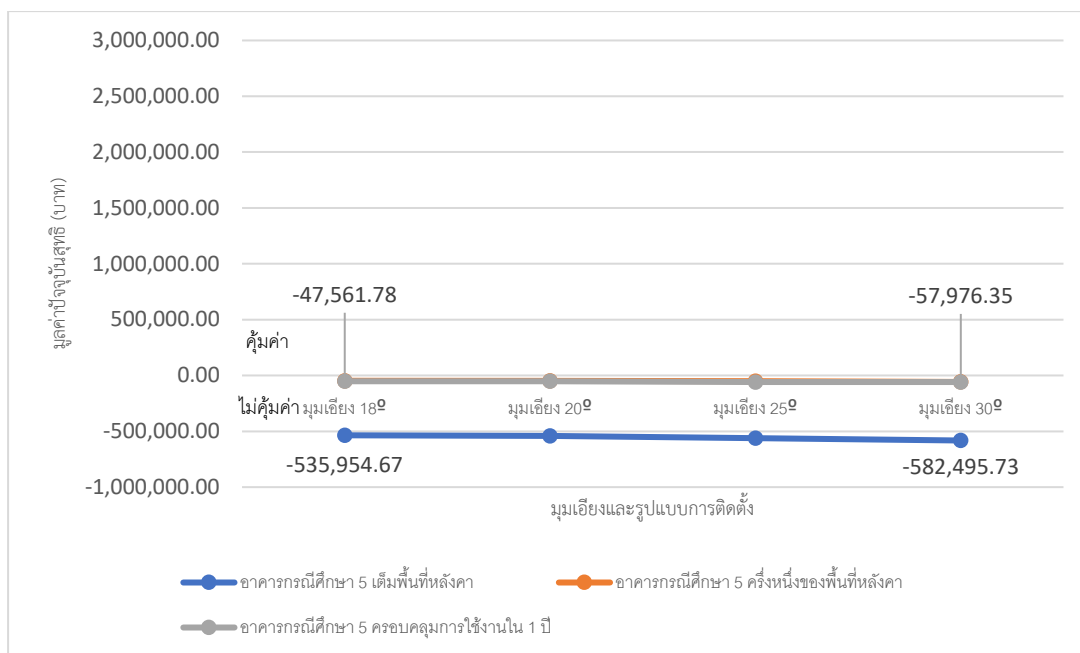
- ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของอาคารกรณีศึกษา 4 พบว่าทุกรูปแบบในการติดตั้งอยู่ในเกณฑ์นำลงทุนเนื่องจากค่า NPV มากกว่า 0 ในทุกกรณี โดยรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี มีความนำลงทุนที่สุด เนื่องจากมีค่า NPV สูงที่สุด อยู่ที่ 2,606,508.64 บาท และรูปแบบที่มีความนำลงทุนน้อยที่สุดคือรูปแบบการติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา เนื่องจากมีค่า NPV น้อยที่สุด คือ 1,025,234.83 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของอาคารกรณีศึกษา 4

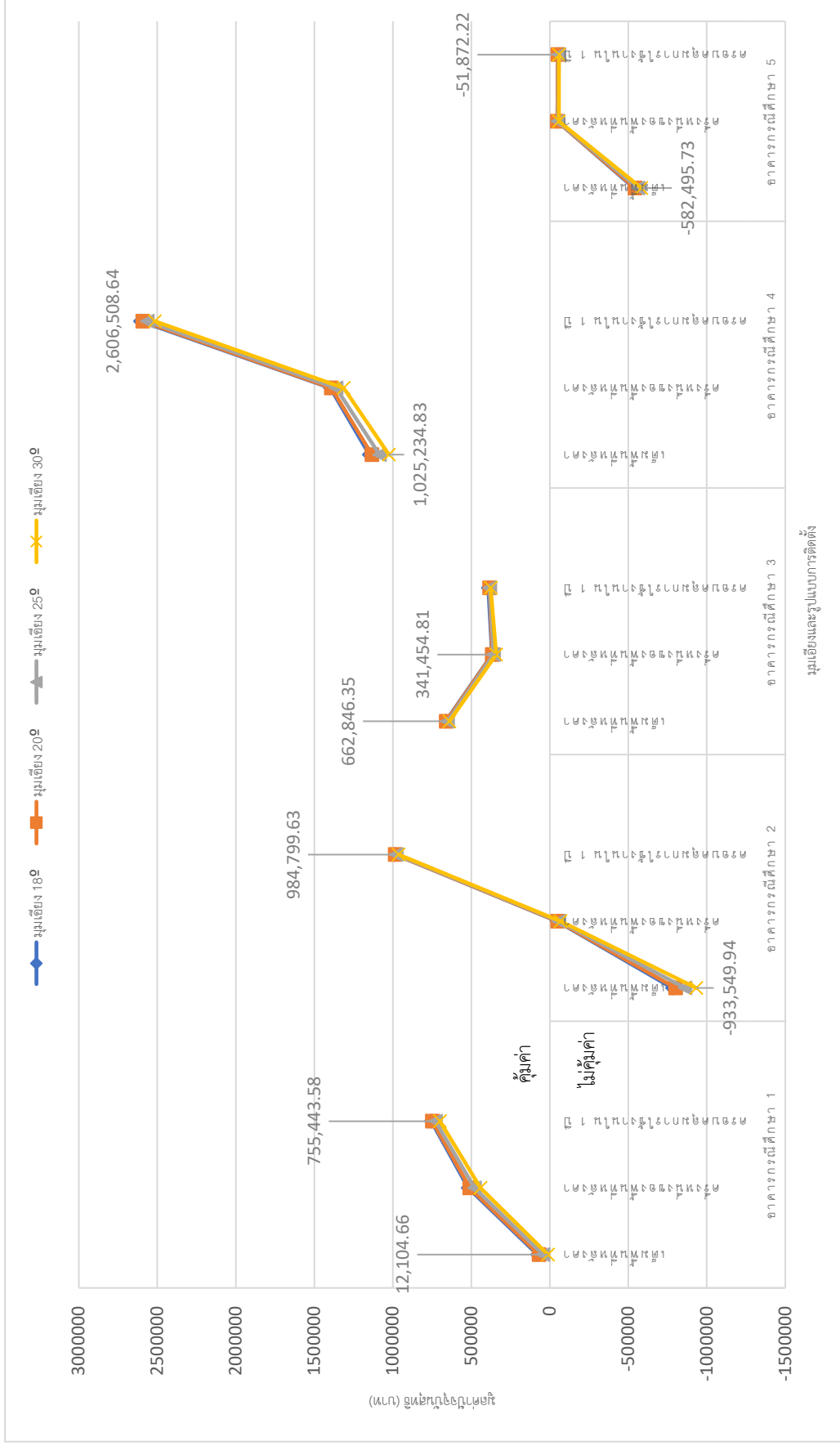
- ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของอาคารกรณีศึกษา 5 พบว่าทุกรูปแบบในการติดตั้งอยู่ในเกณฑ์ไม่นำลงทุนเนื่องจากค่า NPV น้อยกว่า 0 หรือ ติดลบ ในทุกกรณี โดยรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานในหนึ่ง มีค่า NPV ที่ใกล้เคียงต่อการลงทุนมากที่สุด โดยมีค่า NPV อยู่ที่ -47,561.78 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.26





ภาพที่ 4.26 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของอาคารกรณีศึกษา 5

เมื่อเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 พบว่า รูปแบบที่ 3 หรือ การติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีความน่าลงทุนมากที่สุด โดยมี อาคารกรณีศึกษา ที่ 1, 2, 3 และ 4 ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานที่มีค่า NPV มากกว่าศูนย์ โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 5 เพียงกรณีเดียว ที่รูปแบบการติดตั้งดังกล่าวที่มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18 องศา มีค่า NPV เท่ากับ -51,872.22 บาท ซึ่งต่ำกว่าศูนย์ หรือ อยู่ในเกณฑ์โครงการที่ไม่น่าลงทุน โดยรูปแบบที่นำลงทุนรองลงมาจากรูปแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี คือรูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 2 และ 5 ที่มีค่า NPV ที่ติดลบ และ รูปแบบการติดตั้งที่มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดคือ รูปแบบติดตั้งแบบเพิ่มพื้นที่หลังคา เนื่องจากเป็นรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นๆ โดยมีอาคารกรณีศึกษาที่ 1 3 และ 4 เท่านั้นที่รูปแบบดังกล่าวมีความน่าลงทุน โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีความน่าลงทุนที่สุดในรูปแบบติดตั้งแบบเพิ่มพื้นที่หลังคา มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18 องศา โดยมีค่า NPV มากกว่าศูนย์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุน คือ 1,150,101.47 บาท เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูงใน 1 ปี โดยสูงถึง 116,164.68 kWh ซึ่งสูงกว่าอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ถึง 3-4 เท่า จึงทำให้รูปแบบการติดตั้งดังกล่าวมีความน่าลงทุน ซึ่งแตกต่างจากอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ที่มีการใช้ไฟฟ้าที่น้อยกว่าชัดเจน ทั้งที่เป็นประเภทอาคารโรงแรมขนาดเล็กเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.27

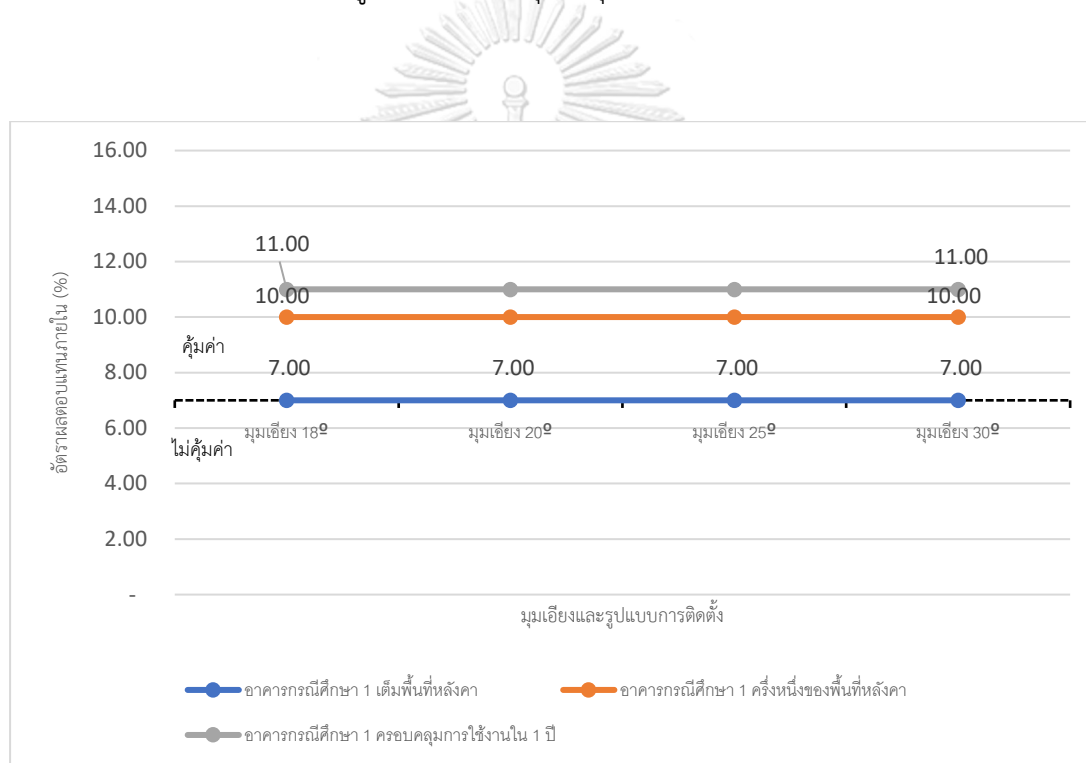


มุมมองและรูปแบบการติดตั้ง

ภาพที่ 4.27 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ทุกรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารกรณีศึกษา

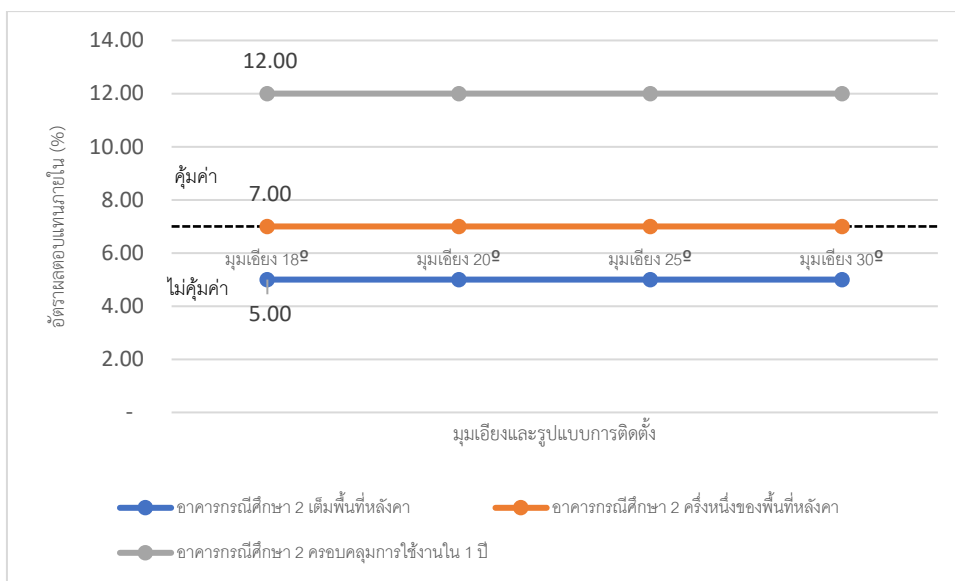
#### 4.4.3 ผลประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) ของอาคาร Base Case โดยคำนวณจากสมการ (3) มีผลการวิจัยดังนี้

- ผลการประเมินอัตราผลตอบแทนภายในของอาคารกรณีศึกษา 1 จะเห็นได้ว่าค่า IRR ในทุกรูปแบบในการติดตั้งมีค่า IRR มากกว่า หรือ เท่ากับ 7% ในทุกกรณี โดยรูปแบบที่มีค่า IRR สูงที่สุดคือรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานในหนึ่งปี โดยมีค่า IRR เท่ากับ 11% และรูปแบบที่มีค่า IRR น้อยที่สุดคือรูปแบบติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา โดยมีค่า IRR เท่า 7% ถึงจะเป็นรูปแบบที่มีค่า IRR น้อยที่สุดแต่ยังมีค่าเท่ากับอัตราดอกเบี้ยคือ 7% จึงทำให้ทุกรูปแบบในการติดตั้งสำหรับอาคารกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ในเกณฑ์น่าลงทุนในทุกกรณี ดังแสดงในภาพที่ 4.28



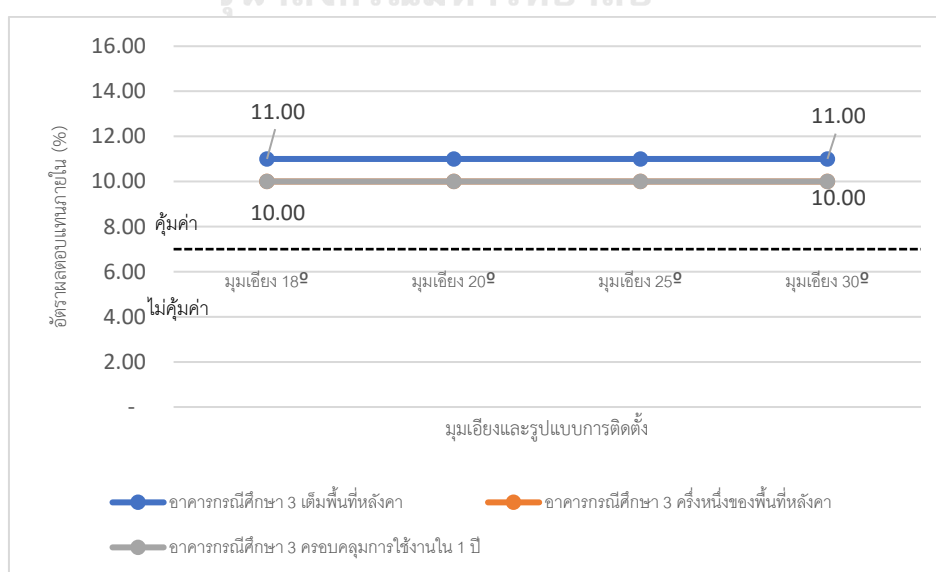
ภาพที่ 4.28 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของของอาคารกรณีศึกษา 1

- ผลการประเมินอัตราผลตอบแทนภายในของอาคารกรณีศึกษา 2 จะเห็นได้ว่าค่า IRR ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานในหนึ่งปี และ แบบติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา โดยรูปแบบที่มีค่า IRR สูงกว่าอัตราดอกเบี้ย หรือ สูงกว่า 7% โดยรูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี มีค่า IRR สูงถึง 12% จึงถือว่า รูปแบบการติดตั้งทั้ง 2 รูปแบบ อยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุน ซึ่งมีเพียงรูปแบบเดียวที่ทุกกรณีมีค่า IRR อยู่ที่ 5% ซึ่งต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ย คือรูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลัง จึงทำให้รูปแบบดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่น่าลงทุน ดังแสดงในภาพที่ 4.29



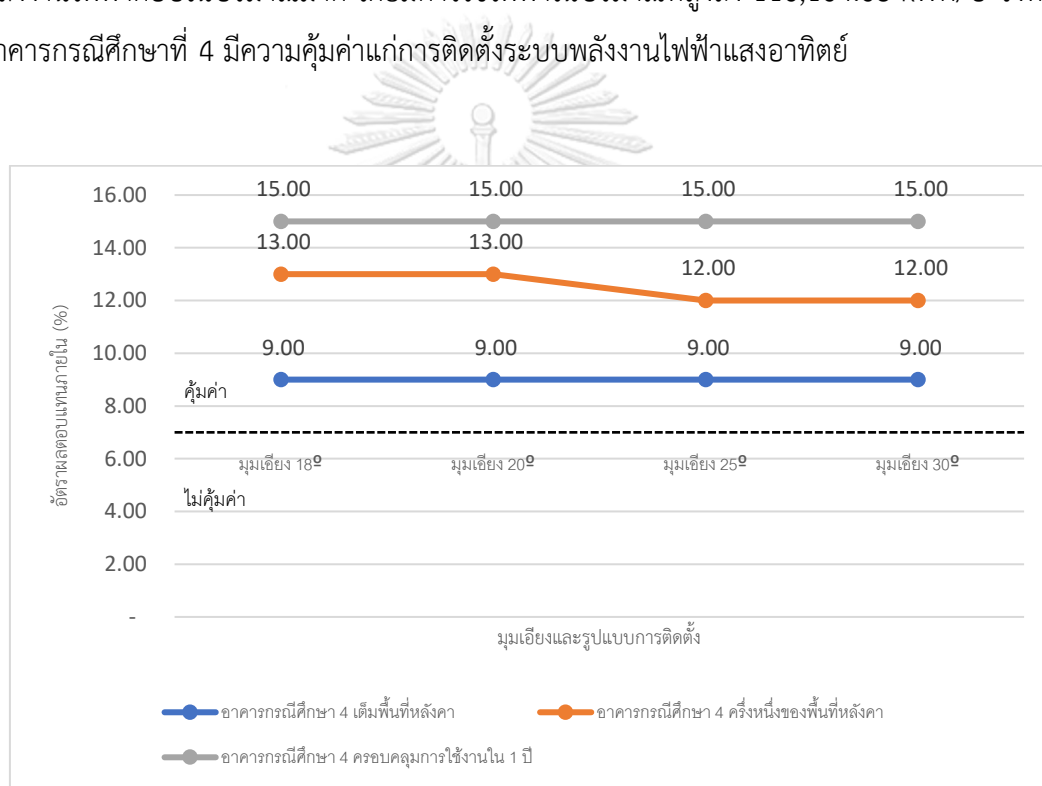
ภาพที่ 4.29 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของของอาคารกรณีศึกษา 2

- ผลการอัตราผลตอบแทนภายในของอาคารกรณีศึกษา 3 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่มีค่า IRR สูงสุดคือ รูปแบบการติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคาโดยมีค่า IRR เท่ากับ 11% โดยรูปแบบติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ รูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีความน่าลงทุนที่รองลงมา โดยมีค่า IRR เท่ากัน คือ 10% จึงจะเห็นได้ว่าทุกรูปแบบในการติดตั้งมีค่า IRR ที่สูงกว่า 7% หรือ สูงกว่าอัตราดอกเบี้ย จึงทำให้ทุกรูปแบบในการติดตั้งสำหรับอาคารกรณีศึกษาที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุน ดังแสดงในภาพที่ 4.30



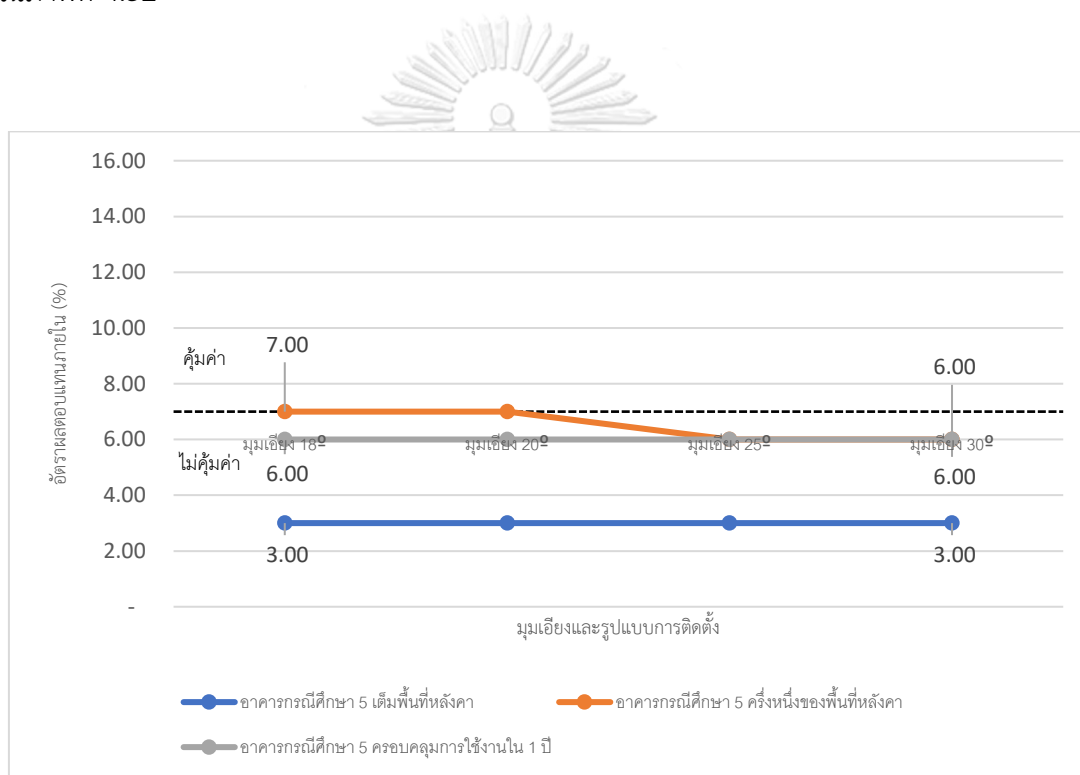
ภาพที่ 4.30 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของของอาคารกรณีศึกษา 3

- ผลการอัตราผลตอบแทนภายในของอาคารกรณีศึกษา 4 จะเห็นได้ว่าค่า IRR ในรูปแบบการติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ ติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา, ติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี มีค่า IRR ที่สูงกว่าอัตราดอกเบี้ย หรือ สูงกว่า 7% โดยรูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีค่า IRR สูงสุด โดยมีค่า IRR อยู่ที่ 15% และ รูปแบบที่มี IRR ต่ำที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา โดยมีค่า IRR อยู่ที่ 9% จะเห็นได้ว่า ค่า IRR ในอาคารกรณีศึกษา 4 ไม่มีกรณีใดที่มีค่าต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ย ดังแสดงในภาพที่ 4.31 จึงทำให้ทุกรูปแบบในการติดตั้งอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุน เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีในปริมาณมาก โดยมีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูงถึง 116,164.68 kWh/ปี จึงทำให้อาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีความคุ้มค่าแก่การติดตั้งระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.31 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของของอาคารกรณีศึกษา 4

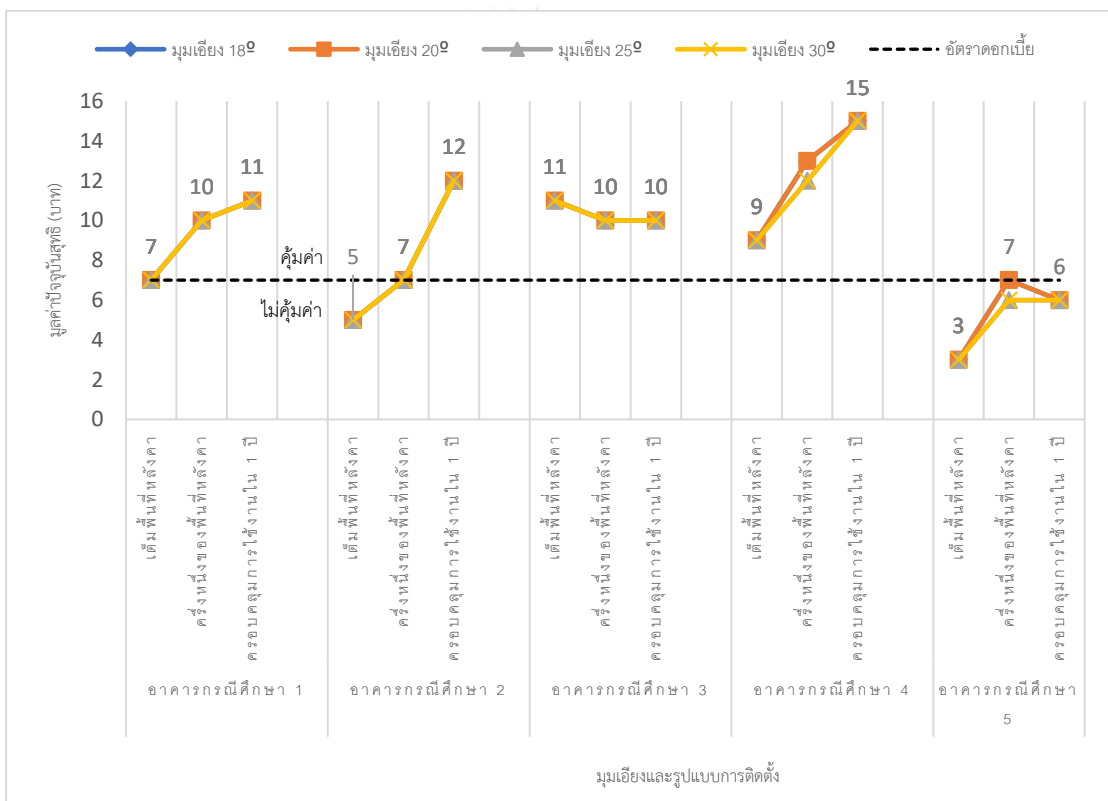
- ผลการอัตราผลตอบแทนภายในของอาคารกรณีศึกษา 5 จะเห็นได้ว่าค่า IRR ในรูปแบบการติดตั้งทั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่ ติดตั้งแบบเติมพื้นที่หลังคา และ ติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา มีค่า IRR ที่ต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ย หรือ ต่ำกว่า 7% โดยมีค่า IRR อยู่ที่ 0-2% และมีเพียงรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี เท่านั้นที่มีค่า IRR เท่ากับอัตราดอกเบี้ย หรือ เท่ากับ 7% ดังแสดงในภาพที่ 4.32 แต่ถึงแม้รูปแบบดังกล่าวจะมีค่าที่เท่ากับอัตราดอกเบี้ยและอยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ แล้ว อาคารกรณีศึกษาที่ 5 ยังอยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ที่มีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ย ดังแสดงในภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของของอาคารกรณีศึกษา 5

เมื่อเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 พบว่า รูปแบบที่ 3 หรือ การติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีความน่าลงทุนมากที่สุด โดยมี อาคารกรณีศึกษา ที่ 1 2 3 และ 4 ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานที่มีค่า IRR เท่ากับหรือมากกว่าอัตราดอกเบี้ย โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 5 เพียงกรณีเดียว ที่รูปแบบการติดตั้งดังกล่าว มีค่า IRR ต่ำที่สุดอยู่ที่ 3% และ IRR สูงสุดเพียง 7% หรือเทียบเท่ากับอัตราดอกเบี้ย ถึงแม้จะอยู่ในเกณฑ์โครงการที่น่าลงทุน แต่ค่า IRR มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ

อาคารกรณีศึกษาอื่นๆ โดยรูปแบบที่มีความน่าลงทุนรองลงมาจากรูปแบบที่ 3 คือรูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวมีค่า IRR ที่สูงกว่าหรือเท่ากับอัตราดอกเบี้ย โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 5 เพียงอาคารเดียวที่มีค่า IRR เท่ากับอัตราดอกเบี้ย และ รูปแบบการติดตั้งที่มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดคือ รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เพียงสองอาคารที่มีความน่าลงทุน เนื่องจากเป็นอาคารกรณีศึกษาสำหรับรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา ที่มีค่า IRR สูงกว่าอัตราดอกเบี้ย โดยมีค่า IRR เท่ากับ 11% และ 9% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.33

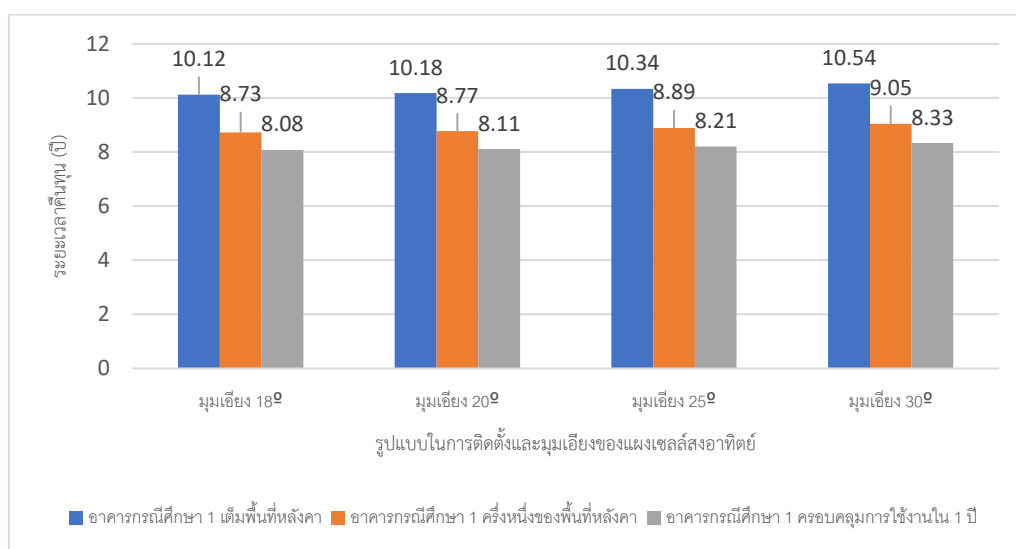


ภาพที่ 4.33 แผนภูมิเปรียบเทียบ IRR ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง

4.4.4 ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ในอาคารกรณีศึกษา

- ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 1 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ ติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา, ติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี มีระยะเวลาในการคืนทุนใกล้เคียงกัน คือ 8-10 ปี เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่ 1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีในปริมาณที่สูงทำ

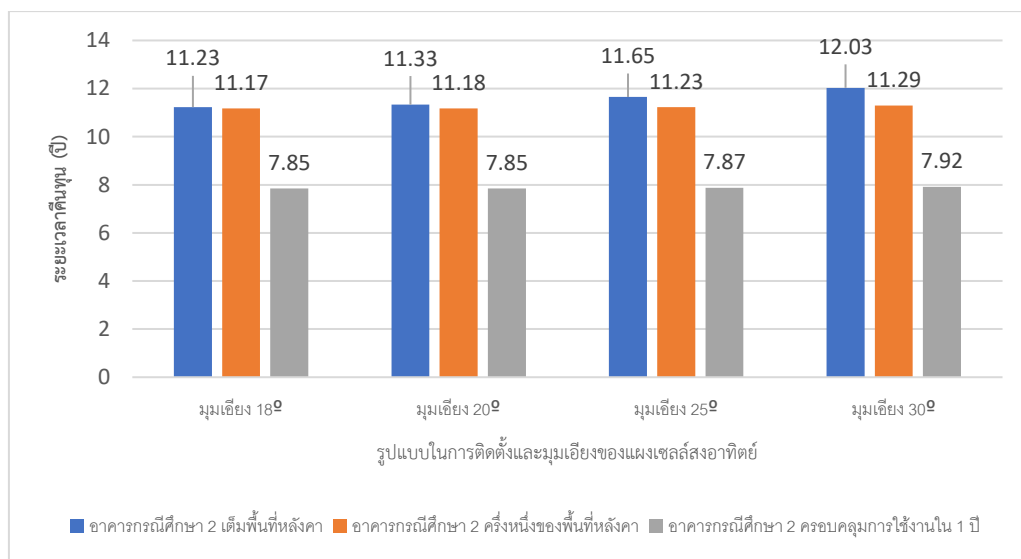
ให้รูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งต่อพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานใน 1 ปี จึงทำให้ทั้ง 3 รูปแบบมีระยะเวลาคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน โดยรูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนที่ไวที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี ที่มุมเอียง 18 องศา โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนที่ 8.08 ปี และรูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่มุมเอียง 30 องศา โดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 10.54 ปี โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาคืนทุนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ 9.11 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.34



ภาพที่ 4.34 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 1

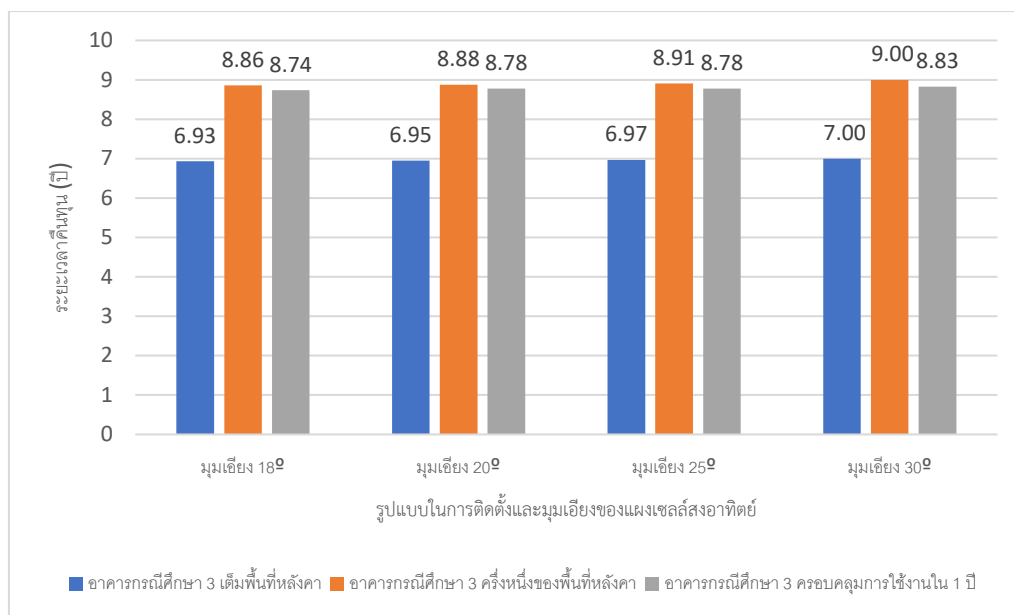
- ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 2 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี ที่มุมเอียง 18 องศา โดยใช้ระยะเวลาคืนที่ 7.85 ปี และ รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่มุมเอียง 30 องศา โดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 12.03 ปี โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาคืนทุนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ 9.11 ปี โดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุนถึง 12.03 ปี โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาคืนทุนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ 10.22 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.35





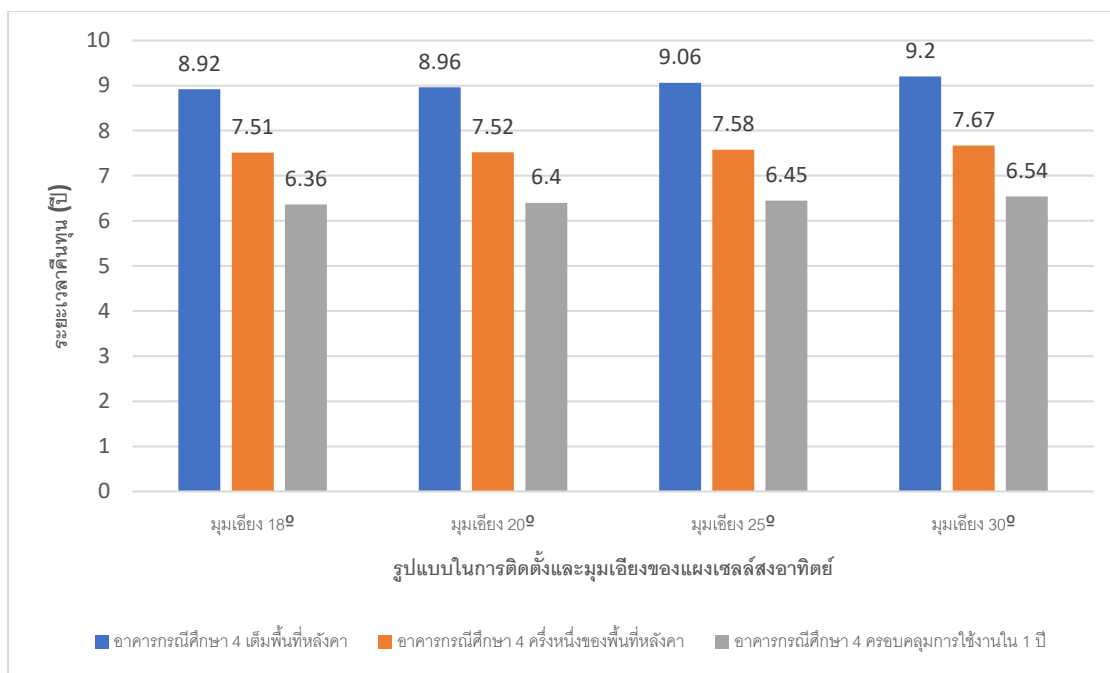
ภาพที่ 4.35 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีสึกษา 2

- ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีสึกษา 3 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการคืนทุนของรูปแบบการติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากต้องใช้พื้นที่ครึ่งหนึ่งของหลังคาจึงจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ครอบคลุมการใช้ไฟฟ้าใน 1 ปีของอาคารกรณีสึกษา 3 โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 9 ปี โดยรูปแบบที่มีระยะเวลาในการคืนทุนน้อยที่สุดคือรูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา ที่มูมเอียง 18 องศา โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนที่ 6.93 ปี และ รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ที่มูมเอียง 30 องศา โดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 9.00 ปี โดยอาคารกรณีสึกษาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาคืนทุนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ 8.22 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.36



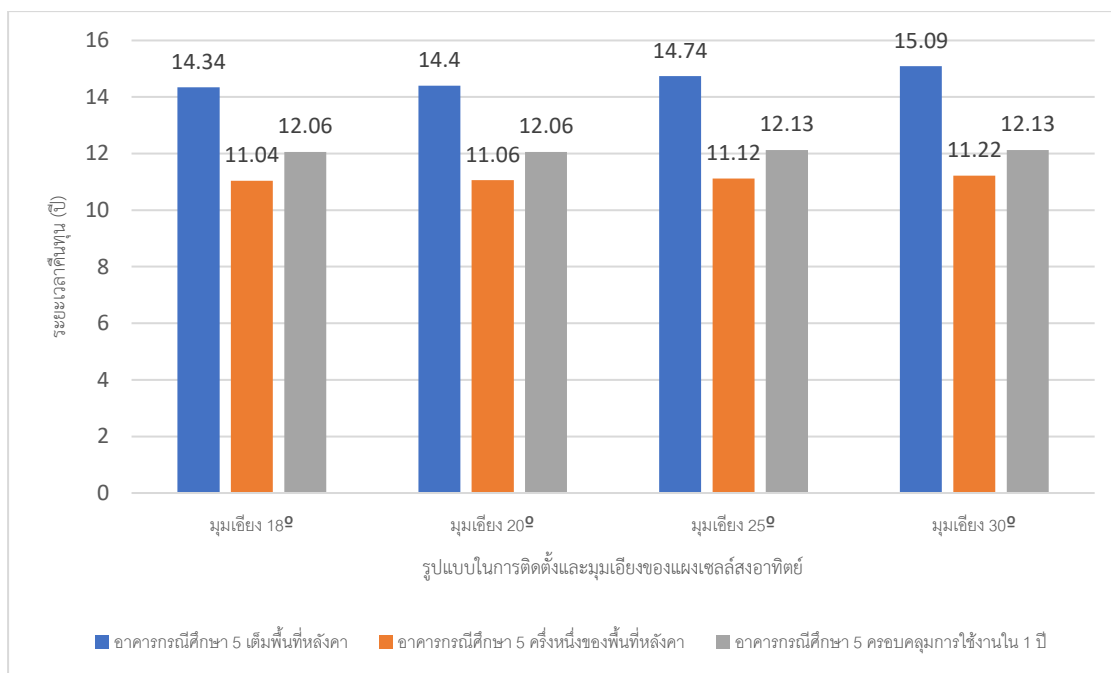
ภาพที่ 4.36 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 3

- ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 4 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี ที่มุมเอียง 18 องศา มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ไวที่สุด โดยใช้ระยะเวลาคืนที่ 6.36 ปี และ รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่มุมเอียง 30 องศา โดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 9.20 ปี โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีในปริมาณมากถึง 116,164.68 kWh/ปี จึงทำให้ต่อปีมีการใช้จ่ายที่สูง จึงทำให้การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าในการลงทุน เพราะถึงแม้จะติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตเกินจากปริมาณที่ใช้ สามารถที่จะขายไฟฟ้าคืนได้ จึงทำให้คุ้มค่าต่อค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่เสียไป โดยการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาแทนที่การจ่ายค่าไฟฟ้าต่อปี โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาคืนทุนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ 7.68 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.37 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 4

- ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 5 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ที่มีมุมเอียง 18 องศา มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ไวที่สุด โดยใช้ระยะเวลาคืนที่ 11.04 ปี และ รูปแบบที่มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดคือรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่มุมเอียง 30 องศา โดยใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 15.09 ปี เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่ 5 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีในปริมาณที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ทำให้งบประมาณที่ใช้ในการลงทุนอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าไฟที่เสียต่อปีกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในจำนวนมาก โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 5 มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาคืนทุนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ 12.62 ปี ดังแสดงในภาพที่ 4.38



ภาพที่ 4.38 แผนภูมิเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารกรณีศึกษา 5

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน (PB: Payback Period) ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 พบว่ารูปแบบที่ 3 หรือ การติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีความน่าลงทุนมากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุด โดยมี อาคารกรณีศึกษา ที่ 1, 2, 3 และ 4 ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานที่มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะรูปแบบติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี ระยะเวลาคืนทุนจึงใกล้เคียงกัน โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 5 เพียงกรณีเดียว ที่มีระยะเวลาคืนทุนที่นานกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยสูงสุดที่สุด คือ 12.62 ปี โดยสาเหตุเนื่องจาก มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีในปริมาณที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ทำให้งบประมาณที่ใช้ในการลงทุนอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าไฟที่เสียต่อปีกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในจำนวนมาก จึงทำให้ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยในอาคารกรณีศึกษาที่ 5 สูงกว่าอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ จึงทำให้อาคารกรณีศึกษาที่ 5 มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 ก่อนหน้า ดังแสดงในภาพที่ 4.39



โครงการที่ไม่น่าลงทุน โดยรูปแบบที่มีค่า NPV ต่ำที่สุด คือ รูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา ที่ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -582,495.73 บาท โดยสาเหตุที่อาคาร กรณีศึกษาที่ 5 ทุกรูปแบบอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน เนื่องจากอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีใน จำนวนที่น้อย เพียงแค่ 20,110.50 kWh ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ถึงแม้ ต้นทุนที่ใช้ในการติดตั้งในอาคารกรณีที่ 5 จะน้อยที่สุด แต่เมื่อคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แล้ว ผลลัพธ์ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงทำให้แนวโน้มผลลัพธ์การติดตั้งแตกต่างออกไปจาก อาคาร กรณีศึกษา 3 กรณีแรก ที่มีความสอดคล้องต่อผลลัพธ์จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับอาคาร Base Case

แต่ถ้าหากเป็นอาคารโรงแรมเพียงอาคารเดียว จะพบว่าโรงแรมอาคารกรณีศึกษาที่มีหลังคา ประเภทปั้นหย่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าหรือลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีกว่าอาคารที่มีประเภท หลังคาเป็นทรงจั่ว ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการจำลองศักยภาพจากอาคาร Base Case เนื่องจากประเภทหลังคาทรงปั้นหย่ามีมุมเอียงที่น้อยกว่าหลังคาทรงจั่ว อีกทั้งหลังคาปั้นหย่าสามารถ ยื่นยื่นทิศทางการหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งได้ถึง 4 ทิศ ซึ่งแตกต่างจากหลังคาทรงจั่ว จึงทำให้ผลลัพธ์ในการจำลองศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในหลังคาทรง ปั้นหย่ามีศักยภาพที่สูงกว่าหลังคาทรงจั่ว

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case ของโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า และอิทธิพลของรูปร่างอาคารและรูปแบบหลังคาของโรงแรมขนาดเล็ก เพื่อเสนอแนวทางในการติดตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่คำนึงถึงรูปแบบในการติดตั้งและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case

5.2 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case

5.3 ผลการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารโรงแรมกรณีศึกษา

5.4 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารกรณีศึกษา

5.5 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงแรมขนาดเล็ก ในจังหวัดน่าน

5.6 ข้อเสนอแนะ

### 5.1 ผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case

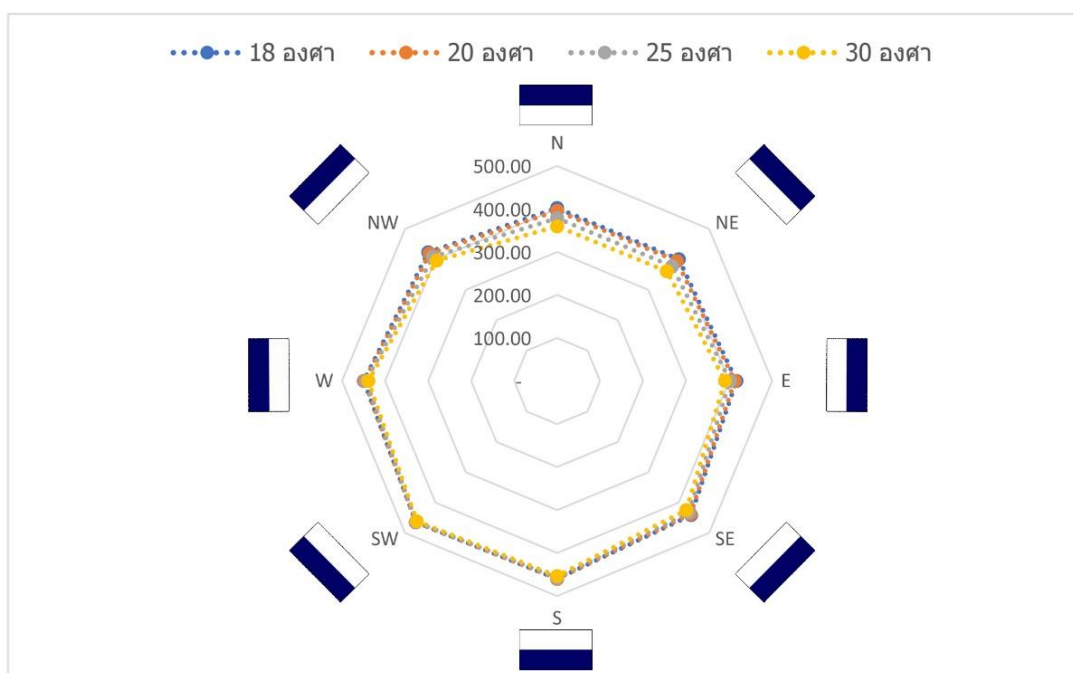
จากการเปรียบเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆ กันและมีมุมเอียงที่ต่างกันของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าทิศที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือ ทิศใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มีมุมเอียง 18 องศา โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด โดย 1 แผง สามารถผลิตได้ 459.98 และ 464.60 kWh/แผง ดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยสามารถติดตั้งโดยหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาได้ทั้งทิศใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ หากหันแผงเข้าหาทิศตะวันตกเฉียงใต้นั้นจะมีแนวโน้มที่จะสะสมพลังงานจำนวนมากในระหว่างวัน เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันการวางในทิศตะวันตกเฉียงใต้จะสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าในช่วงเวลาบ่าย และ หากโรงแรมมีบิลค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) หรือช่วงเวลาเป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในช่วง Peak : เวลา 09.00 น. – 22.00 น. ที่มีอัตราสูงสุดสูงเกินไป จึงทำให้สามารถได้ประโยชน์จากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศที่ควรหลีกเลี่ยงหรือทิศที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคือ การหันแผงเซลล์เข้าหาทิศเหนือ และ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีมุมเอียง 30 องศา โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยที่สุด โดย 1 แผง สามารถผลิตได้ เพียง 359.72 และ 360.94 kWh/แผง

**ตารางที่ 5.1** ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อแผงเซลล์ในหนึ่งวันเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆ กันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน

| ทิศ/มุมเอียงหลังคา         | ไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์<br>(kWh/แผง) |         |         |         |
|----------------------------|---|---------|---------|---------|
|                            | 18 องศา   | 20 องศา | 25 องศา | 30 องศา |
| ทิศเหนือ (N)               | 402.06  | 395.71  | 378.58  | 359.72  |
| ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) | 400.08  | 393.93  | 377.82  | 360.94  |
| ทิศตะวันออก (E)            | 417.01  | 412.92  | 402.01  | 390.36  |
| ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)   | 440.54  | 438.61  | 432.59  | 424.79  |
| ทิศใต้ (S)                 | 459.98  | 459.84  | 457.85  | 453.52  |
| ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)    | 464.60  | 464.22  | 463.97  | 461.01  |
| ทิศตะวันตก (W)             | 449.48  | 448.45  | 444.49  | 438.79  |
| ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NE)  | 423.50  | 419.59  | 408.53  | 395.98  |



จากการเปรียบเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หัน ไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกันของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเรียงลำดับศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าและศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยเฉลี่ยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทิศต่างๆ ได้ดังนี้ 1.ทิศตะวันตกเฉียงใต้ 2.ทิศใต้ 3.ทิศตะวันตก 4.ทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5.ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 6.ทิศตะวันออก 7.ทิศเหนือ 8.ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวางแนวอาคารดังแสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 ปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อแผงในหนึ่งวันของทิศต่างๆ

## 5.2 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case

จากผลลัพธ์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 หรือ รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี มีความน่าลงทุนมากที่สุด โดยรองลงมาเป็นรูปแบบที่ 2 หรือ ติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมด ที่มีค่า NPV และ IRR ซึ่งอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุน แต่ก็ยังมีบางกรณีที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่น่าลงทุน และรูปแบบที่ 1 หรือ รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา มีความน่าลงทุนน้อยที่สุด เนื่องจากค่า NPV และ IRR มีค่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุนในทุกๆ กรณี โดยรูปแบบที่มีความเหมาะสมและดี

ที่สุดในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบคือรูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี ทั้งอาคารรูปร่าง L-shape และ I-shape ถึงแม้รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่ และ รูปแบบติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่ จะสามารถขายค่าไฟส่วนเกินที่ผลิตได้ให้การไฟฟ้าได้ แต่ นโยบายจากทาง คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ รองรับการขายเพียงแค่ 10 ปี จึงทำให้ ถึงแม้จะได้เงินจากการขายค่าไฟส่วนเกิน แต่เงินที่ได้จากการขายไฟฟ้าไม่มากเพียงพอต่อความน่าลงทุนของโครงการ ซึ่งสอดคล้องกับค่า NPV ที่มีค่าต่ำกว่า 0 ที่พบจากทั้งในรูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่ และ รูปแบบติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่ แต่รูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี พบว่าค่า NPV มีค่ามากกว่า 0 ในทุกกรณีซึ่งแสดงว่าอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุน โดย คือรูปแบบที่ดีที่สุดที่เหมาะสมกับอาคารรูปร่าง L-shape และ I-shape

### 5.3 ผลการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารโรงแรมกรณีศึกษา

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ของ อาคารโรงแรมกรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง พบว่าปริมาณไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆ และมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันของรูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา และครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคา ในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 มุมเอียงหลังคาที่ 18 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 190,927 kWh/ปี และ อาคารกรณีศึกษาที่ 3 มุมเอียงหลังคาที่ 30 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด โดยสามารถผลิตได้เพียง 57,766 kWh/ปี 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ในอาคารกรณีศึกษาที่ 2 มุมเอียงหลังคาที่ 18 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 101,331 kWh/ปี และ อาคารกรณีศึกษาที่ 3 มุมเอียงหลังคาที่ 30 องศา สามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด โดยสามารถผลิตได้เพียง 31,511 kWh/ปี 3) รูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานไฟฟ้าใน 1 ปี อาคารกรณีศึกษาที่ 4 สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด อยู่ที่ 116,164.68 kWh/ปี เนื่องจากลักษณะอาคารมีการวางผังแบบกระจาย โดยมีอาคารที่ปกถึง 3 อาคารจึงทำให้มีพื้นที่ในการติดตั้ง รวมถึงพื้นที่ที่จะเลือกติดตั้งในการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาทิศต่างๆ ได้มากกว่าอาคารกรณี 1 3 และ 5 ที่เป็นอาคารเดี่ยว ที่มีอาคารที่ปกเพียงอาคารเดียว จึงทำให้อาคารกรณีศึกษาที่ 4 สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ

โดยสรุปจากการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 โรงแรมพบว่านอกจากปัจจัยในด้านของ มุมเอียง รูปร่างอาคาร และ ประเภทหลังคาแล้ว อาคารที่มีการวางแนวอาคารแบบ cluster จะส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่าอาคาร แต่ถ้าหากเป็นอาคารโรงแรมเพียงอาคารเดียว จะพบว่าโรงแรมกรณีศึกษาที่มีหลังคาประเภทปั้นหย่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าหรือลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีกว่าอาคารที่มีประเภทหลังคาเป็นทรงจั่ว ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการจำลองศักยภาพจากอาคาร Base Case เนื่องจากประเภทหลังคาทรงปั้นหย่ามีมุมเอียงที่น้อยกว่าหลังคาทรงจั่ว อีกทั้งหลังคาปั้นหย่าสามารถยื่นหุบทิศทางการหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งได้ถึง 4 ทิศ ซึ่งแตกต่างจากหลังคาทรงจั่ว จึงทำให้ผลลัพธ์ในการจำลองศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในหลังคาทรงปั้นหย่ามีศักยภาพที่สูงกว่าหลังคาทรงจั่ว

#### 5.4 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารกรณีศึกษา

เมื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง พบว่า รูปแบบที่ 3 หรือ การติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีความน่าลงทุนมากที่สุด โดยมีอาคารกรณีศึกษา ที่ 1, 2, 3 และ 4 ในรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานที่มีค่า NPV มากกว่าศูนย์ โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 5 เพียงกรณีเดียว ที่รูปแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี ที่มีมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 18 องศา มีค่า NPV -51,872.22 บาท ซึ่งต่ำกว่าศูนย์ หรือ อยู่ในเกณฑ์โครงการที่ไม่น่าลงทุน โดยรูปแบบที่ไม่น่าลงทุนรองลงมาจากรูปแบบที่ 3 คือรูปแบบการติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 5 เพียงอาคารเดียวที่มีค่า NPV ที่ติดลบ และ รูปแบบการติดตั้งที่มีความน่าลงทุนน้อยที่สุดคือ รูปแบบติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา โดยมีเพียงอาคารกรณีศึกษาที่ 1 3 และ 4 ที่รูปแบบดังกล่าวมีความน่าลงทุน โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 4 ที่มีค่า NPV มากที่สุดคือ 1,150,101.47 บาท เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูงใน 1 ปี จึงทำให้รูปแบบการติดตั้งดังกล่าวมีความน่าลงทุน ซึ่งแตกต่างจากอาคารกรณีศึกษาอื่นๆ ที่มีการใช้ไฟฟ้าที่น้อยกว่าชัดเจน ทั้งที่เป็นประเภทอาคารโรงแรมขนาดเล็กเช่นเดียวกัน โดยสามารถสรุปรูปแบบที่ดีที่สุดสำหรับอาคารกรณีศึกษาแต่ละอาคารได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2

**ตารางที่ 5.2** ผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ดีที่สุดของอาคารโรงแรม  
กรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง

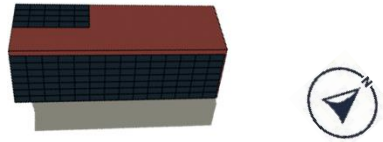

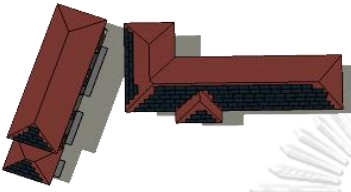
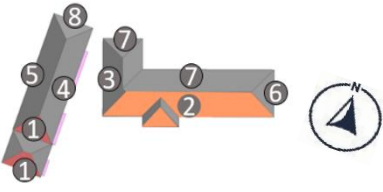
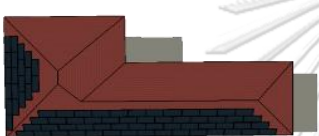
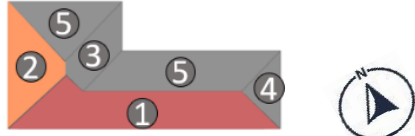
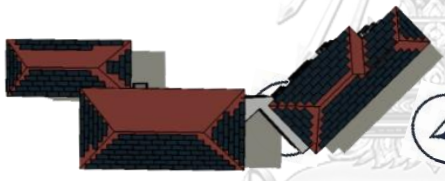
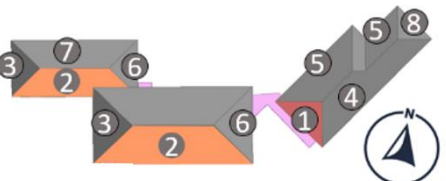
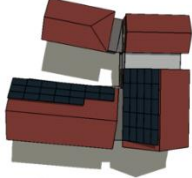
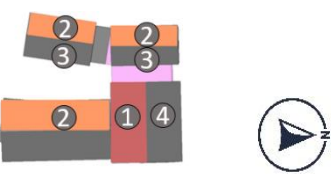
| อาคาร   | อาคาร<br>กรณีศึกษาที่ 1 | อาคาร<br>กรณีศึกษาที่ 2 | อาคาร<br>กรณีศึกษาที่ 3 | อาคาร<br>กรณีศึกษาที่ 4 | อาคาร<br>กรณีศึกษาที่ 5 |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| รูปแบบในการติดตั้ง  | รูปแบบที่ 3             | รูปแบบที่ 3             | รูปแบบที่ 1             | รูปแบบที่ 3             | รูปแบบที่ 2             |
| พื้นที่หลังคา (ตารางเมตร)   | 497                     | 1,367                   | 646                     | 893                     | 357                     |
| มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์  | 18°                     | 18°                     | 18°                     | 18°                     | 18°                     |
| จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด<br>340 วัตต์ (แผง)                     | 119                     | 135                     | 71                      | 263                     | 45                      |
| ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp)                                       | 30.00                   | 40.00                   | 30.00                   | 60.00                   | 15.00                   |
| พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิต<br>ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์(kWh/ปี) | 50,751                  | 61,756                  | 60,961                  | 116,164.68              | 19,798                  |
| ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง<br>(kg CO <sub>2</sub> eq/ปี)        | 29,923                  | 36,411                  | 36,491                  | 68,490.70               | 11,857                  |
| ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ<br>(ล้านบาท)                               | 1.80                    | 2.12                    | 2.18                    | 3.25                    | 1.30                    |
| IRR ระบบ Off-grid system (%)  | 11                      | 12                      | 12                      | 15                      | 7                       |
| NPV ระบบ Off-grid system (บาท)                                      | 755,443                 | 984,799                 | 662,846                 | 2,606,508               | -47,561                 |
| ระยะเวลาคืนทุน (ปี)   | 8.08                    | 7.85                    | 6.93                    | 6.36                    | 11.04                   |

จากผลการประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 โรงแรม พบว่า ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการจำลองศักยภาพอาคาร Base Case โดยพบว่ารูปแบบที่ 3 หรือ การติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี เป็นรูปแบบที่มีความน่าลงทุนมากที่สุด โดยมีรูปแบบการติดตั้งดังแสดงในตารางที่ 5.3 โดยจากผลลัพธ์มีอาคารกรณีศึกษา ที่ 1 2 และ 3 ที่เหมาะสมกับ

รูปแบบติดตั้งดังกล่าว แต่มีอาคารกรณีศึกษาที่ 4 และ 5 ที่พบว่าผลลัพธ์แตกต่างออกไป โดยอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีความน่าลงทุนในทุกกรณี เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่ 4 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีที่สูงกว่าอาคารกรณีอื่นๆ โดยสูงถึง 116,164.68 kWh ต่อปี และตัวอาคารมีการวางผังแบบกระจายจะส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่าอาคารแบบเดี่ยว จึงทำให้อาคารที่ใช้ไฟฟ้ามก และมีพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จำนวนมากจึงตอบโจทย์ปริมาณการใช้งาน ซึ่งจะแตกต่างจากอาคารกรณีศึกษาที่ 5 ที่ทุกรูปแบบในการติดตั้งอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุนในทุกกรณี เนื่องจากอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีในจำนวนที่น้อย แต่เมื่อกำหนดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วผลลัพธ์ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงทำให้แนวโน้มผลลัพธ์การติดตั้งแตกต่างออกไปจาก อาคารกรณีศึกษา 3 กรณีแรก ที่มีความสอดคล้องต่อการจำลองอาคาร Base Case

โดยสรุปจากการจำลองศักยภาพระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารโรงแรมกรณีศึกษาผลลัพธ์โดยรวมมีความสอดคล้องกับตัวอาคาร base case ในส่วนของรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสม แต่นอกจากปัจจัยในด้านของ มุมเอียง รูปร่างอาคาร และ ประเภทหลังคาแล้ว จากการจำลองอาคารกรณีศึกษา พบว่า อาคารที่มีการวางผังอาคารแบบกระจายตัว หรือ การวางผังแบบ Cluster จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากทำให้การติดตั้งมีทางเลือกในการวางแนวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าอาคารโรงแรมที่เป็นอาคารเดี่ยว โดยอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาคือในส่วนของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโรงแรม ถึงแม้จะเป็นโรงแรมขนาดเล็กเหมือนกันแต่โรงแรมขนาดเล็กบางโรงแรมมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่มากกว่าโรงแรมขนาดเล็กแห่งอื่นชัดเจน เช่น อาคารโรงแรมกรณีศึกษาที่ 4 ที่มีการใช้พลังงานสูงกว่า 116,164.68 kWh ต่อปี ซึ่งมากกว่าโรงแรมกรณีศึกษาอีก 4 โรงแรมหลายเท่าตัว จึงทำให้รูปแบบในการติดตั้งจึงแตกต่างออกไป โดยสามารถสรุปและเสนอเป็นแนวทางการติดตั้งสำหรับอาคารกรณีศึกษาได้ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แนวทางการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ของอาคารโรงแรม วิทยาลัยศึกษาทั้ง 5 แห่ง

|                      | แนวทางการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ของอาคารวิทยาลัยศึกษา                                 |   |
|----------------------|---|---|
|                      | ลักษณะในการติดตั้ง  | ลำดับพื้นที่ที่ควรติดตั้ง   |
| อาคารวิทยาลัยศึกษา 1 |    |    |
| อาคารวิทยาลัยศึกษา 2 |    |     |
| อาคารวิทยาลัยศึกษา 3 |   |    |
| อาคารวิทยาลัยศึกษา 4 |  |   |
| อาคารวิทยาลัยศึกษา 5 |  |  |

### 5.5 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบ ติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงแรมขนาดเล็ก ในจังหวัดน่าน

โดยเมื่อนำผลลัพธ์ในการติดตั้งในรูปแบบที่ 3 หรือ รูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้งานใน 1 ปี ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดสำหรับอาคาร Base Case ดังแสดงในตารางที่ 5.4 ทั้งในอาคารรูป I-Shape และ L-Shape โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้หรือเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง พบว่าหากเปรียบเทียบการลดการใช้พลังงานในกลุ่มโรงแรมจากการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม วิทยาลัยศึกษา โรงแรมริชมอนด์สไตลิส คอนเวนชั่น ได้กล่าวว่าถ้ากลุ่มธุรกิจโรงแรม สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างน้อย 10% จะส่งผลทำให้ทิศทางการใช้พลังงานของประเทศนั้นสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งในรูปแบบในการติดตั้งแบบที่ 3 สามารถลดการใช้

พลังงานรวมไปถึงลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้สูงเกือบ 100% จากที่โรงแรม Base Case ได้ทำการปล่อย จึงจัดว่าทิศทางการใช้พลังงานสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน แต่หากจะเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ทำการคาร์บอนออฟเซตในโรงแรมขนาดเล็กอาจจะยังไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง เนื่องจากการศึกษาในอาคารประเภทนี้ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยในปัจจุบันยังมีเพียงแค่การศึกษาการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ในเพียงโรงแรมขนาดกลาง

**ตารางที่ 5.4** ผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ดีที่สุดจากอาคารโรงแรม Base Case ทั้ง 2 รูปแบบ

| อาคาร  | รูปร่างอาคาร I-shape | รูปร่างอาคาร L-shape |
|--|----------------------|----------------------|
| ทรงหลังคา  | ทรงจั่ว              | ทรงปั้นหยา           |
| มุมเอียงหลังคาและแผงเซลล์แสงอาทิตย์                              | 18°                  | 18°                  |
| จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340 วัตต์                            | 98                   | 89                   |
| IRR ระบบ Off-grid system (%)                                     | 11                   | 10                   |
| NPV ระบบ Off-grid system   | 554,326              | 373,624              |
| ระยะเวลาคืนทุน (ปี)  | 8.60                 | 9.42                 |
| ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ล้านบาท)                                   | 1,658,750.00         | 1,595,750.00         |
| พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/ปี) | 45,941.89            | 40,882.81            |
| ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง (kg CO <sub>2</sub> eq/ปี)        | 27,500.81            | 24,472.45            |

โดยจากวิเคราะห์รูปแบบการติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ จึงสามารถสรุปเป็นแนวทางในการออกแบบโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีที่สุดทั้งหมด 5 ปัจจัยดังนี้

### 1) พื้นที่หลังคาอาคาร

รูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งคือการติดตั้งในรูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี เนื่องจากถึงแม้การติดตั้งรูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่ หรือ ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาจะสามารถขายไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานคั้นการไฟฟ้าได้ตามนโยบายของ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ แต่เมื่อคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วรูปแบบ ดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์ของโครงการที่ไม่น่าลงทุน

### 2) รูปทรงหลังคาอาคาร

พบว่าถึงแม้หลังคาทรงจั่ว จะสามารถติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากมีลักษณะของทรง หลังคาจะ ลาดชัน แต่หลังคาทรงปั้นหยาส่งผลต่อศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ ต่ำกว่า เนื่องจากมีลักษณะลาดเอียงเล็กน้อยทำให้มุมเอียงมีความเหมาะสมและใกล้เคียงกับมุม 18 องศา ซึ่งเป็นมุมลาดเอียงที่ดีที่สุดที่ในการติดตั้งที่สามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

### 3) รูปร่างอาคาร

พบว่าอาคารรูปร่าง L-Shape เหมาะสมและส่งผลต่อศักยภาพในการลด คาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีกว่าอาคารรูปร่าง I-Shape โดยอาคาร L-Shape สามารถลดปริมาณ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ใกล้เคียงกับ I-Shape แต่ใช้เงินลงทุนน้อยกว่าเมื่อติดตั้งระบบพลังงาน แสงอาทิตย์

### 4) มุมเอียงหลังคาและมุมเอียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

พบว่ามุมลาดเอียงที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์คือมุม 18 องศา โดยมุมที่ส่งผลได้ดีรองลงมาคือ มุม 20 องศา 25 องศา และ 30 องศา ตามลำดับ

### 5) การหันทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

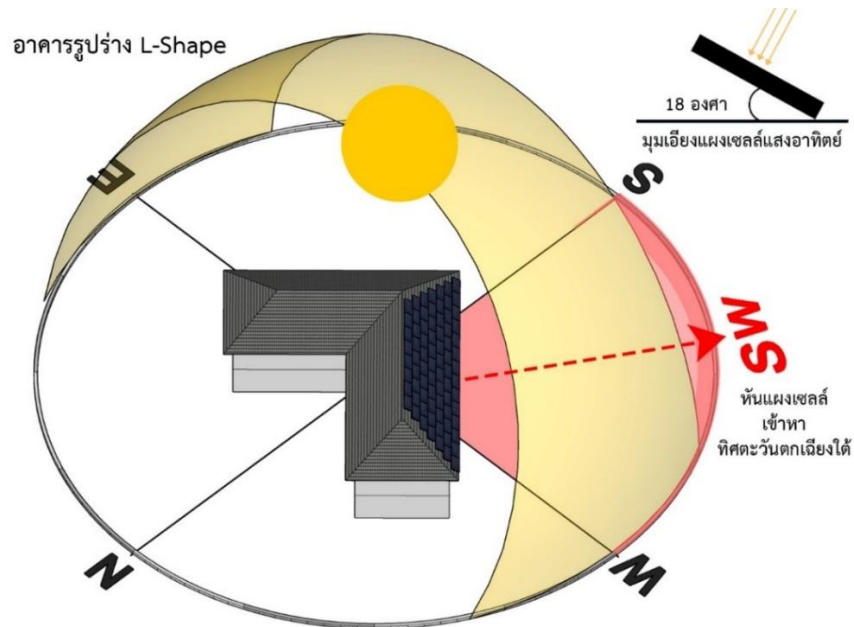
โดยทิศที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีที่สุดคือ 1.ทิศตะวันตกเฉียงใต้ 2.ทิศใต้ 3.ทิศตะวันตก 4.ทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5.ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 6.ทิศ ตะวันออก 7.ทิศเหนือ 8.ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวางแนวอาคารดังแสดงในตารางที่ 5.5



ตารางที่ 5.5 แสดงแนวทางการวางอาคารที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ดีที่สุด

| 1.ทิศตะวันตกเฉียงใต้<br>(SW)   | 2. ทิศใต้<br>(S)     | 3.ทิศตะวันตก<br>(W) | 4.ทิศตะวันออกเฉียงใต้<br>(SE)   |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|
|                                |                      |                     |                                 |
| 5.ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ<br>(NW) | 6.ทิศตะวันออก<br>(E) | 7.ทิศเหนือ<br>(N)   | 8.ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ<br>(NE) |
|                                |                      |                     |                                 |

โดยจากปัจจัยทั้ง 5 ข้อที่กล่าวมาข้างต้นจึงสามารถสรุปเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการจะสร้างโรงแรมพร้อมสามารถวางแผนการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถนำแนวทางดังที่แสดงใน ภาพที่ 5.2 ไปปรับใช้ในการวางแนวอาคารและออกแบบมุมเอียงหลังคา แต่สำหรับผู้ประกอบการที่มีโรงแรมอยู่แล้วสามารถนำแนวทางในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 5.6 โดยสามารถนำแนวทางการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไปปรับใช้ตามแนวอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้ทั้งอาคารรูปร่าง L-Shape และ รูปร่าง I-Shape เพื่อให้เกิดศักยภาพสูงสุดในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์



ภาพที่ 5.2 แนวทางการออกแบบอาคารโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลให้สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.6 แสดงแนวทางการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผู้ประกอบการที่มีโรงแรมอยู่แล้ว

| แนวทางการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ของอาคารรูปร่าง I-Shape ในทิศต่างๆ  |  |  |   |
|---|--|--|---|
| หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศตะวันออกเฉียงใต้ และ ตะวันตกเฉียงเหนือ | หันด้านยาวของอาคารเข้าหา ทิศใต้ และ ทิศเหนือ | หันด้านยาวของอาคารเข้าหา ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และ ทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศตะวันตก และ ทิศ ตะวันออก |
|   |  |  |   |
|   |  |  |   |

ตารางที่ 5.6 (ต่อ) แสดงแนวทางการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผู้ประกอบการที่มีโรงแรมอยู่แล้ว

| แนวทางการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ของอาคารรูปร่าง L-Shape ในทิศต่างๆ |   |                                     |   |
|--|---|-------------------------------------|---|
| หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศเหนือ                                 | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศตะวันออก | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศตะวันออกเฉียงใต้ |
|  |   |                                     |   |
|  |   |                                     |   |
| แนวทางการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ของอาคารรูปร่าง L-Shape ในทิศต่างๆ |   |                                     |   |
| หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศเหนือ                                 | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศตะวันออกเฉียงเหนือ | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศเหนือ    | หันด้านยาวของอาคารเข้าหาทิศเหนือ            |
|  |   |                                     |   |
|  |   |                                     |   |

## 5.5 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยต่อไปควรมีพิจารณาเพิ่มเติมในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารโรงแรมขนาดอื่นๆ เพิ่มเติมเนื่องจากโรงแรมแต่ละขนาดมีสิ่งอำนวยความสะดวกรวมไปถึงการจัดการที่แตกต่างกัน ทำให้มีความต้องการด้านพลังงานการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน โรงแรมขนาดเล็กการใช้งานหลักมาจากในส่วนของห้องพักเป็นหลัก ซึ่งแตกต่างจากโรงแรมขนาดอื่นที่มีสิ่งอำนวยความสะดวกเพิ่มเติม เช่น สระว่ายน้ำ ห้องออกกำลังกาย และ อื่นๆ ซึ่งทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษารูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงแรมขนาดอื่นๆ เพิ่มเติม อีกทั้งควรเพิ่มการพิจารณาตัวแปรหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรุ่นอื่นๆ การประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม สถานที่ตั้งของอาคาร สภาพแวดล้อมของเมือง ขนาดอาคาร ควรจะมีการเก็บข้อมูลอาคารเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอาคาร Base Case เพื่อพัฒนาเป็นแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่มีศักยภาพมากที่สุดในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

## บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่า ผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564 เข้าถึงได้จาก <http://www2.dede.go.th/>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). รายงานสถานภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564 เข้าถึงได้จาก

<http://e-lib.dede.go.th/>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). คู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564 เข้าถึงได้จาก

<https://webkc.dede.go.th/testmax/node/4535>

กฤติเดช ดวงใจบุญ. (2561). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับอาคาร ประเภท โรงแรม. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 13(1), 65-78.

โชคชัย ชื่นวัฒนา ประณิธิ. (2565). การหาความสำคัญของพารามิเตอร์ในการติดตั้งที่มีต่อผลผลิตพลังงาน ของ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาแบบเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, 15(3), 57-70.

ทีมข่าวTCIJ. (2559). บ.จีนแหล่งทุน'แผงโซลาร์เซลล์'ในไทย หวังเป็นฐานผลิตหลังยุโรปได้ทุ่มตลาด.

สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2565 เข้าถึงได้จาก

<https://www.tcijthai.com/news/2016/30/scoop/6512>

พงษ์ชัย พงษ์ชวลิต. (2557). การกำหนดแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร สำหรับ

โรงแรมขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทย โดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) .

(วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต), สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

พิมพ์ลภัส พงศกรรังศิลป์. (2560). คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการบริโภคในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวของ แหล่งท่องเที่ยวทางทะเลและชายหาดในพื้นที่อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารวิชาการสาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์และศิลปะ, 10(1), 1087-1102.

พลกฤต กล่ำเครือ. (2565). โขลาร์รูป ทุกคนเป็นเจ้าของโรงไฟฟ้าได้? คุ่มไหม ควรติดหรือยัง. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2565 เข้าถึงได้จาก

<https://thestandard.co/podcast/thesecondsauce556/>

นิศามาศ เลาหัตถนาหิรัญ. (2559). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความรับผิดชอบต่อความหลากหลายทางชีวภาพของธุรกิจโรงแรม. วารสารบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร, 11(2), 129-145.

นุรีน ทรงศิริ. (2562). การประเมินและมาตรการเชิงวิศวกรรม เพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมขนาดใหญ่. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด. (2559). มหากระแสเงินจากนักท่องเที่ยวสู่นักลงทุน. สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2564 เข้าถึงได้จาก <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/9269>.

มัลลิกา ทิพย์ไชย. (2560). แนวทางการออกแบบปรับปรุงสถาปัตยกรรมโรงแรมตากอากาศด้วยแนวคิดการท่องเที่ยวคาร์บอนต่ำ พื้นที่พิเศษหมู่เกาะช้างและพื้นที่เชื่อมโยง. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วรรณจิต จันท์เสละ. (2563). การประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้า พลังงาน แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม: กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. วารสารวิชาการ การออกแบบสภาพแวดล้อม, 7(2), 2-25.

วรินทร์ ฉิมน้อย. (2561). การศึกษาวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยใช้เทคโนโลยีระบบดิจิทัล. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต),

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2560). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมิน

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

สำนักงานและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. (2558). นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนแผนพลังงาน

ทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP). สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2564 เข้าถึงได้จาก

<http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp>

สุริยนต์ ขมดี. (2558). การประเมินการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน

อยู่อาศัยในภาคเหนือของประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต) , คณะบริหารธุรกิจ  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) . (2559). แนวทางการประเมินคาร์บอน

ฟุตพริ้นท์ขององค์กร, 5th ed. กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย: บริษัท พีทู ดีไซน์ แอนด์  
พริ้นท์ จำกัด.

อังสนา พจนศิริ. (2559). การศึกษาด้านทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงาน

แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต) ,  
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

Ahn, Y. H., Pearce, A. R., Wang, Y., & Wang, G. (2013). Drivers and barriers of

sustainable design and construction: The perception of green building  
experience. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban  
Development, 4(1), 35-45.

Amiri, A., Ottelin, J., & Sorvari, J. (2019). Are LEED-certified buildings energy-efficient in  
practice?. Sustainability, 11(6), 1672.

Bohdanowicz, P., Zientara, P., & Novotna, E. (2011). International hotel chains and

environmental protection: an analysis of Hilton's we care! programme (Europe, 2006–2008). *Journal of Sustainable Tourism*, 19(7), 797-816.

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.

Cohen, S. A., Higham, J. E., Stefan, G., & Peeters, P. (2014). Why tourism mobility behaviours must change SCOTT A. COHEN, JAMES ES HIGHAM, PAUL PEETERS. In *Understanding and governing sustainable tourism mobility* (pp. 21-32). Routledge.

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.

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.

Florida, C., Jacob, M., & Payeras, M. (2019). How to carry out the transition towards a more circular tourist activity in the hotel sector. The role of innovation. *Administrative Sciences*, 9(2), 47.

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.

Jäger-Waldau, A. (2020). Snapshot of photovoltaics—February 2020. *Energies*, 13(4), 930.



- Lai, J. H. (2015). Carbon footprints of hotels: analysis of three archetypes in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 14, 334-341.
- Pieri, S. P., & Santamouris, M. (2015). Identifying energy consumption patterns in the Attica hotel sector using cluster analysis techniques with the aim of reducing hotels' CO2 footprint. *Energy and Buildings*, 94, 252-262.
- Rajarajan, M., & Venkatasubramanian, S. G. A. (2016). Study on Carbon Footprint of Different Hotels in A Metropolitan City, 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. Stefan Gosling and Ralf Buckley, Carbon labels in tourism: persuasive communication?. *Journal of Cleaner Production* : 1-12, 2014.
- Solargis. 2013. World Map of Global Horizontal Irradiation. . Retrieved: 5 september 2022 from: [http:// https://solargis.com/](http://https://solargis.com/)
- Suwanphitak, T., Fukuda, S., & Chaiwiwatworakul, P. (2021). POTENTIAL ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS REDUCTION IN PATTAYA HOTELS, THAILAND.
- 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.
- Vatan, A., & Yilmaz, Z. (2020). New ceramic solutions in sustainable hotels within the scope of sustainable innovation. In *Entrepreneurial opportunities*. Emerald Publishing Limited.

## ประวัติผู้เขียน

|                   |  |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล         | พิสิฐพงศ์ ตันติมาสน์   |
| วัน เดือน ปี เกิด | 12 มิถุนายน 2540   |
| วุฒิการศึกษา      | - พ.ศ. 2563 สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ<br>- พ.ศ. 2564 เข้าศึกษาหลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา<br>เทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ที่อยู่ปัจจุบัน   | 133/3 ถ.ศุภสารรังสรรค์ ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา   |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY