

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของ  
อาคารสนามกีฬาในร่ม วิทยาลัยการศึกษารองเรียนและมหาวิทยาลัย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FEASIBILITY ASSESSMENT OF SOLAR ROOFTOP SYSTEMS FOR GYMNASIUM:CASE  
STUDY OF SCHOOL AND UNIVERSITY



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 2019  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม วิทยาลัย โรงเรียนและมหาวิทยาลัย
โดย	น.ส.วรรณจิต จันทร์เสลา
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ ینگโรจน์ฤทธิ์

---

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์พรณชลัท สุริโยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ ینگโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

วรรณจิต จันทร์เสละ : การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีศึกษาโรงเรียนและมหาวิทยาลัย. ( FEASIBILITY ASSESSMENT OF SOLAR ROOFTOP SYSTEMS FOR GYMNASIUM:CASE STUDY OF SCHOOL AND UNIVERSITY) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.วรภัทร์ อิงโครจน์ฤทธิ์

อาคารสนามกีฬาในร่ม เป็นอาคารช่วงกว้างที่มีศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติและไม่ใช้แสงธรรมชาติ และทำการคำนวณการสำรองพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ โดยทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรม สรุวจากรูปใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารและตารางการใช้อาคารสนามกีฬาในร่ม โดยเก็บข้อมูลอาคารสนามกีฬาในร่มจากภาคส่วนต่างๆ ของประเทศไทยจำนวนทั้งสิ้น 22 อาคาร เพื่อสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบในการทดลอง โดยได้ทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 และประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 โดยกำหนดอาคารจำลองทั้งสิ้น 3 ขนาด และ 4 รูปแบบ หลังคาอาคารที่หันไปยังทิศทางต่างๆ ทั้งหมด 8 ทิศทาง จากผลการศึกษา พบว่า หลังคาทรงเพิงหมาแหงน มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา หลังคาอาคารหันไปทางทิศใต้ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด จากข้อมูลพบว่า การติดตั้งช่องแสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียวประหยัดไฟฟ้าได้ 20-32% ของการใช้พลังงานต่อวัน แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ผลอื่นๆ เพิ่มเติม พบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์หรือการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งช่องแสงธรรมชาติประหยัดไฟฟ้าได้ 60-75% ของการใช้พลังงานต่อวัน การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมร่วมกับแบตเตอรี่ประหยัดไฟฟ้าได้ 100% ของการใช้พลังงานต่อวัน ในส่วนของระยะเวลาคืนทุน พบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งช่องแสงธรรมชาติ มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดเท่ากับ 5.1-7.8 ปี ท้ายที่สุดงานวิจัยชิ้นนี้ได้เสนอแนวทางการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม โดยคาดการณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนจากขนาดพื้นที่ของอาคาร

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....



# # 6173342425 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: GYMNASIUM, FEASIBILITY ASSESSMENT, SKYLIGHT, SOLAR ROOFTOP

Wannachit Chansela : FEASIBILITY ASSESSMENT OF SOLAR ROOFTOP SYSTEMS FOR GYMNASIUM:CASE STUDY OF SCHOOL AND UNIVERSITY. Advisor: ASST.PROF. VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D.

Gymnasium is the wide-span structure building type with high potential for the installation of solar rooftop system. The objectives of this research are to assess the feasibility of solar rooftop installation on the roof of gymnasium with and without skylight and to propose appropriate backup battery system. In this study architectural characteristics, actual energy usage, and building schedule data were collected from 22 gymnasiums in various parts of Thailand to generate base case gymnasium buildings for simulation analysis. Annual energy calculations were calculated with the System Advisor Model 2018.11.11 program and the building daylighting performances were calculated with the DIALux evo8.2 program. Based on 3 building sizes with 4 roof types that faces 8 directions, the results of this study showed that the lean-to roof type with the roof angle of 15 degrees facing to the south produce highest electrical energy. The data showed that gymnasium with appropriate skylighting system alone can save 20-32% of energy usage. Additional analysis, however, showed that, the installation of the solar system with or without daylighting can save 60-75% of energy usage. Appropriate installation of solar system together with backup batteries can save 100% of energy usage. In term of the payback periods, the installation of the solar system together with the skylight has the shortest payback period of 5.1-7.8 years. Finally, this study proposed the design guideline for the installation of solar rooftop system based on the area of the gymnasium to estimate the energy usage, investment cost and approximate payback periods.

Field of Study: Architecture

Student's Signature .....

Academic Year: 2019

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

การที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.วรภัทร์ ینگโวจน์ฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อชี้แนะต่างๆ ตลอดจนติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน กรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตตร และกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่สละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณสำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเพื่อข้อมูลต่อการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและกำลังใจมาโดยตลอด และขอบคุณพี่ เพื่อน น้อง และเพื่อนร่วมหลักสูตรทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือเป็นอย่างมาก

ววรรณจิต จันทร์เสละ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

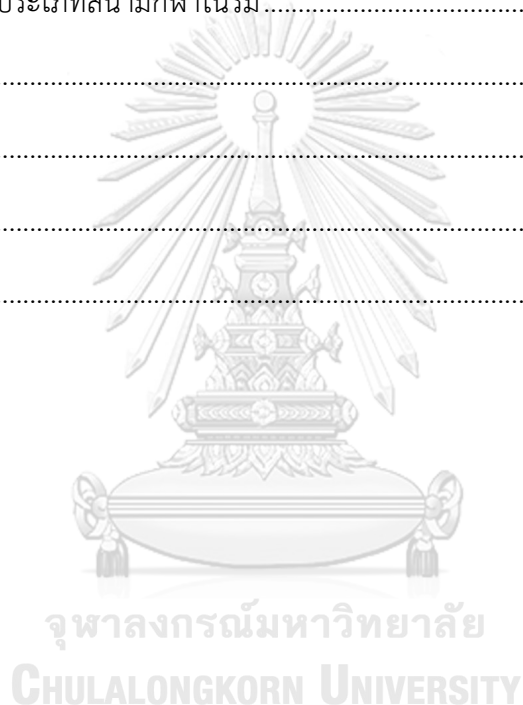
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.6 คำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 แสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	8
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	9
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....	15
2.4 การออกแบบสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา.....	16
2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์.....	18
2.6 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร.....	22

2.7 บทสรุปการทบทวนงานวิจัย .....	24
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	25
3.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย .....	25
3.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (Pilot Study).....	25
3.3 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสํารวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสนามกีฬา ในร่ม ในปัจจุบัน .....	33
3.3.1 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม .....	33
3.3.2 สํารวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี พ.ศ. 2562.....	36
3.3.3 สํารวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด.....	36
3.4 การกำหนดตัวแปรที่จะนำมาศึกษา .....	37
3.4.1 ตัวแปรต้น .....	37
3.4.2 ตัวแปรตาม.....	38
3.5 การกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building).....	38
3.5.1 กำหนดขนาดอาคารและขนาดพื้นที่ใช้สอย.....	38
3.5.2 กำหนดรูปทรงหลังคา.....	39
3.5.3 กำหนดระยะยื่นหลังคา.....	40
3.5.4 กำหนดมุมเอียงหลังคา.....	40
3.5.5 กำหนดขนาดพื้นที่ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight).....	42
3.6 ทำการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร .....	42
3.6.1 กำหนดห้องจำลองในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร .....	42
3.6.2 กำหนดรายละเอียดวัสดุภายในห้องจำลองอาคารสนามกีฬาในร่ม .....	44
3.6.3 กำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล.....	45
3.7 ทำการสรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม .....	46
3.8 ทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ .....	47

3.8.1	ทำการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	47
3.8.2	คำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	48
3.8.3	สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	53
3.9	การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์.....	53
3.9.1	การประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน.....	53
3.9.2	การประเมินระยะเวลาการคืนทุน.....	54
3.10	เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา..	55
3.11	ทำการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์.....	55
3.12	สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา...	55
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	57
4.1	ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน.....	57
4.1.1	ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม.....	57
4.1.2	ผลสำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562.....	59
4.1.3	ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร.....	60
4.2	ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร.....	62
4.3	สรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม.....	70
4.4	ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	73
4.4.1	ผลการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	73
4.4.2	สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้า.....	76
4.4.3	ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแสงธรรมชาติ.....	97
4.4.4	จำนวนแบตเตอรี่สำรองสำหรับกรณีที่ใช้ระบบแบตเตอรี่.....	99
4.5	ผลการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์.....	100
4.5.1	ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	100
4.5.2	ผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	101

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	110
5.1 ผลสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสนามกีฬาใน ร่มในปัจจุบัน.....	110
5.2 ผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้งานอาคาร และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่แตกต่างกัน.....	113
5.3 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบน หลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม.....	137
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	144
บรรณานุกรม.....	145
ภาคผนวก.....	148
ประวัติผู้เขียน.....	166



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1	ขนาดสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา ..... 17
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารในหนึ่งชั่วโมง..... 27
ตารางที่ 3.2	ผลการจำลอง Sun path diagram..... 27
ตารางที่ 3.3	ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์..... 32
ตารางที่ 3.4	รายชื่ออาคารสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา จำนวน 22 อาคาร..... 33
ตารางที่ 3.5	แบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร..... 41
ตารางที่ 3.6	ทิศทางการวางอาคารในการจำลองแสงธรรมชาติ..... 44
ตารางที่ 3.7	ทิศทางการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์..... 50
ตารางที่ 4.1	ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร... 57
ตารางที่ 4.2	ผลการสำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562 จำนวน 22 อาคาร..... 60
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคาร 1 ตารางเมตร ในหนึ่งชั่วโมง.... 61
ตารางที่ 4.4	ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายวันและรายปีของอาคารทั้ง 3 ขนาด..... 62
ตารางที่ 4.5	รายละเอียดของการติดตั้ง Skylight ที่ผ่านเกณฑ์ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา..... 63
ตารางที่ 4.6	ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงจั่ว..... 64
ตารางที่ 4.7	ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงเพิงหมาแหงน ..... 66
ตารางที่ 4.8	ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงโค้ง..... 68
ตารางที่ 4.9	ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงปั้นหย้า..... 69
ตารางที่ 4.10	ผลการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน..... 71
ตารางที่ 4.11	ผลสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบ..... 74
ตารางที่ 4.12	ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงจั่วขนาดเล็ก..... 78
ตารางที่ 4.13	ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงจั่วขนาดกลาง..... 79

<b>ตารางที่ 4.14</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงจั่วขนาดใหญ่.....	80
<b>ตารางที่ 4.15</b> ผลการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคาทรง จั่ว.....	81
<b>ตารางที่ 4.16</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคา อาคารทรงเพิงหมาแหงนขนาดเล็ก.....	83
<b>ตารางที่ 4.17</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนขนาดกลาง.....	84
<b>ตารางที่ 4.18</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนขนาดใหญ่.....	85
<b>ตารางที่ 4.19</b> ผลการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคาอาคาร ทรงเพิงหมาแหงน.....	86
<b>ตารางที่ 4.20</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคา อาคารทรงโค้งขนาดเล็ก.....	88
<b>ตารางที่ 4.21</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร หลังคาอาคารทรงโค้งขนาดกลาง.....	89
<b>ตารางที่ 4.22</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของหลังคา อาคารทรงโค้ง อาคารขนาดใหญ่.....	90
<b>ตารางที่ 4.23</b> ผลการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคาโค้ง 91	
<b>ตารางที่ 4.24</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคา อาคารทรงปั้นหยา อาคารขนาดเล็ก.....	93
<b>ตารางที่ 4.25</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงปั้นหยา ขนาดกลาง.....	94
<b>ตารางที่ 4.26</b> ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร หลังคาอาคารทรงปั้นหยา ขนาดใหญ่.....	95
<b>ตารางที่ 4.27</b> ผลการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคา ปั้นหยา.....	96



ตารางที่ 4.28 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้งาน..... 97

ตารางที่ 4.29 จำนวนแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงเช้าและกลางคืน..... 99

ตารางที่ 4.30 ผลประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ..... 100

ตารางที่ 4.31 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงจั่ว..... 102

ตารางที่ 4.32 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงเพิงหมาแหงน..... 103

ตารางที่ 4.33 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงโค้ง..... 105

ตารางที่ 4.34 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงปั้นหย้า..... 106

ตารางที่ 4.35 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กรณีใช้งานระบบแบตเตอรี่..... 107

ตารางที่ 5.1 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันทั้ง 8 ทิศทาง..... 114

ตารางที่ 5.2 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน แบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงจั่วและทรงโค้ง..... 115

ตารางที่ 5.3 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน แบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทรงปั้นหย้า..... 116

ตารางที่ 5.4 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน แบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงปั้นหย้า.... 118

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์..... 119

ตารางที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งแต่ละระบบในหนึ่งวัน 124

ตารางที่ 5.7 ผลเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน ..... 126

ตารางที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการคืนทุนระบบจากทิศทางที่ผลิตพลังงานได้สูงสุด..... 127

ตารางที่ 5.9 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน ..... 137

ตารางที่ 5.10 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน..... 138

ตารางที่ 5.11 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ..... 138

ตารางที่ 5.12 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา ..... 139

ตารางที่ 5.13 สรุปผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนของระบบ..... 140

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1.1 ทักษะภาพภายในอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้แสงประดิษฐ์เป็นจำนวนมาก.....	2
ภาพที่ 1.2 แนวโน้มราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	3
ภาพที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย.....	9
ภาพที่ 2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
ภาพที่ 2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซูเปอร์อะมอร์ฟัส.....	10
ภาพที่ 2.4 เครื่องควบคุมการชาร์จ.....	11
ภาพที่ 2.5 แบตเตอรี่แบบต่างๆ.....	11
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างอินเวอร์เตอร์ (ก) อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ และ (ข) อินเวอร์เตอร์สตรึง.....	12
ภาพที่ 2.7 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งและขายไฟฟ้าอัตรา รับซื้อไฟฟ้า.....	13
ภาพที่ 2.8 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งและขายไฟฟ้าแบบ หักลบหน่วย.....	13
ภาพที่ 2.9 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งร่วมกับระบบ แบตเตอรี่และขายไฟฟ้าด้วยวิธี net metering.....	14
ภาพที่ 2.10 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand-alone) มีระบบ แบตเตอรี่เพื่อเก็บสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ในเวลากลางคืนหรือเวลาที่ไม่มีแสงแดด.....	14
ภาพที่ 2.11 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	16
ภาพที่ 2.12 การประเมินอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสนาม กีฬาในร่ม.....	18
ภาพที่ 2.13 การประเมินอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	19
ภาพที่ 2.14 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารเรียน บรรยาย.....	20
ภาพที่ 2.15 ภาพการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์อาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น...21	21

ภาพที่ 2.16	ภาพการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม.....	22
ภาพที่ 2.17	แสดงภาพการติดตั้งช่องแสงบนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม.....	22
ภาพที่ 2.18	ภาพการปรับปรุงช่องแสงบนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม.....	23
ภาพที่ 3.1	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 รูปแบบที่ 1 .....	28
ภาพที่ 3.2	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 รูปแบบที่ 2 .....	29
ภาพที่ 3.3	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 รูปแบบที่ 1 .....	29
ภาพที่ 3.4	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 รูปแบบที่ 2 .....	30
ภาพที่ 3.5	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน ของอาคารสนามกีฬาจันทนียังยง รูปแบบที่ 1 .....	30
ภาพที่ 3.6	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน ของอาคารสนามกีฬาจันทนียังยง รูปแบบที่ 2 .....	31
ภาพที่ 3.7	ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกและทัศนียภาพภายในจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา....	34
ภาพที่ 3.8 (ก)	แผนภูมิแสดงสัดส่วนพื้นที่อาคารสนามกีฬาในร่ม (ข) แผนภูมิแสดงสัดส่วน.....	36
ภาพที่ 3.9	ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในของอาคารสนามกีฬาในร่ม .....	37
ภาพที่ 3.10	ภาพสามมิติแสดงขนาดพื้นที่ใช้สอยของอาคารและขนาดอาคาร.....	39
ภาพที่ 3.11	ภาพรูปทรงหลังคา (ก) หลังคาทรงจั่ว (ข) หลังคาทรงเพิงหมาแหงน.....	40
ภาพที่ 3.12	ผังหลังคา (ก) อาคารขนาดเล็ก (ข) อาคารขนาดกลาง และ (ค) อาคารขนาดใหญ่ .....	40
ภาพที่ 3.13	ผังพื้นที่แสดงห้องจำลองในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร .....	43
ภาพที่ 3.14	การตั้งค่าโปรแกรม Dialux .....	46
ภาพที่ 3.15	การตั้งค่าโปรแกรม Dialux และการแสดงผลการจำลอง.....	46
ภาพที่ 3.16	ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้งานไฟล์สภาพอากาศ.....	48
ภาพที่ 3.17	การตั้งค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	49
ภาพที่ 3.18	การตั้งค่าขนาดระบบและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	51

ภาพที่ 3.19	แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 21 มิถุนายน .....	52
ภาพที่ 3.20	แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในวันที่ 21 กันยายน และวันที่ 21 ธันวาคม.....	52
ภาพที่ 3.21	ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีและรายเดือน .....	53
ภาพที่ 3.22	สรุปขั้นตอนดำเนินงานและกรอบการศึกษา .....	56
ภาพที่ 4.1	แผนภูมิแสดงข้อมูลร้อยละค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่.....	61
ภาพที่ 4.2	ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงจั่ว.....	64
ภาพที่ 4.3	ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรงจั่ว.....	65
ภาพที่ 4.4	ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงเพิงหมาแหงน.....	65
ภาพที่ 4.5	ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรงเพิงหมา แหงน.....	67
ภาพที่ 4.6	ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงโค้ง.....	67
ภาพที่ 4.7	ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรงโค้ง.....	68
ภาพที่ 4.8	ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงปั้นหยາ.....	69
ภาพที่ 4.9	ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรง ปั้นหยา.....	70
ภาพที่ 4.10	แผนภูมิแสดงร้อยละพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคาร หลังคารูปทรงจั่ว ทรงโค้งและ ทรงปั้นหยา.....	72
ภาพที่ 4.11	แผนภูมิแสดงร้อยละพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคาร หลังคารูปทรงเพิงหมาแหงน	73
ภาพที่ 4.12	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วันของอาคารขนาดเล็ก ใช้งานช่วงเวลากลางวัน กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight.....	98
ภาพที่ 4.13	แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วันของอาคารขนาดเล็ก ใช้งานช่วงเวลากลางวัน กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight.....	98
ภาพที่ 5.1	แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารหลังคาทรงจั่ว ทรงโค้ง ทรง ปั้นหยา (บน) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารหลังคาทรงเพิงหมาแหงน (ล่าง).....	112
ภาพที่ 5.2	สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆ.....	114

ภาพที่ 5.3 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงจั่วและทรงโค้ง.....	115
ภาพที่ 5.4 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทรงปั้นหย้า.....	117
ภาพที่ 5.5 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	118
ภาพที่ 5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารหลังคาทรงจั่ว ทรงโค้ง ทรงปั้นหย้า (บน) และอาคารหลังคาทรงเพิงหมาแหงน (ล่าง).....	122
ภาพที่ 5.7 ตัวอย่างผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงและ 4 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารขนาดเล็ก.....	123
ภาพที่ 5.8 แผนภูมิร้อยละค่าการประหยัดพลังงานของการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน.....	125
ภาพที่ 5.9 แผนภูมิร้อยละค่าการประหยัดพลังงานของการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน.....	125
ภาพที่ 5.10 ระยะคืนทุนของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา และ 4 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	128
ภาพที่ 5.11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน.....	129
ภาพที่ 5.12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน.....	130
ภาพที่ 5.13 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคา ทรงเพิงหมาแหงนที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน.....	131
ภาพที่ 5.14 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคา ทรงเพิงหมาแหงนที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน.....	132

**ภาพที่ 5.15** แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของ  
 หลังคาทรงโค้งที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน.....133

**ภาพที่ 5.16** แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของ  
 หลังคาทรงโค้งที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-  
 กลางคืน.....134

**ภาพที่ 5.17** แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของ  
 หลังคาทรงปั้นหยาที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน  
 .....135

**ภาพที่ 5.18** แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของ  
 หลังคาทรงปั้นหยาที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-  
 กลางคืน.....136

**ภาพที่ 5.19** แผนภูมิการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารอาคาร... 142

**ภาพที่ 5.20** แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารหลังคาทรงจั่ว ..... 143

**ภาพที่ 5.21** แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิต ไฟฟ้า  
 พลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน..... 143

# บทที่ 1

## บทนำ

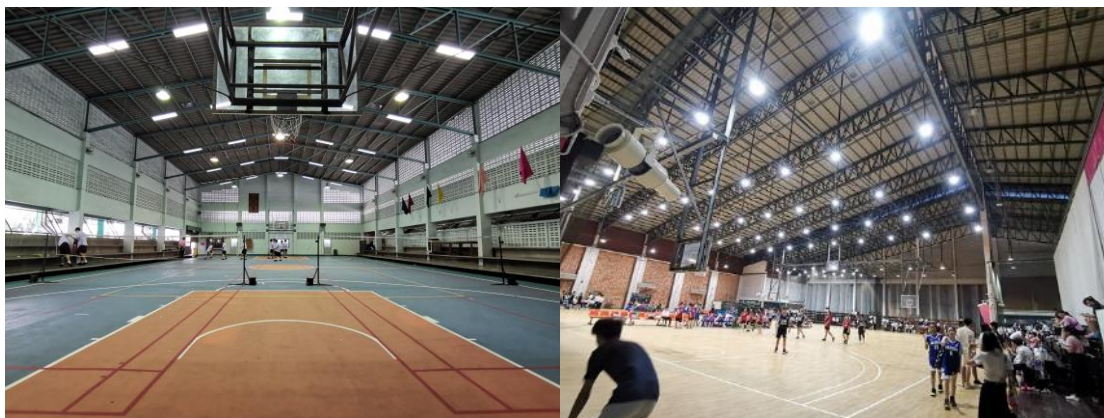
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี ส่งผลกระทบต่อการผลิตและนำเข้าของพลังงานไฟฟ้า ส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้าปรับสูงขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหาภาระเรื่องค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ปรับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ด้วยเหตุนี้สำนักคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรีจึงได้ประกาศแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560-2564) เป็นแผนที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) เป็นแผนแม่บทหลักของการพัฒนาประเทศ และมีเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) รวมทั้งการปรับโครงสร้างประเทศไปสู่ประเทศไทย 4.0 ตามยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ยุทธศาสตร์ที่ 4 การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน เช่น เร่งแก้ไขปัญหาวิกฤตสิ่งแวดล้อมเพื่อลดมลพิษที่เกิดจากการผลิตและการบริโภค ส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเป็นวงกว้างมากขึ้น ต้องเร่งเตรียมความพร้อมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลิตพลังงานสะอาดเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี, 2559)

สถานศึกษา อาทิเช่น มหาวิทยาลัย โรงเรียน เป็นหน่วยงานที่มีความหลากหลายในการใช้งาน เป็นหน่วยงานที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ประกอบด้วยอาคารจำนวนมาก ได้แก่ อาคารเรียน อาคารสำนักงาน หอประชุม โรงอาหาร สนามกีฬาในร่ม หอพัก ห้องสมุด เป็นต้น เนื่องจาก สถานศึกษานั้นมีการใช้อาคารในการจัดการเรียนการสอน การใช้อาคารสำหรับทำกิจกรรมต่างๆ และการใช้อาคารสำหรับส่วนสาธารณะ ส่งผลให้มีการใช้งานอาคารตลอดทั้งปี ซึ่งก่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในช่วงเวลา On-peak (ตั้งแต่เวลา 09:00 น.-22:00 น.) ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On-peak นั้นจะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สถานศึกษาเกิดปัญหาภาระเรื่องค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ปรับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี

หนึ่งในอาคารที่มีการใช้งานที่หลากหลายและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก คือ อาคารสนามกีฬาในร่ม ที่มีการจัดการเรียนการสอนด้านกีฬา เป็นพื้นที่สนามฝึกซ้อมกีฬา สนามแข่งขันกีฬา พื้นที่สำหรับเช่าจัดงาน และพื้นที่สำนักงาน ที่มีการใช้งานตลอดเวลาทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ในช่วงเวลา On-Peak (09:00 น.-22:00 น.) นอกจากนี้อาคารสนามกีฬาในร่มยังเป็น

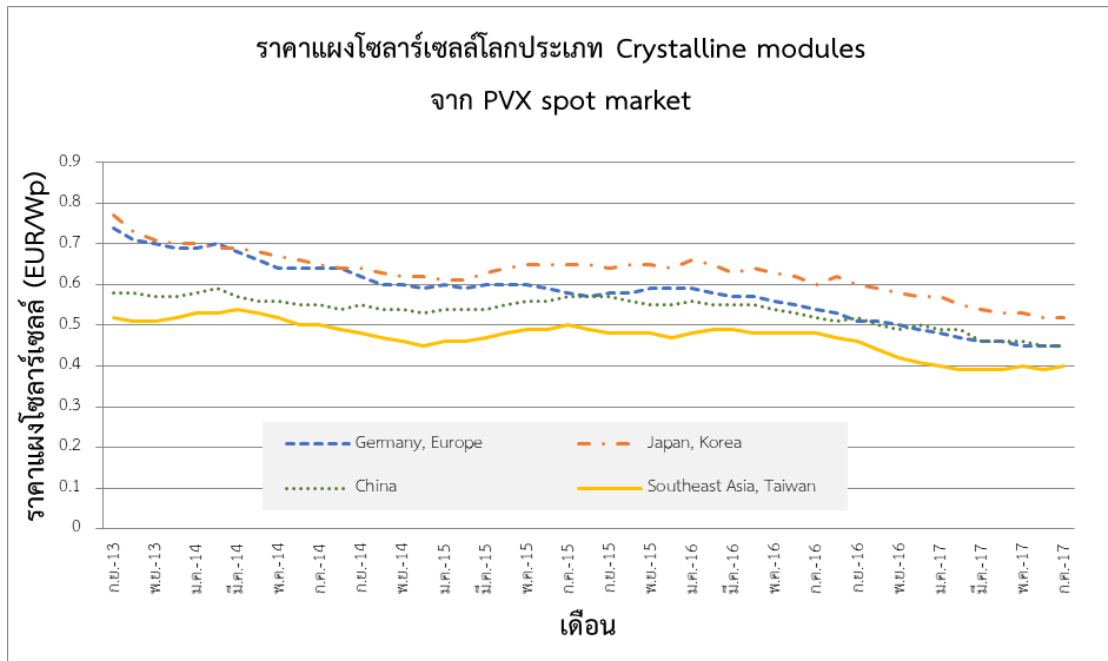
อาคารที่มีลักษณะพาดช่วงกว้าง อาคารมีความสูงมาก ภายในอาคารนั้นมีพื้นที่ขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้มีการใช้แสงประดิษฐ์เป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองด้านพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 1.1 ทศนิยมภาพภายในอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้แสงประดิษฐ์เป็นจำนวนมาก

การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถกระทำได้หลากหลายวิธี อาทิ การประหยัดพลังงาน การผลิตพลังงานหมุนเวียน อันได้แก่ ชีวมวล-ชีวมวล พลังงานลมและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (สำนักงานและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558) หนึ่งในแนวทางการแก้ปัญหา คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารเพิ่ม ซึ่งในช่วงเวลากลางวันนั้นเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มาก โดยประเทศไทยจัดได้ว่ามีศักยภาพผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อเทียบกับพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ไม่จำกัดตลอดอายุการใช้งาน (สัธา ปัญญาแก้ว และชนิกานต์ ยัมประยูร, 2558) ทั้งนี้ในปัจจุบันต้นทุนทางการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีค่าลดลงอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ซึ่งการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถช่วยลดภาระค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้ (สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560) อีกทั้งอาคารสนามกีฬาในร่มมีพื้นที่หลังคาขนาดใหญ่และอาคารตั้งอยู่ในบริเวณที่โล่งแจ้งส่งผลให้มีเงาจากอาคารข้างเคียงมากระทบหลังคาอาคารเป็นส่วนน้อย จึงมีความเป็นไปได้สูงในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์สูงที่จะช่วยส่งเสริมการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเป็นพื้นที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งต่อไปยังอาคารอื่นๆ อีกด้วย และอีกหนึ่งในวิธีการลดใช้พลังงานไฟฟ้า คือ การนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารแทนการใช้แสงประดิษฐ์ ในช่วงเวลากลางวัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติและคำนวณการสำรองพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อไปในอนาคตได้ มีรายละเอียด ดังนี้





ภาพที่ 1.2 แนวโน้มราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่เดือนกันยายน 2556 ถึงเดือนกรกฎาคม 2560  
(ที่มา: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

1.2.2 เพื่อประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้งานอาคารและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่แตกต่างกัน

1.2.3 เพื่อประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

1.2.4 เพื่อพัฒนาแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติในอาคารที่มีศักยภาพที่เหมาะสมต่อไปในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นที่จะเก็บข้อมูลจำนวนมาก จึงต้องมีการกำหนดขอบเขตข้อมูลที่นำมาศึกษา เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

1.3.1 สํารวจเฉพาะลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสํารวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาเท่านั้น

1.3.2 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสํารวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร

1.3.3 งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬา ที่มีขนาดพื้นที่อาคารตั้งแต่ 875 ตารางเมตร – 4,675 ตารางเมตร เท่านั้น

#### 1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ 12 ขั้นตอน ดังนี้

##### 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานศึกษา รวมไปถึงอาคารที่มีลักษณะหลังคาพาดช่วงกว้างและศึกษางานวิจัยด้านการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

##### 1.4.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (Pilot Study)

ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษากาวิจัยนำร่อง เรื่อง การประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.3 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสํารวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน

1.4.3.1 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม ได้แก่ ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) ข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร)

1.4.3.2 สํารวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี พ.ศ. 2562 เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม

1.4.3.3 สํารวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมดจากการนับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงและจากการนับจำนวนจากแบบรายการระบบไฟฟ้าของอาคาร เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารและวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจำแนกตามลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละระบบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ

#### 1.4.4 การกำหนดตัวแปรที่จะนำมาศึกษา

##### 1.4.4.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

1) ตัวแปรต้นด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) รูปทรงหลังคาอาคาร มุมเอียงหลังคา (5 องศา 10 องศา และ 15 องศา) ทิศทางหลังคาอาคาร 8 ทิศทาง ตารางการใช้งานอาคาร พลังงานไฟฟ้าในอาคาร (kWh) ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และชนิดของแบตเตอรี่

2) ตัวแปรต้นด้านการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร ได้แก่ พื้นที่จำลองแสงธรรมชาติ (ตารางเมตร) พื้นที่ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (ตารางเมตร) ตำแหน่งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา รูปทรงหลังคาอาคาร มุมเอียงหลังคา (5 องศา 10 องศา และ 15 องศา) ทิศทางหลังคาอาคาร 4 ทิศทาง และวัสดุแผ่นโปร่งแสงสีขาวขุ่นเพื่อเป็นช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา

##### 1.4.4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

1) ตัวแปรตามด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh) ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Performance ratio) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท) และระยะเวลาคืนทุน (ปี)

2) ตัวแปรตามด้านการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร ได้แก่ ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง และช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา

#### 1.4.5 การกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building)

##### 1.4.5.1 กำหนดขนาดอาคารและขนาดพื้นที่ใช้สอย

##### 1.4.5.2 กำหนดรูปทรงหลังคา

##### 1.4.5.3 กำหนดระยะยื่นหลังคา

##### 1.4.5.4 กำหนดมุมเอียงหลังคา

##### 1.4.5.5 กำหนดขนาดพื้นที่ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight)

##### 1.4.5.6 กำหนดทิศทางการวางเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง

#### 1.4.6 ทำการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

##### 1.4.6.1 กำหนดห้องจำลองในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

##### 1.4.6.2 กำหนดรายละเอียดวัสดุภายในห้องจำลองอาคารสนามกีฬาในร่ม

##### 1.4.6.3 กำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล

#### 1.4.7 ทำการสรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม

#### 1.4.8 ทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

1.4.8.1 ทำการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่มจากแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building)

1.4.8.2 คำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11

1.4.8.3 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model และนำผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.4.9 การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ โดยประกอบด้วย

1.4.9.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน

1.4.9.2 การประเมินระยะเวลาการคืนทุน

1.4.10 เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

1.4.11 ทำการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

1.4.12 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาสนามกีฬาในร่ม

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

1.5.2 ได้ทราบถึงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม จากการวางทิศทางอาคาร ขนาดอาคาร การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ที่แตกต่างกัน

1.5.3 ได้แนวทางในการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มที่เหมาะสมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารและการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.4 ได้แนวทางในการประกอบการตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของผู้บริหารโครงการ

## 1.6 คำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา

**ค่าสมรรถนะ (Performance ratio) หรือ PR** หมายถึง ค่าที่บ่งชี้ถึงสมรรถนะของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

**ไฟฟ้ากระแสตรง (DC)** หมายถึง ไฟฟ้าที่มาจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เช่น จากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่

**ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)** หมายถึง ไฟฟ้าที่ถูกแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรง เช่น ใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงกระแสไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านเครื่องอินเวอร์เตอร์และแปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

**ค่าใช้จ่ายในการลงทุน** หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับระบบ

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

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

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย เรื่อง การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 7 หัวข้อ ดังนี้

- 2.1 แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
- 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง
- 2.4 การออกแบบสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา
- 2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.6 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร
- 2.7 บทสรุปการทบทวนงานวิจัย

#### 2.1 แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

##### 2.1.1 รังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560) ได้ทำการพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ฉบับใหม่สำหรับประเทศไทย พบว่า การกระจายของแสงอาทิตย์ตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้อธิพลจากลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยที่เดือนเมษายนเป็นเวลาพื้นที่ส่วนใหญ่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด มีค่าอยู่ที่ 18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day อยู่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ โดยค่าเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศมีค่าอยู่ที่ 17.6 MJ/m<sup>2</sup>-day สำหรับการกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีดังแสดงในภาพที่ 2.1 พบว่า การกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทุกภาคทั่วประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกันความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 17-20 MJ/m<sup>2</sup>-day โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 20-22 MJ/m<sup>2</sup>-day จากการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปี พบว่า มีค่า 17.6 MJ/m<sup>2</sup>-day ซึ่งมีความเหมาะสมแก่การใช้งานเป็นพลังงานทางเลือกได้



ภาพที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย  
(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)

## 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ใช้ในการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น 3 ข้อ ดังนี้

### 2.2.1 อุปกรณ์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

2.2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar panel) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง สามารถแบ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 3 ประเภท ดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวต่อแสงมากที่สุดสามารถรับแสงที่อ่อนๆ ได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้างานต่างๆ สามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองและฝนตกชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิต่ำได้ดี แต่ก็มีผลเสีย คือ ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูง มีประสิทธิภาพ 7-8% จึงจำเป็นที่จะต้องใช้พื้นที่บนหลังคา

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์ (Crystalline) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผ่นฟลอมชั้นบาง สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Mono crystalline และ 2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึก (Poly crystalline) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์เป็นแผงที่นิยมที่ใช้งานมากที่สุด โดยที่แผงชนิดผลึกเดี่ยว (Mono crystalline) มีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาสูงกว่าแผงชนิดหลายผลึก (Poly crystalline) เล็กน้อย แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์นั้น มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี ดังแสดงในภาพที่ 2.2



(ก)

(ข)

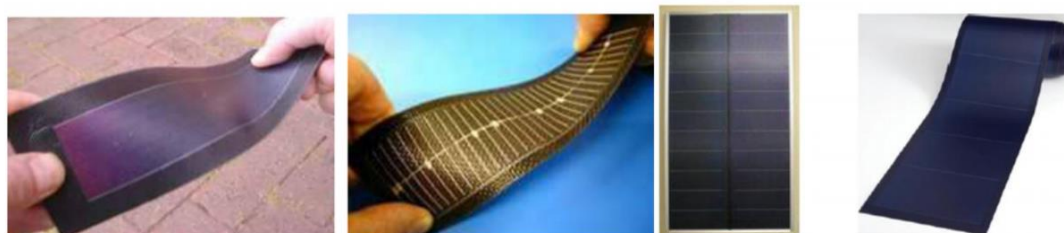
(ค)

ภาพที่ 2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว

(ข) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึก และ (ค) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส

(ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซูเปอร์อะมอร์ฟัส (Amorphous Triple Junction) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Amorphous ตัวแผงมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบิดตัวม้วนได้ มีน้ำหนักเบา การขนส่งสะดวกสามารถติดตั้งตามพื้นผิวของวัสดุต่างๆ ได้หลากหลาย แต่มีข้อเสีย คือ มีราคาแพงกว่าชนิดอื่นๆ 30-40% ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซูเปอร์อะมอร์ฟัส

(ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)



2.2.1.2 เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge controller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้เกิดการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็วและเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็ต้องตัดการชาร์จทันที



ภาพที่ 2.4 เครื่องควบคุมการชาร์จ

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

2.2.1.3 แบตเตอรี่ (Battery) ใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และจะทำการปล่อยพลังงานไฟฟ้าไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์ โดยแบตเตอรี่ที่นิยมนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ แบบตะกั่วกรด (lead-acid) อัลคาไลน์ (alkaline) นิกเกิลแคดเมียม (nickel-cadmium) โดยแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดจะนิยมใช้มากที่สุด เพราะ มีราคาถูกและมีขนาดความจุสูง ซึ่งแบตเตอรี่ที่ควรนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ควรมีลักษณะการปล่อยประจุแบบ deep-cycle สามารถปล่อยประจุที่เก็บสะสมไว้ได้ 60-80% ของประจุมก่อนชาร์จครั้งต่อไป ซึ่งจะแตกต่างจากแบบ shallow-cycle ที่นิยมใช้กับรถยนต์ สามารถปล่อยประจุที่เก็บสะสมไว้ได้ 20-30%



ภาพที่ 2.5 แบตเตอรี่แบบต่างๆ

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

2.2.1.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ จึงจำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงกระแสไฟฟ้าจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านเครื่องอินเวอร์เตอร์และแปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยอินเวอร์เตอร์ชนิดต่อเชื่อมกับระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทได้ตามลักษณะการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Central Inverter) เป็นเครื่องอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ สามารถต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้พร้อมกันหลายแผงพร้อมกัน ส่งผลให้ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ

- อินเวอร์เตอร์สตริง (String Inverter) เป็นเครื่องอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก สามารถติดตั้งกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มเล็กๆ เท่านั้น ทำให้ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ประเภทนี้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนในการก่อสร้างอาจสูงกว่าการใช้ Central Inverter ในระยะแรกได้ อินเวอร์เตอร์สตริงจะมีข้อดี คือ เมื่อกรณีเกิดเหตุขัดข้องกับอินเวอร์เตอร์ประเภทนี้จะสามารถซ่อมบำรุงได้เร็วและสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้เพียงเล็กน้อย ส่งผลให้มีต้นทุนการบำรุงรักษา และความเสี่ยงในการสูญเสียรายได้ต่ำกว่าการใช้ Central Inverter



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างอินเวอร์เตอร์ (ก) อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ และ (ข) อินเวอร์เตอร์สตริง

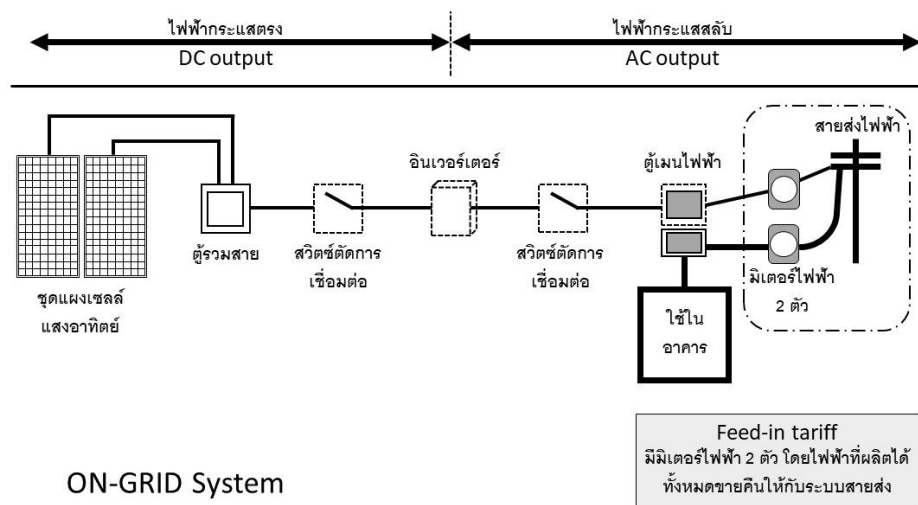
(ที่มา : สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560)

## 2.2.2 ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งเป็น 2 ระบบ ตามลักษณะการใช้งาน ดังต่อไปนี้

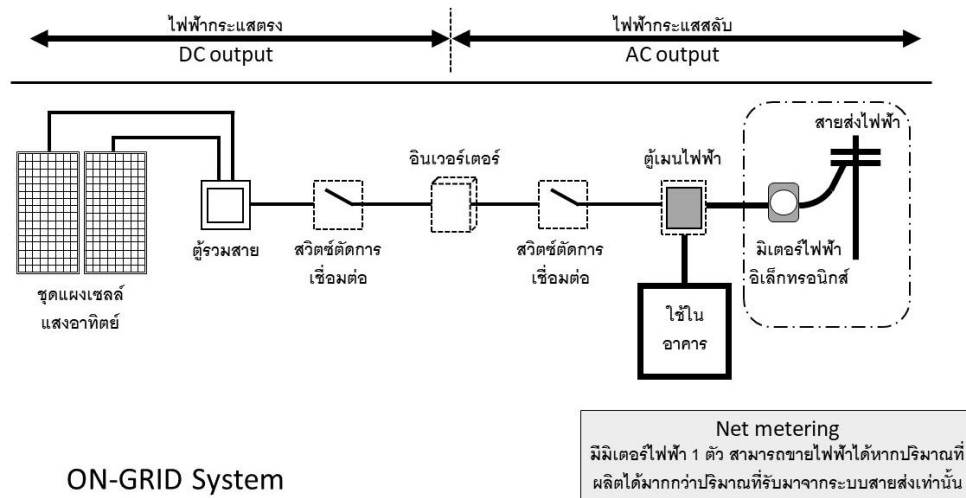
2.2.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถต่อเข้าระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน หากไฟฟ้าที่ผลิตไม่เพียงพออาคารสามารถใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าได้ โดยการสนับสนุนจากภาครัฐ แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- แบบอัตราซื้อไฟฟ้า (Feed-in tariff) คือ กรณีที่ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้กับโครงข่ายไฟฟ้าทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 2.7

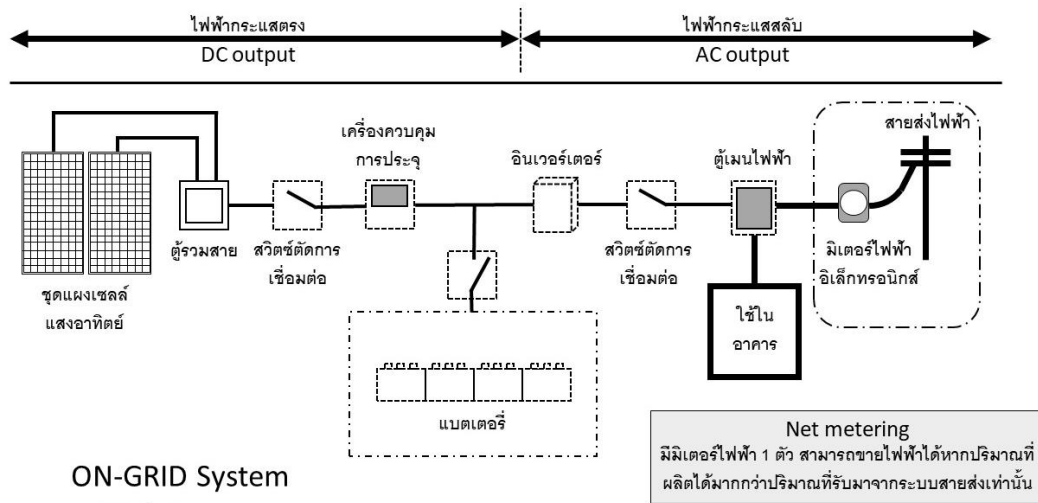


ภาพที่ 2.7 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งและขายไฟฟ้าอัตราซื้อไฟฟ้า (feed-in tariff) (ที่มา: สัทธิธา ปัญญาแก้ว และชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

- แบบหักลบหน่วย (Net metering) คือ กรณีที่ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะนำไปใช้ภายในอาคารก่อน จึงขายส่วนที่เกินให้กับโครงข่ายไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งและขายไฟฟ้าแบบหักลบหน่วย (net metering) (ที่มา: สัทธิธา ปัญญาแก้ว และชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

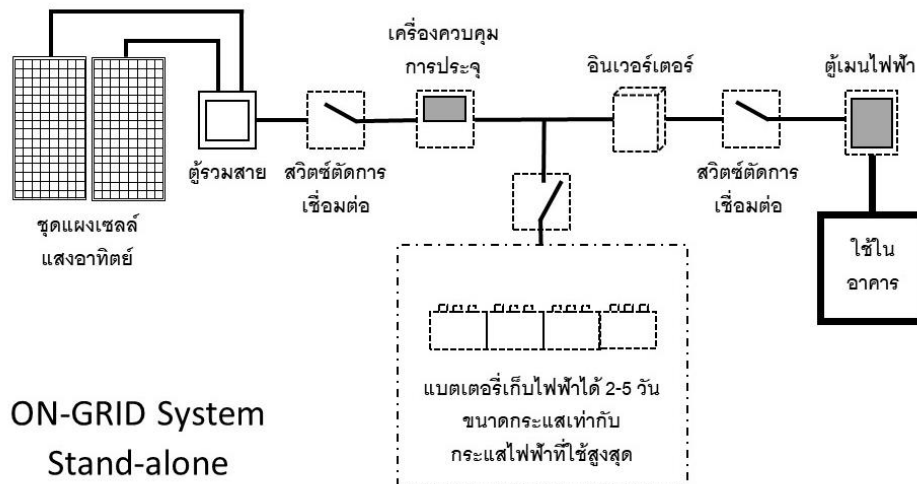


**ON-GRID System  
With Battery**

ภาพที่ 2.9 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งร่วมกับระบบแบตเตอรี่และขายไฟฟ้าด้วยวิธี net metering (ที่มา: สัธธา ปัญญาแก้ว และชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

- ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand-alone system)

เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เองอย่างอิสระไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า มักใช้กับพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องมีแบตเตอรี่เพื่อเก็บไว้ใช้งานในช่วงเวลากลางคืนหรือช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 2.10



**ON-GRID System  
Stand-alone**

ภาพที่ 2.10 ไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand-alone) มีระบบแบตเตอรี่เพื่อเก็บสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ในเวลากลางคืนหรือเวลาที่ไม่มีแสงแดด (ที่มา: สัธธา ปัญญาแก้ว และชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558)

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

### 2.3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง (Illuminance Theory)

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์มองเห็นได้ คลื่นของแสงประกอบด้วยสเปกตรัมของสีหลายสี ซึ่งสามารถเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ โดยนิยามที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่างโดยอ้างอิงจาก TIEA สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) ดังนี้

- ความเข้มการส่องสว่าง (luminous intensity, I) คือ ปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางหนึ่ง ๆ (มุมตัน) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (candela, cd)

- ความส่องสว่าง (illuminance, E) คือ ปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ต่อตารางเมตร มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux, lx)

- ความสว่าง (Luminance, L) คือ ปริมาณแสงที่ออกจากพื้นผิวของวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงที่เข้ามาในทิศทางการมองของผู้สังเกต มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m<sup>2</sup>)

- ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (illuminance uniformity, U<sub>o</sub>) คือ อัตราส่วนระหว่างความส่องสว่างต่ำสุดบนพื้นผิวต่อความส่องสว่างเฉลี่ยของทั้งพื้นผิวสามารถหาได้ดังสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\text{illuminance uniformity} = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ave}}} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $E_{\min}$  คือ ค่าความส่องสว่างของปริมาณแสงต่ำสุด

$E_{\text{ave}}$  คือ ค่าความส่องสว่างของปริมาณแสงโดยเฉลี่ย

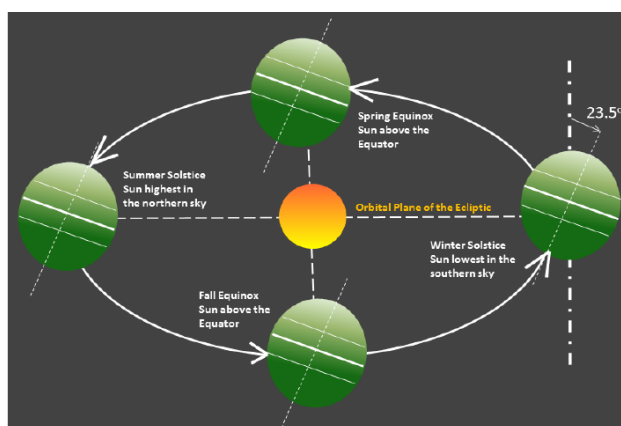
- แสงธรรมชาติ (daylight) คือ แสงที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก ประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์หรือแสงแดด (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight)

### 2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติเป็นรูปแบบของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับทิศทางและตำแหน่งต่างๆ ของดวงอาทิตย์ โดยปริมาณแสงธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปตามวันและฤดูกาล ซึ่งจะส่งผลให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติอย่างสม่ำเสมอและคงที่ แต่ยังคงรูปแบบที่ไม่แน่นอนของแสงธรรมชาติ เกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมลภาวะปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวต่างๆ สามารถแบ่งการโคจรของดวงอาทิตย์ใน 1 ปี แบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา ดังนี้

- วันที่ 21 มีนาคมและกันยายน (Equinox) เนื่องจาก เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากที่สุด ช่วงเวลากลางวันเท่ากับกลางคืน

- วันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice) เนื่องจาก เป็นวันที่ซีกโลกเหนือเบนเข้าสู่ดวงอาทิตย์มากที่สุด ช่วงเวลากลางวันยาวกว่าช่วงเวลากลางคืนมากที่สุด
- วันที่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice) เนื่องจาก เป็นวันที่ซีกโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ช่วงเวลากลางคืนยาวนานกว่าช่วงเวลากลางวันมากที่สุด



ภาพที่ 2.11 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

(ที่มา: National Renewable Energy Laboratory, 2017)

สภาพท้องฟ้า (Sky Condition) สามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

- ท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม (Clear sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆหรือมีเมฆปกคลุมน้อย โดยมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าประมาณ 0-30 เปอร์เซ็นต์
- ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) เป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นบางส่วน โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าประมาณ 40-70 เปอร์เซ็นต์
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก (Overcast sky) ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเป็นส่วนมาก โดยปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

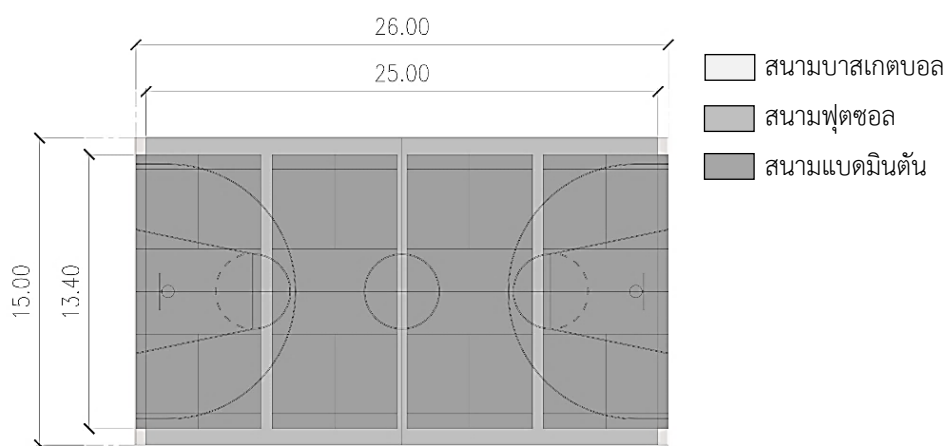
## 2.4 การออกแบบสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา

### 2.4.1 การออกแบบขนาดสนามกีฬาในร่ม

การออกแบบขนาดสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาประกอบด้วยสนามบาสเกตบอล สนามแบดมินตัน สนามฟุตซอล สนามวอลเลย์บอล สนามกีฬายูโด สนามเทเบิลเทนนิส และสนามกีฬาเทนนิส ซึ่งมีขนาดสนามต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และกำหนดขนาดสนามมาตรฐานภายในอาคารสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษามีขนาดความกว้าง 15 เมตร ความยาว 26 เมตร และความสูง 7 เมตร โดยอ้างอิงจากการสำรวจสนามกีฬาภายในมหาวิทยาลัยของ ฐิตาพร ชีวดีโสภณ (2561) และจากมาตรฐานสนามแข่งขันและอุปกรณ์กีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย (2550)

ตารางที่ 2.1 ขนาดสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา

ประเภทสนามกีฬา	ขนาด (เมตร)	พื้นที่ (ตารางเมตร)
สนามบาสเกตบอล	14 X 26	3,646.1
สนามแบดมินตัน	6.1 X 13.4	81.74
สนามฟุตซอล	15 X 25	375
สนามวอลเลย์บอล	9 X 18	162
โต๊ะเทเบิลเทนนิส	1.52 X 2.74	4.16
สนามกีฬาเทนนิส	11 X 24	264



ที่มา: การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2550

2.4.2 การออกแบบแสงสว่างสำหรับอาคารสนามกีฬาในร่ม สามารถแบ่งรายละเอียดเป็น 4 ส่วนดังนี้

2.4.2.1 การออกแบบแสงสว่างภายในอาคารสนามกีฬาในร่มนั้น การออกแบบจะแตกต่างจากการออกแบบแสงสว่างของอาคารอื่น เนื่องจาก ต้องให้นักกีฬามองเห็นได้อย่างชัดเจนตั้งนั้น ระดับความส่องสว่างในแนวราบและแนวตั้ง ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง จึงสำคัญในการออกแบบแสงสว่างสำหรับอาคารสนามกีฬาในร่ม (ศรีเชียร ตั้งกมลสุข, 2556)

2.4.2.2 การจัดไฟส่องสว่างในระดับแนวราบ เนื่องจากบริเวณสนามกีฬาเป็นบริเวณที่มีความสำคัญต่อการส่องสว่าง ดังนั้นการจัดไฟส่องสว่างแนวราบในระดับพื้น จึงมีความสำคัญต่อการแข่งขันกีฬามาก (ศรีเชียร ตั้งกมลสุข, 2556) โดยแบ่งระนาบที่ใช้วัดแสงออกเป็น 2 ระนาบ ดังนี้

- ระนาบวัดแสงระดับ  $\pm 0.00$  เมตร ในระนาบนี้มีเส้นขอบของสนามกีฬา
- ระนาบวัดแสงระดับ  $+1.50$  เมตร ในระนาบนี้เป็นระดับสายตาของนักกีฬา

2.4.2.3 ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง มีความสำคัญต่อการใช้สนามกีฬา หากว่าแสงไม่



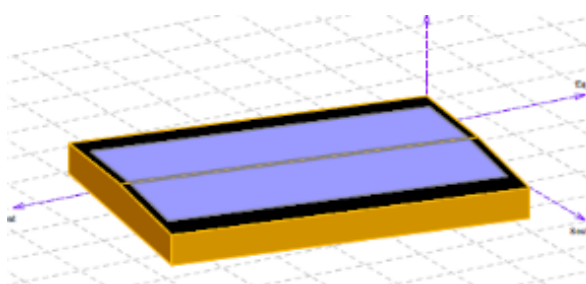
มีความสม่ำเสมอจะส่งผลต่อการมองเห็นขณะใช้สนามของผู้เล่นกีฬาและผู้ชม

2.4.2.4 มาตรฐานระดับความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาตามค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา โดย TIEA สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) โดยกำหนดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6

## 2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.5.1 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานศึกษา

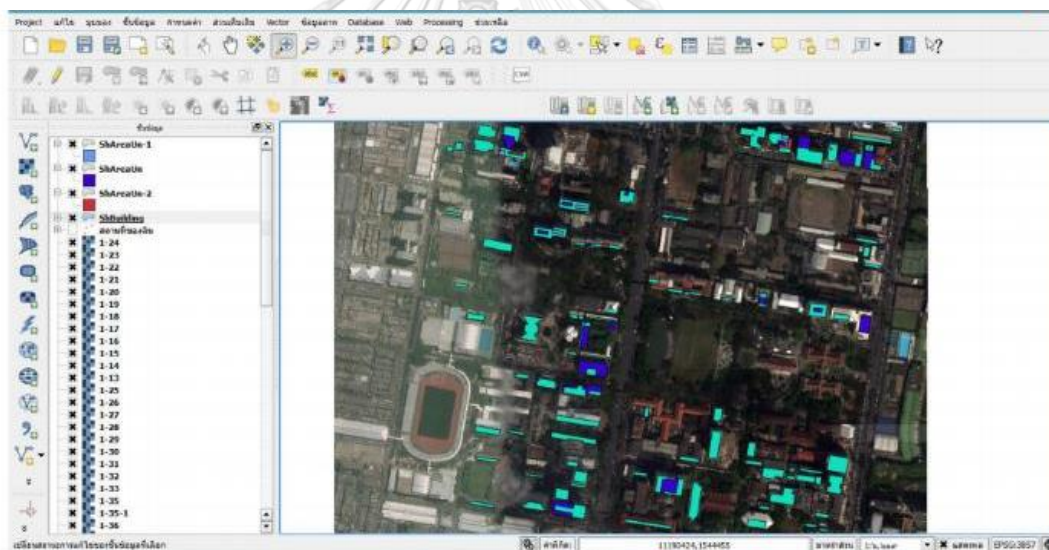
จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยของ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560) ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้วิธีการสำรวจและจัดทำข้อมูลเบื้องต้นของลักษณะหลังคาหรือดาดฟ้าของอาคารด้วยโปรแกรมแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม (Google Earth) จากนั้นทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Pvsyst กำหนดเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกรวม Poly crystalline และทำการออกแบบเบื้องต้นของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งได้สำหรับแต่ละอาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เฉพาะในเขตพื้นที่การศึกษา (ไม่รวมส่วนของ รพ. จุฬาลงกรณ์ และ สภากาชาดไทย) จำนวนไม่น้อยกว่า 190 อาคาร โดยจะประกอบด้วยจำนวนและขนาดพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้ สามารถสรุปผลการประเมินอาคารที่มีค่า IRR สูงและค่าสมรรถนะสูง จะมีความเหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด เพื่อประเมินหาอาคารที่มีศักยภาพที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จากงานวิจัย พบว่า อาคารสนามกีฬาในร่มมีศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์มากเหมาะสมแก่การลงทุน



ภาพที่ 2.12 การประเมินอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม (ที่มา: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560)



จากงานวิจัยของ ญัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ (2557) ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้วิธีการคัดเลือกอาคารที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุดมาทั้งสิ้น จำนวน 10 อาคาร ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เฉพาะในเขตพื้นที่การศึกษา (ไม่รวมส่วนของ รพ. จุฬาลงกรณ์ และ สภากาชาดไทย) จากนั้นทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Quantum GIS โดยนำพื้นที่หลังคาอาคารมาประเมินศักยภาพด้านกายภาพหลังคา ด้านภูมิศาสตร์ ด้านเทคนิค โดยกำหนดมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 15 องศา หันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ กำหนดใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Poly crystalline) เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดอื่น ทำการคำนวณการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการวิจัย พบว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 10.97% ของความต้องการไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย และมีระยะเวลาคืนทุน 7.41 ปี

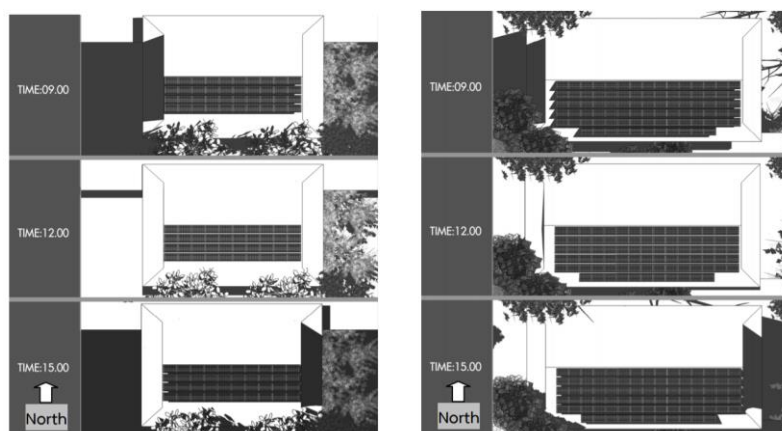


ภาพที่ 2.13 การประเมินอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์  
(ที่มา: ญัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, 2557)

จากงานวิจัยของ ธนาพล ดันดีสัตยกุลและคณะ (2560) ได้ศึกษาการประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยใช้วิธีการทำการประเมินหลังคาของกลุ่มอาคารเรียน คัดเลือกอาคารที่มีความเหมาะสมด้วยการคัดเลือกอาคารที่ไม่มีเงาอาคารจากสิ่งแวดล้อมข้างเคียงและทำการคำนวณพลังงานที่ผลิตด้วยโปรแกรม RETScreen จำนวนทั้งสิ้น 17 อาคาร พบว่า อาคารที่หันไปทางทิศใต้มีศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์มากที่สุด

นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยของ Billir และ Yildirim (2017) ได้ทำการศึกษาประเมินผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารเรียนในประเทศตุรกี กำหนดใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On grid System) โดยใช้วิธีการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเรียนในช่วงเวลา 1 วัน ทำการประเมินอาคารโดยเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหันไปทางทิศใต้ ที่มุมเอียง 30 องศา ตามมุมเอียงของหลังคาเดิม จากนั้นได้ทำการเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ใน 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) รูปแบบที่ 1 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้พอดีกับการใช้พลังงานไฟฟ้าและ 2) รูปแบบที่ 2 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา จากงานวิจัย พบว่า การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบที่ 2 มีประโยชน์ต่อการใช้งานในอนาคตมากกว่า กรณีมีการใช้พลังงานภายในอาคารเพิ่มขึ้นหรือสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าที่เหลือเพื่อขายสู่การไฟฟ้าได้ต่อไป

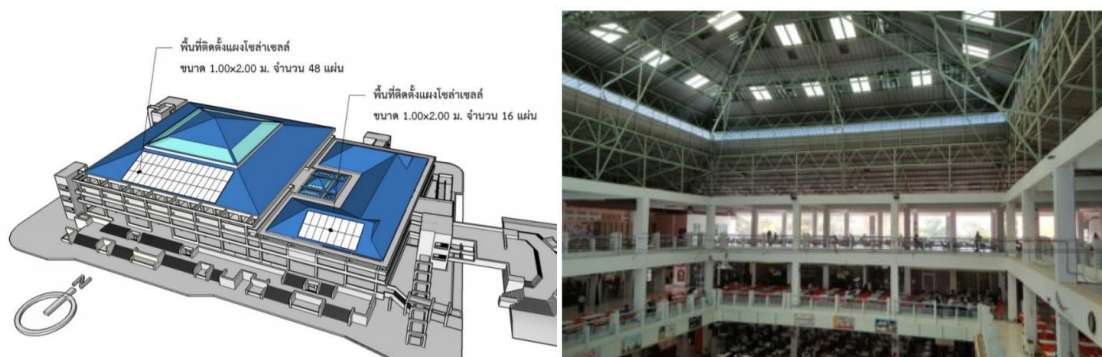
จากงานวิจัยของ พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา (2559) ได้ทำการศึกษาลักษณะกายภาพของอาคารเพื่อประเมินการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้วิธีการ คัดเลือกพื้นที่หลังคาอาคารที่ไม่มีร่มเงาบังทางทิศใต้ ด้วยการจำลองร่มเงาด้วยโปรแกรม SketchUp 8 กำหนดเวลาในการจำลอง ในช่วงเวลา 09:00 น.-15.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 2.14 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า กำหนดมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 16 องศา (เป็นมุมเอียงที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด) กำหนดใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On grid System) ชนิดหักลบหน่วย (Net Metering) ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และค่าใช้จ่ายในการลงทุน จากงานวิจัย พบว่าอาคารที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีที่สุดทั้งสิ้น จำนวน 6 อาคาร ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 33.24% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเรียนและพบว่ามีระยะเวลาคืนทุน 11.76 ปี



ภาพที่ 2.14 แสดงร่มเงาและการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทางด้านทิศใต้ของอาคารเรียนบรรยาย

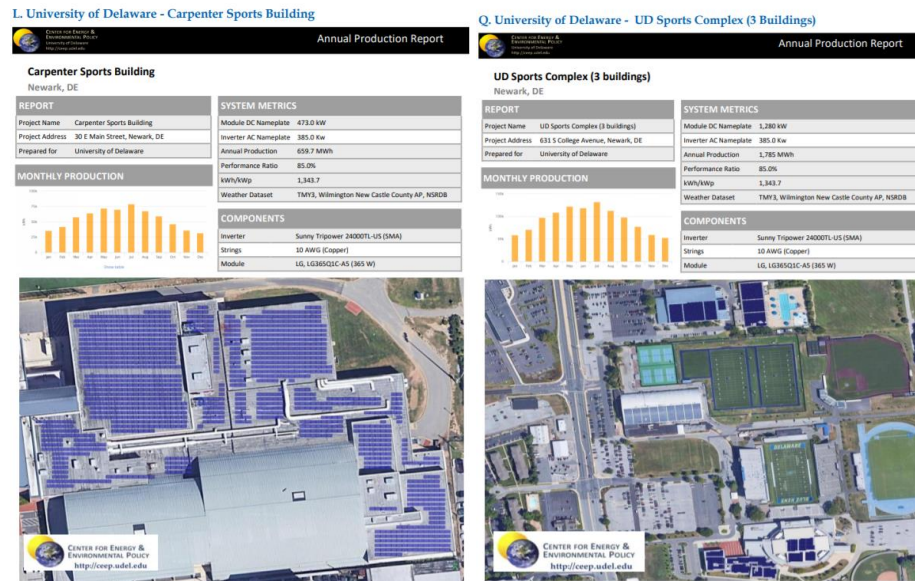
(ที่มา : พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา, 2559)

นอกจากการศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ทำการประเมินอาคารเรียน โดยทำการคัดเลือกอาคารที่ไม่มีเงาบดบัง คัดเลือกอาคารที่หันหลังคาไปทางทิศใต้ ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ยังมีการพบว่าการประเมินศักยภาพหลังคาประเภทสนามกีฬาในร่มยังมีส่วนน้อย หากแต่อาคารสนามกีฬาในร่มน่าจะมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากมีหลังคาแบบพาดช่วงกว้าง ซึ่งในอดีตมีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ลักษณะแบบพาดช่วงกว้าง จากงานวิจัยของ Mukisa และคณะ (2019) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะของอาคารโรงงานในรูปแบบของหลังคาและมุมเอียงของหลังคาที่แตกต่างกัน ด้วยการจำลองผ่าน Google Earth และโปรแกรม System Advisor Model พบว่า หลังคาอาคารประเภทโรงงานมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้พอเพียงต่อการใช้งานในอาคารภายใน 1 วันและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เกินความต้องการใช้งาน ส่งผลให้สามารถขายคืนพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบการไฟฟ้าต่อไปได้และงานวิจัยของ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล (2561) ได้ทำการปรับปรุงศูนย์อาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มีลักษณะอาคารแบบพาดช่วงกว้าง โดยมีการใช้ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านทิศใต้ ตามมุมเอียงของหลังคาอาคาร คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาให้พอเพียงต่อการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน นอกจากนี้ยังพบว่าวิจัยของ Byrne และคณะ (2019) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้และประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารหลากหลายประเภทของเมือง Newark และ Wilmington ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของเมือง พบว่าหลังคาลักษณะแบบพาดช่วงกว้างมีศักยภาพในการติดตั้งระบบมากที่สุด



ภาพที่ 2.15 ภาพการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์อาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
(ที่มา : ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2561)

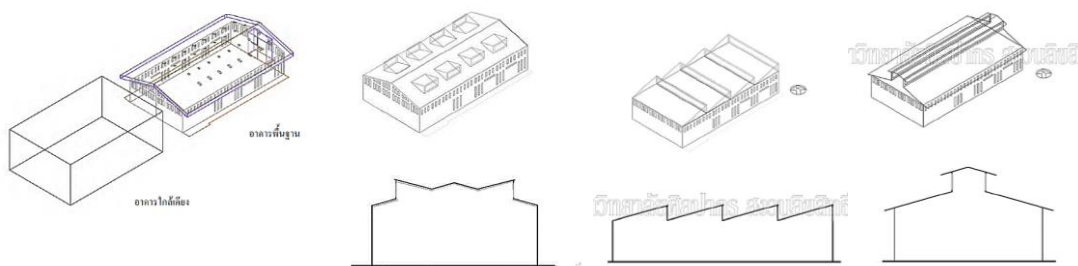




ภาพที่ 2.16 ภาพการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม (ที่มา : Byrne และคณะ, 2019)

## 2.6 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร

ณิธิย์ มิสาโท (2554) ได้ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา กรณีศึกษาอาคารเรียนพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม เพื่อที่จะออกแบบปรับปรุงแสงภายในสนามกีฬาในร่มให้มีแสงสว่างจากธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการปรับปรุงช่องแสงด้านบนหลังคาอาคารเนื่องจาก ช่องแสงด้านข้างอาคารสามารถก่อให้เกิดแสงบาดตาได้ กำหนดขนาดพื้นที่ของช่องแสงที่ดีควรมีพื้นที่ 10-25% ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด โดยใช้วิธีการ ปรับเปลี่ยนรูปแบบช่องแสงด้านบนหลังคาเดิมจากรูปทรงหลังคาจั่วเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) แบบ Clerestory 2) แบบ Saw tooth และ 3) แบบ Two-story ทำการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 ทำการศึกษาวันที่ 21 ของเดือน มิถุนายน กันยายนและธันวาคม ในช่วงเวลา 08:00 น.-16:00 น. กำหนดค่าความส่องสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานที่ 400 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสงอยู่ที่ 0.6 จากนั้น จากผลการวิจัย พบว่า รูปแบบหลังคาที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคือ รูปแบบ Clerestory



ภาพที่ 2.17 แสดงภาพการติดตั้งช่องแสงบนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม (ที่มา : ณิธิย์ มิสาโท, 2554)

ศรีเชียร ตั้งกมลสุข (2556) ได้ทำการศึกษาปัจจัยในการออกแบบช่องแสงและแผ่นสะท้อนแสงสำหรับอาคารกีฬาในร่ม ด้วยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาช่วยลดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ประเภทสนามกีฬาในร่ม โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 กำหนดการนำแสงธรรมชาติเข้ามายังช่องเปิดด้านบนอาคารทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ กำหนดจุดวัดข้อมูลแสงเฉพาะพื้นที่เล่นกีฬาระยะห่างทุก 2.5 เมตร กำหนดระดับวัดค่าแสงที่  $\pm 0.00$  เมตร ทำการจำลองในวันท้องฟ้าโปร่งแสงในวันที่ 21 ของเดือน มิถุนายน กันยายนและธันวาคม ในช่วงเวลา 08:00 น., 10:00 น., 12:00 น., 14:00 น. และ 16:00 น. กำหนดตัวแปรที่ทำการศึกษา ความสูงของช่องแสง ระยะห่างระหว่างช่องแสง และความกว้างของแผ่นโค้งสะท้อนแสง จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความส่องสว่าง คือ ความสูงของช่องแสงและความกว้างของแผ่นสะท้อนแสง ปัจจัยที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของแสง คือ ระยะห่างระหว่างช่องแสงและความกว้างของแผ่นสะท้อนแสง



ภาพที่ 2.18 ภาพการปรับปรุงช่องแสงบนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่ม (ที่มา : ศรีเชียร ตั้งกมลสุข, 2556)

ประไพพัทธ์ เทียงดาห์ (2554) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพทางด้านแสงธรรมชาติของ Skylight Shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น ประเภทอาคารสำนักงาน อาคารไฮเปอร์มาร์เก็ตและโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม DIALux 4.10 กำหนดขนาดห้อง ความกว้าง 6 เมตร ความยาว 6 เมตร ความสูง 3, 6 และ 9 เมตร ทำการจำลองในวันท้องฟ้ามีเมฆมาก ในวันที่ 21 ของเดือน มิถุนายน กันยายนและธันวาคม ในช่วงเวลา 08:00 น.-16:00 น. และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยทั้งปีและเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของแสง จากผลวิจัย พบว่า เมื่อทำการเพิ่มจำนวนช่องเปิดจะส่งผลให้ปริมาณแสงเข้ามายังภายในอาคารมากขึ้น การวางช่องเปิดในแนวทิศเหนือ-ใต้ นั้น จะมีแสงสว่างเฉลี่ยตลอดทั้งปีมากกว่า การวางช่องเปิดในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ส่วนค่าความสม่ำเสมอของแสงนั้นการวางช่องเปิดในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก จะมีค่ามากกว่าการวางช่องเปิดในแนวทิศเหนือ-ใต้

## 2.7 บทสรุปการทบทวนงานวิจัย

จากการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น คือ 1. การประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ทำการประเมินอาคารเรียนและอาคารพาดช่วงกว้าง โดยสามารถสรุปมีวิธีการได้ดังนี้ 1) การประเมินหาพื้นที่ที่เหมาะสม เช่น หลักการภาพถ่ายทางอากาศและ Google earth 2) คัดเลือกบริเวณหลังคาอาคารและแดดฟ้าที่ไม่มีร่มเงาบดบัง 3) ทำการคำนวณหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ระบบการติดตั้ง ทิศทางการติดตั้ง โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ PVSystem, Quantum GIS, RETScreen และ System Advisor Model และ 3) ทำการประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้โดยใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On grid System) และ 4) การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าและศักยภาพที่นำลงทุนที่สุด และประเด็นที่ 2. การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร จากงานวิจัยข้างต้นนั้น ได้ทำการศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามายังอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยสามารถสรุปมีวิธีการได้ดังนี้ ปรับปรุงช่องแสงจากด้านบนของหลังคาอาคาร ด้วยการจำลองผ่านทางคอมพิวเตอร์จากโปรแกรม DIALux และโปรแกรม Desktop Radiance 2.0 กำหนดจำลองในวันที่ 21 ของเดือน มิถุนายน กันยายนและธันวาคม จากนั้นนำข้อมูลค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของแสงมาเปรียบเทียบกันในแต่ละรูปแบบ เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่ให้แสงสว่างที่ดีที่สุดและผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน จากงานวิจัยเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้ช่องแสงด้านบนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้มากกว่าช่องแสงด้านข้าง ดังนั้นช่องแสงด้านบนจึงเหมาะสมสำหรับอาคารสนามกีฬาในร่มมากกว่าช่องแสงด้านข้าง เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ได้จากด้านบน มีการกระจายในทุกทิศทาง ไม่มีปัญหาเรื่องความจ้า และมีแสงสม่ำเสมอ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นนั้นยังขาดข้อมูลประเด็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารรายชั่วโมงต่อวันมาใช้ในการวิเคราะห์ ประเด็นการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาพร้อมกับการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร และการเสนอแนะทางเลือกเพิ่มเติมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าพอเพียงต่อการใช้งาน แทนการติดตั้งแบบเต็มหลังคา และคำนวณการสำรองพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพิ่มเติมของอาคารสนามกีฬาในร่ม ดังนั้นงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ เพื่อประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติในอาคารและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่ต่างกันและเพื่อเสนอแนะแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีศักยภาพที่เหมาะสมต่อไปในอนาคต

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีการศึกษา

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ 12 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

- 3.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
- 3.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (Pilot Study)
- 3.3 สำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน
- 3.4 การกำหนดตัวแปรที่จะนำมาศึกษา
- 3.5 การกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building)
- 3.6 ทำการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร
- 3.7 ทำการสรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม
- 3.8 ทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
- 3.9 การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์
- 3.10 เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบน

หลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

- 3.11 ทำการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์
- 3.12 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บน

หลังคาสนามกีฬาในร่ม

#### 3.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานศึกษา รวมไปถึงอาคารที่มีลักษณะหลังคาพาดช่วงกว้างและศึกษางานวิจัยด้านการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

#### 3.2 การศึกษาวิจัยนำร่อง (Pilot Study)

ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษากิจการวิจัยนำร่อง เรื่อง การประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย สามารถกำหนดตัวแปรที่ได้ทำการศึกษา ดังนี้

- ตัวแปรต้น ได้แก่ พื้นที่ของอาคาร ทิศทางหลังคาอาคาร ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียง การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร และเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร

- ตัวแปรตาม ได้แก่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh) ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Performance ratio) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท) และระยะเวลาคืนทุน (ปี)

วิธีการศึกษาได้ทำการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน ทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่จำแนกตามลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละระบบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ ทำการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มผนวกการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงในอาคารรายชั่วโมงต่อวันมาร่วมวิเคราะห์กับการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และเสนอแนวทางเลือกเพิ่มเติมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเพียงพอต่อการใช้งาน และคำนวณการสำรองพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพิ่มเติม โดยมีอาคารสนามกีฬาในร่ม 3 อาคาร ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษา โดยศึกษาในเชิงการเก็บข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรม สำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารและตารางการใช้อาคาร ทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018 (SAM) กำหนดใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 340 วัตต์ต่อแผงและใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้า

ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม โดยแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แสดงในภาคผนวก ก จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งภายในอาคารและวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.1

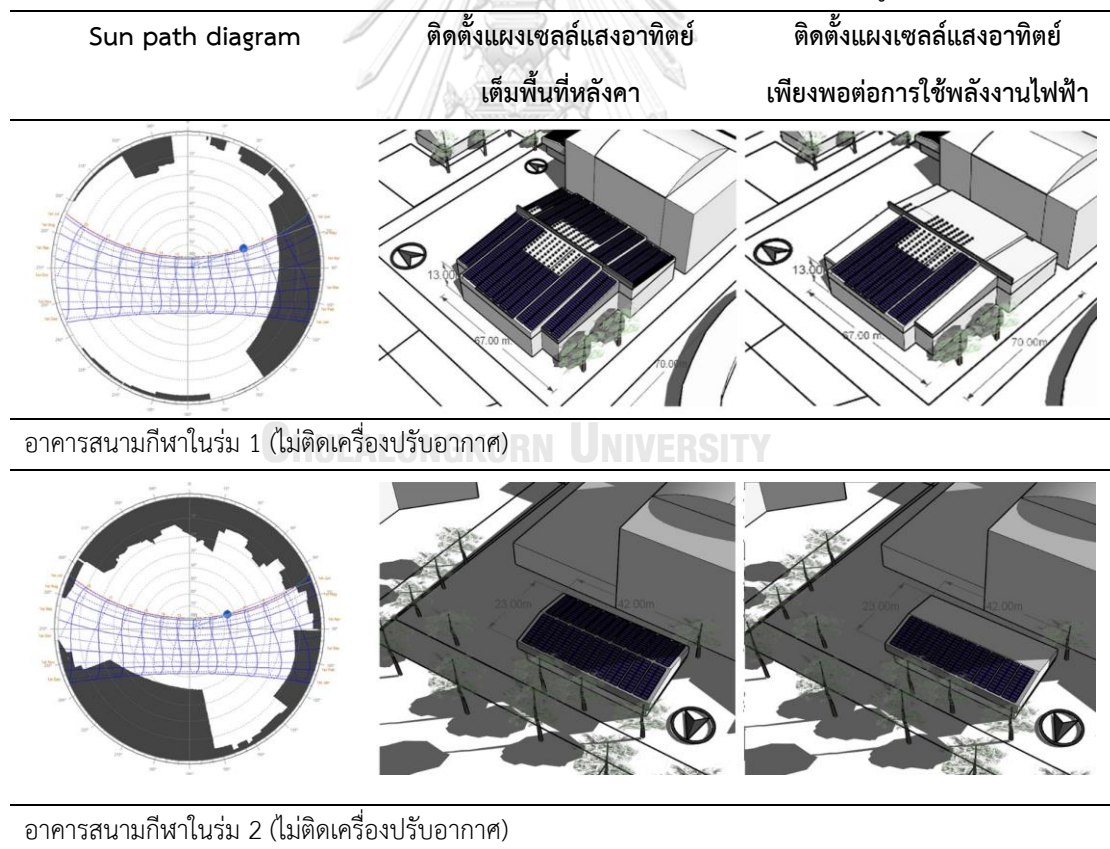
ผลการจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคาและตาดฟ้าของอาคารกรณีศึกษาเพื่อให้ทราบพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม จากผลเฉลี่ยรายปีของ sun path diagram สามารถสรุปพื้นที่และจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่ม โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียงในช่วงเวลา 09:00-15:00 น. ดังแสดงในตารางที่ 3.2



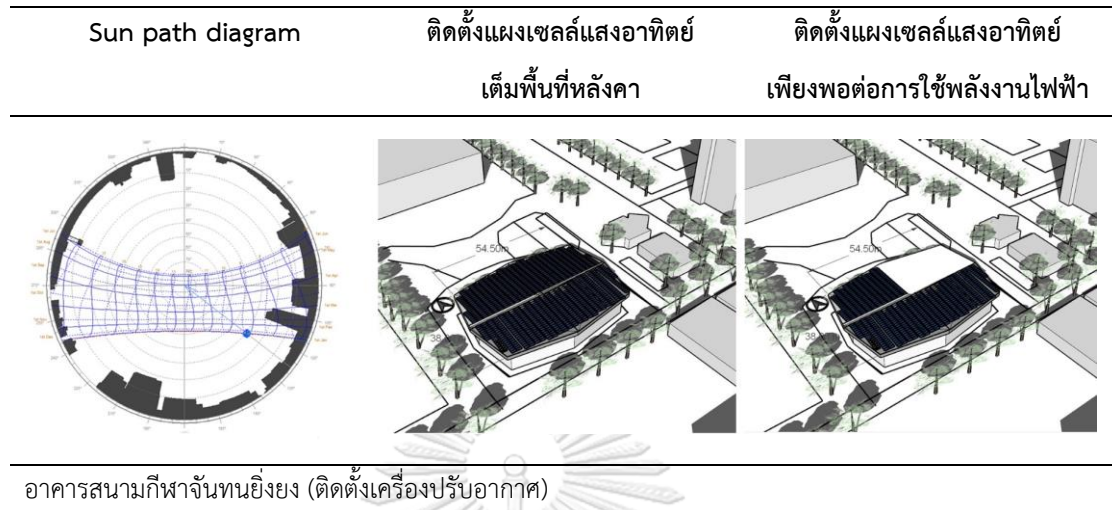
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารในหนึ่งชั่วโมง

การใช้พลังงานในอาคาร	สนามกีฬาในร่ม 1		สนามกีฬาในร่ม 2		สนามกีฬาจันทนยิ่งยง	
	พลังงานไฟฟ้า (W)	การใช้พลังงานต่อพื้นที่ (W/m <sup>2</sup> )	พลังงานไฟฟ้า (W)	การใช้พลังงานต่อพื้นที่ (W/m <sup>2</sup> )	พลังงานไฟฟ้า (W)	การใช้พลังงานต่อพื้นที่ (W/m <sup>2</sup> )
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	31,300.00	5.30	13,310.00	12.80	17,190.00	9.10
ระบบปรับอากาศ	12,820.00	2.20	4,700.00	4.50	99,900.00	52.60
ระบบอื่นๆ	1,180.00	0.20	420.00	0.40	0	0
รวม	49,810.00	8.50	18,430.00	17.70	117,090.00	61.60

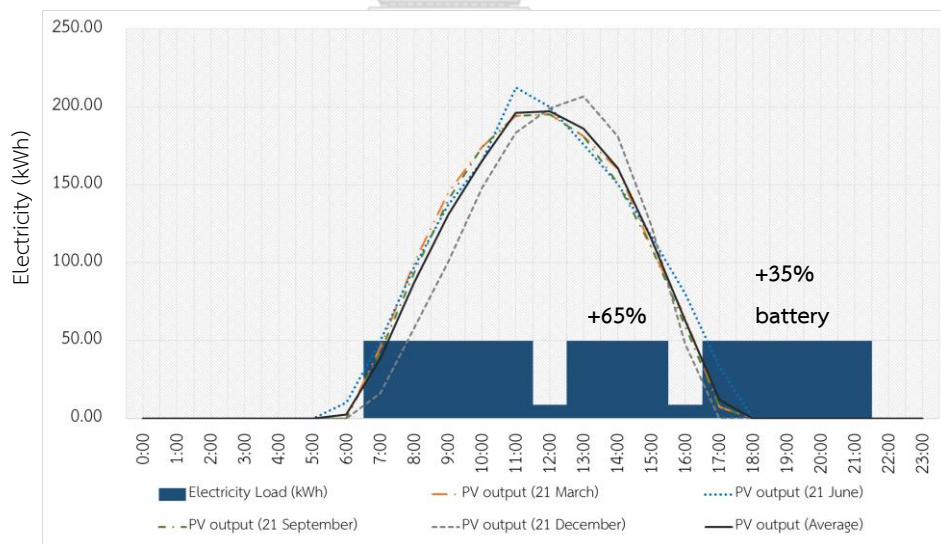
ตารางที่ 3.2 ผลการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงผลร่มเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis 2010 และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ



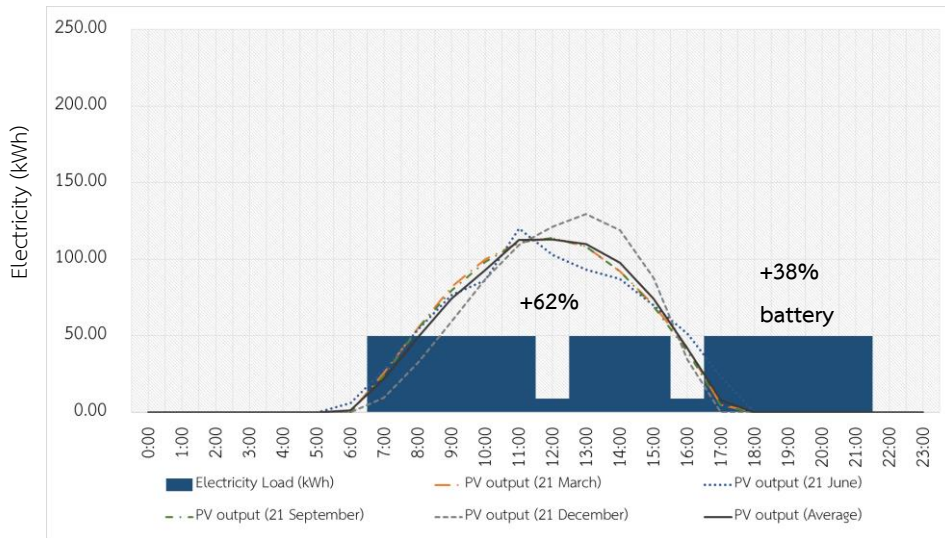
ตารางที่ 3.2 ผลการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงผลร่วมเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis 2010 และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ (ต่อ)



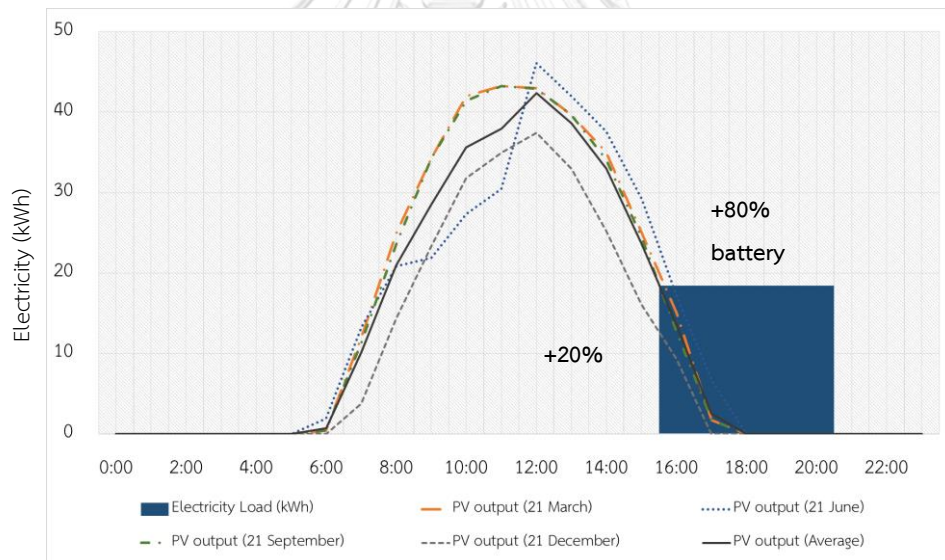
ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของสนามกีฬาในร่ม ในรูปแบบที่ 1 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา และรูปแบบที่ 2 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 3.1-3.6



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วันของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 รูปแบบที่ 1

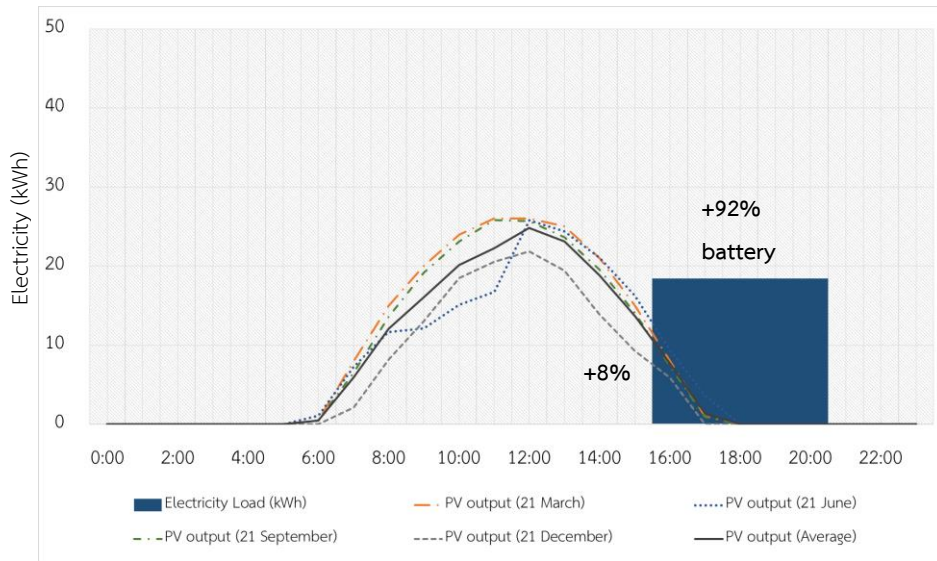


ภาพที่ 3.2 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน  
ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 รูปแบบที่ 2

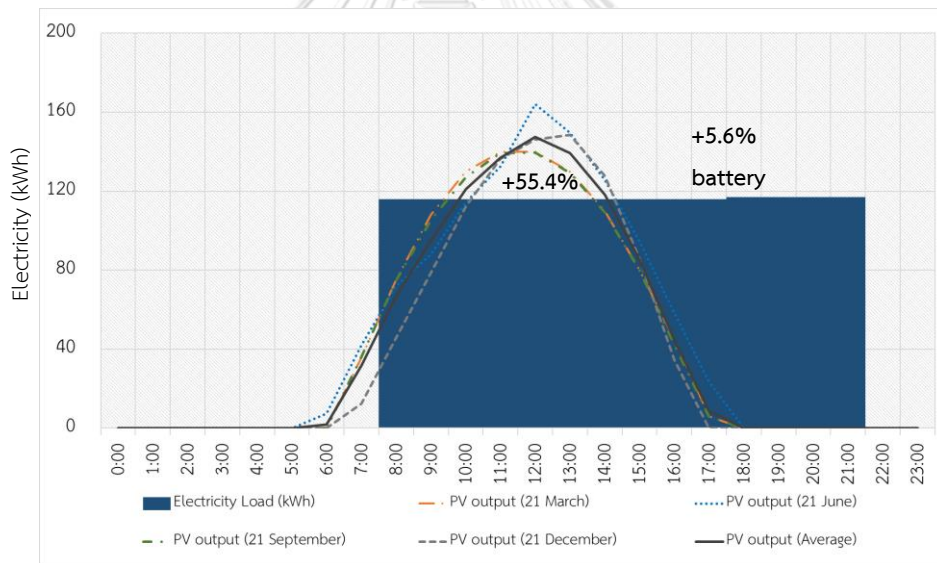


ภาพที่ 3.3 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน  
ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 รูปแบบที่ 1

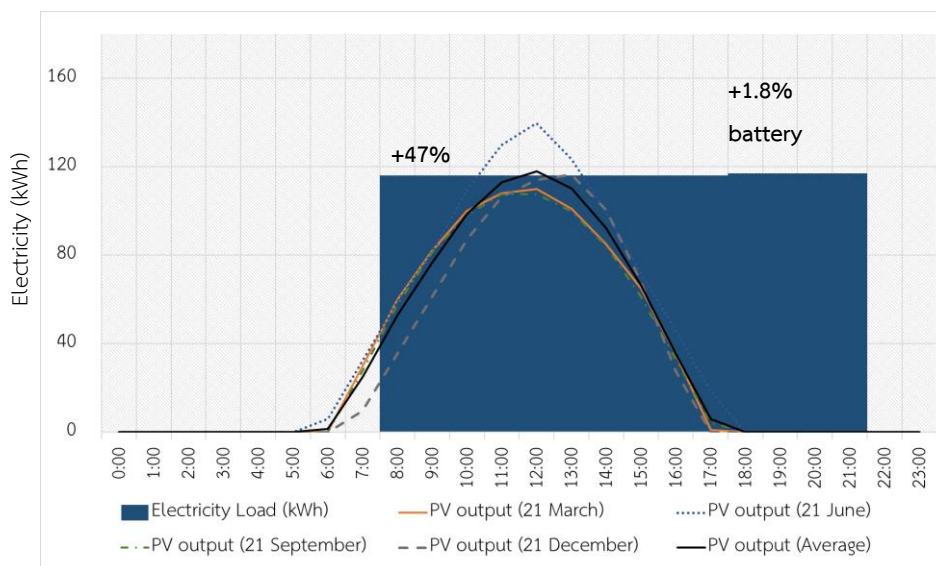




ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน  
ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 รูปแบบที่ 2



ภาพที่ 3.5 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน  
ของอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง รูปแบบที่ 1



ภาพที่ 3.6 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน  
ของอาคารสนามกีฬาจันทน์ยิ่งยง รูปแบบที่ 2

จากการศึกษาวิจัยนำร่องพบว่า อาคารที่เหมาะสมในการลงทุน คือ อาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้งานในช่วงกลางวันและไม่มีเครื่องปรับอากาศภายในสนามและไม่มีแบตเตอรี่สำรอง เนื่องจากต้นทุนมีจำนวนมากถึง 2-3 เท่าของระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่ และในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ควรติดตั้งแบบเพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้าในอาคารจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนลดลง ซึ่งพบว่ามีค่า IRR ที่ 13% ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการใช้งานในช่วงเวลากลางวันคิดเป็น 62% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน มีค่าสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 68% สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 336,579 kWh/ปี ส่วนอาคารที่มีเครื่องปรับอากาศสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการใช้งานคิดเป็น 47% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน ซึ่งน้อยกว่าระบบไม่ปรับอากาศ ดังแสดงผลใน ตารางที่ 3.3 แต่ในทั้งนี้ยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากการสำรวจการใช้งานอาคารเพียง 3 อาคาร จึงควรมีการสำรวจอาคารเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาเป็นแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาสนามกีฬาในร่มต่อไป

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

อาคาร	สนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)		สนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)		สนามกีฬาจันทน์ยิ่งยง (ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	
	รูปแบบที่ 1 ติดตั้งแผง ทั้งหมด บนหลังคา	รูปแบบที่ 2 ติดตั้งแผง พอเพียงการ ใช้งาน	รูปแบบที่ 1 ติดตั้งแผง ทั้งหมด บนหลังคา	รูปแบบที่ 2 ติดตั้งแผง พอเพียงการ ใช้งาน	รูปแบบที่ 1 ติดตั้งแผง ทั้งหมด บนหลังคา	รูปแบบที่ 2 ติดตั้งแผง พอเพียงการ ใช้งาน
พื้นที่หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง (ตารางเมตร)	3,500	2,310	920	500	2,475	1,860
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 340 วัตต์ (แผง)	1,444	794	380	190	960	736
ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp)	491	270	130	65	326	250
ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิต ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/ปี)	566,221	336,579	117,213	73,360	436,133	337,210
ค่าสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ (%)	64%	68%	51.50%	63%	76%	76%
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้ งานในช่วงเวลากลางวัน (%)	65%	62%	20%	8%	55.4%	47%
ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ On- grid system และค่าซ่อมบำรุง ระบบ (ล้านบาท)	18.10	9.95	4.76	2.4	12	9.13
IRR ระบบ On-grid system (%)	11.39%	13.00%	8.11%	11.17%	13.71%	14%
ระยะเวลาคืนทุน ระบบ On-grid system และค่าซ่อมบำรุงระบบ (ปี)	7.6	7	9.6	7.7	6.5	6.4
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้ งานในเวลากลางวันและกลางคืน (%)	100%	100%	100%	100%	61%	48.8%
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ระบบ On-grid system with battery 25 ปี (ล้านบาท)	29.86	22.76	8.54	6.71	16.74	16
IRR ระบบ On-grid system with battery (%)	4.37%	2.56%	1.87%	0.00%	8.84%	6.24%
ระยะเวลาคืนทุน ระบบ On-grid system with battery (ปี)	12.5	16	17	21.7	9.1	11.3

### 3.3 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสํารวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสนามกีฬาในร่มในปัจจุบัน

3.3.1 สํารวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม ได้แก่ ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) รูปทรงของหลังคาอาคาร ข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) มุมเอียงของหลังคาอาคาร (องศา) เพื่อกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) สำหรับการจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยได้ทำการสํารวจอาคารสนามกีฬาในร่มภายในมหาวิทยาลัย ที่มีการใช้งานทางด้านการจัดการเรียนการสอนด้านกีฬา เป็นพื้นที่สนามฝึกซ้อมกีฬา สนามแข่งขันกีฬา พื้นที่สำหรับเช่าจัดงาน และพื้นที่สำนักงาน ที่มีการใช้งานตลอดเวลาทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน มีการใช้งานตลอดทั้งปี เป็นอาคารกรณีศึกษา จำนวนทั้งสิ้น 22 อาคาร โดยแบ่งเป็นอาคารสนามกีฬาในร่มภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 10 อาคาร และอาคารสนามกีฬาในร่มภายในโรงเรียน จำนวน 12 อาคาร ดังแสดงรายชื่อดังตารางที่ 3.4 และภาพทัศนียภาพของอาคารดังแสดงในภาพที่ 3.7

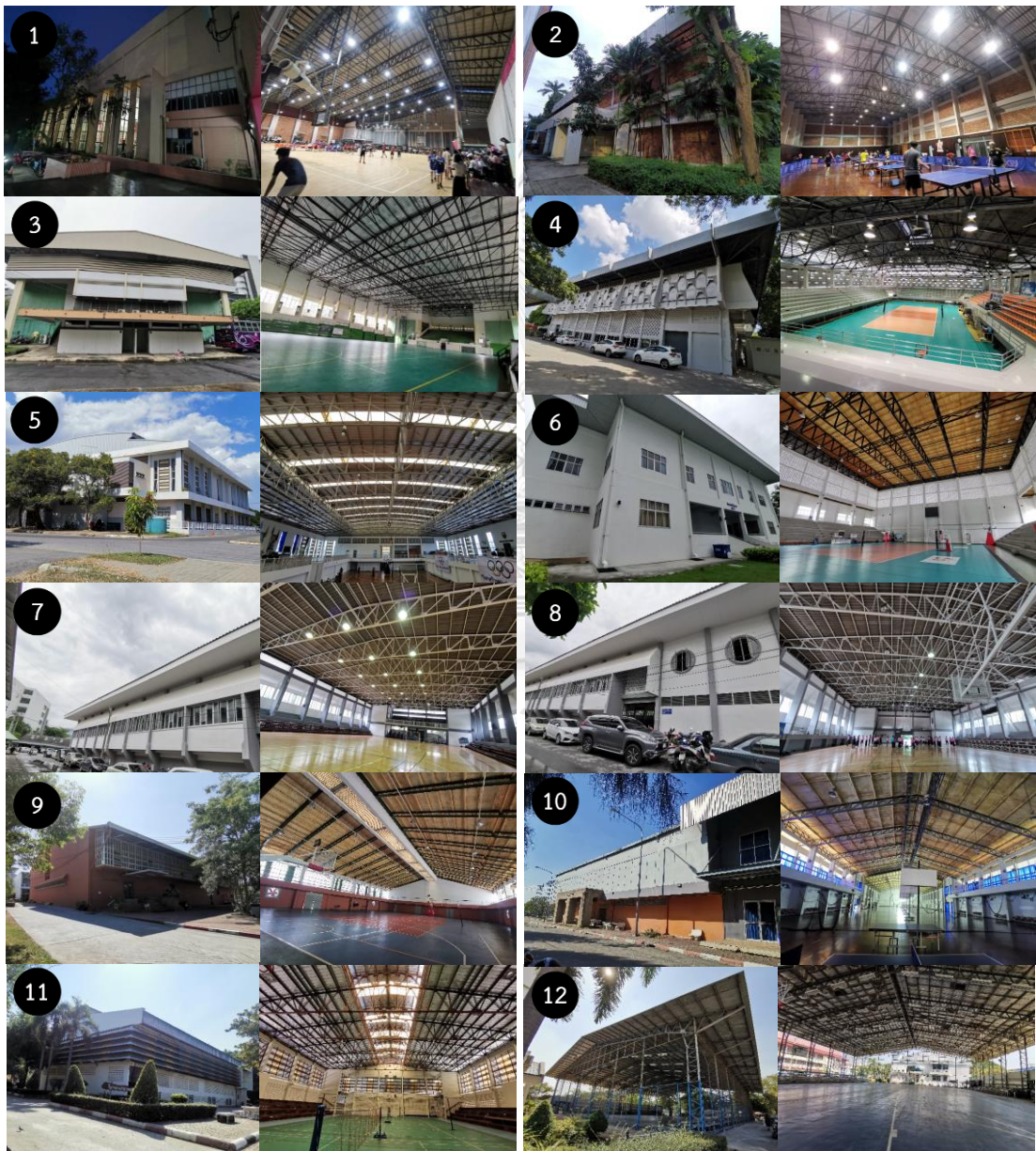
ตารางที่ 3.4 รายชื่ออาคารสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา จำนวน 22 อาคาร

ชื่ออาคารสนามกีฬาในร่ม	ประเภทสถานศึกษา	จังหวัด
1. อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
2. อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
3. อาคารสนามกีฬาจันทน์ยืนยงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
4. โรงยิมโรงเรียนกองทัพอากาศที่ 1	โรงเรียน	กรุงเทพมหานคร
5. โรงยิมโรงเรียนกองทัพอากาศที่ 2	โรงเรียน	กรุงเทพมหานคร
6. โรงยิมเนเซียม 1 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
7. โรงยิมเนเซียม 2 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
8. โรงยิมเนเซียม 4 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
9. โรงยิมเนเซียม 1 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
10. โรงยิมเนเซียม 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	มหาวิทยาลัย	กรุงเทพมหานคร
11. โรงยิม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	มหาวิทยาลัย	พระนครศรีอยุธยา
12. โรงยิม 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	มหาวิทยาลัย	พระนครศรีอยุธยา
13. อาคารพลศึกษาโรงเรียนสาธิตมัธยมมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	โรงเรียน	พระนครศรีอยุธยา
14. อาคารพลศึกษา โรงเรียนชติยะวงษา	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด
15. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการร้อยเอ็ด	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด
16. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเสลภูมิ	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด
17. อาคารพลศึกษา โรงเรียนธวัชบุรีวิทยาคม	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด
18. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	โรงเรียน	กรุงเทพมหานคร



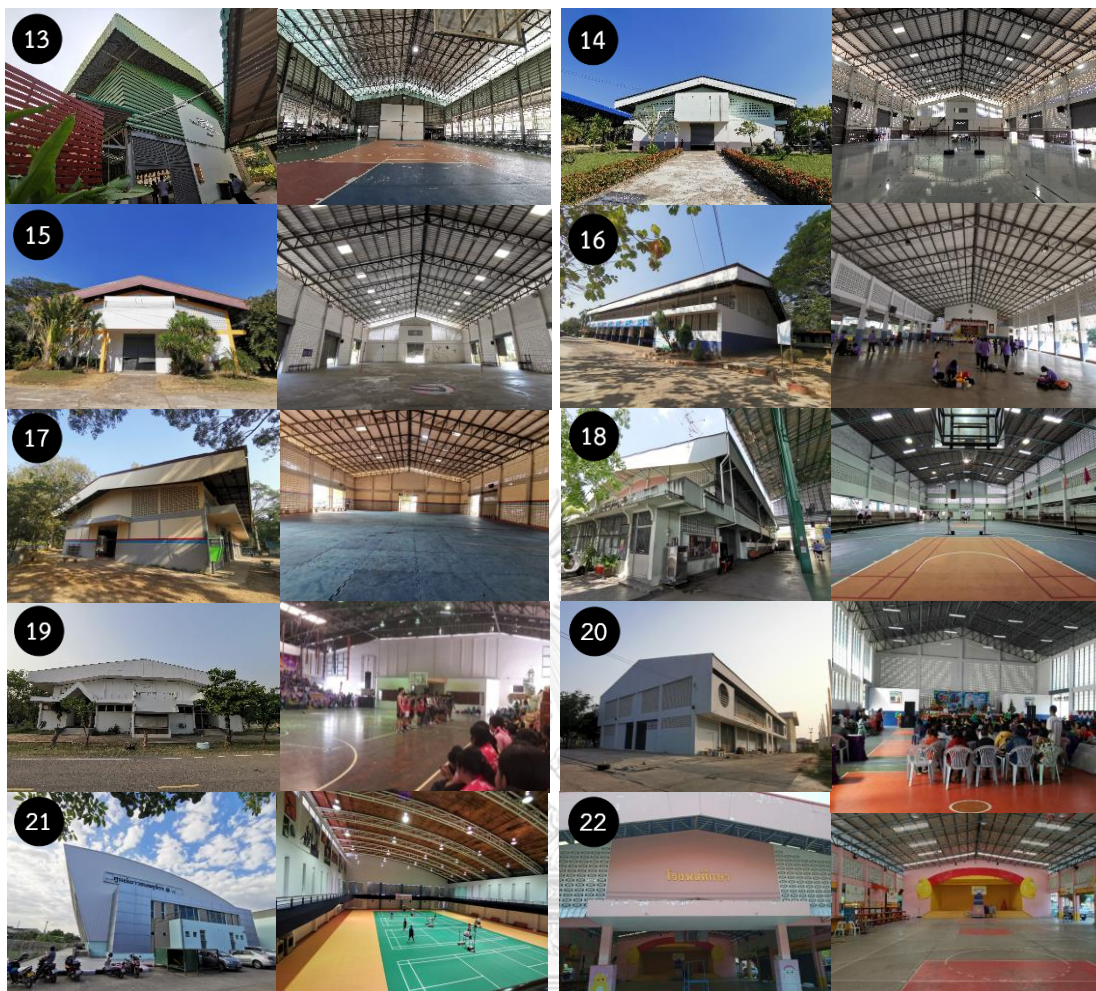
ตารางที่ 3.4 รายชื่ออาคารสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา จำนวน 22 อาคาร (ต่อ)

ชื่ออาคารสนามกีฬาในร่ม	ประเภทสถานศึกษา	จังหวัด
19. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 1	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด
20. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 2	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด
21. ศูนย์เยาวชนจตุจักร	โรงเรียน	กรุงเทพมหานคร
22. อาคารพลศึกษา โรงเรียนสตรีศึกษา	โรงเรียน	ร้อยเอ็ด



ภาพที่ 3.7 ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกและทัศนียภาพภายในจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา





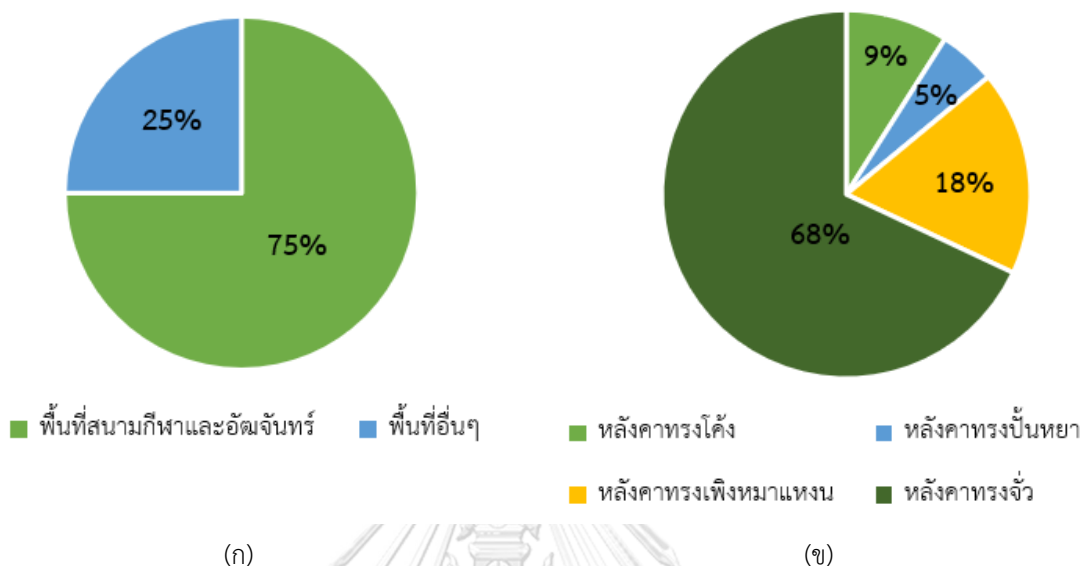
ภาพที่ 3.7 ภาพถ่ายทัศนียภาพภายนอกและทัศนียภาพภายในจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษา (ต่อ)

จากการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา ทั้งสิ้นจำนวน 22 อาคาร พบว่า

- อาคารสนามกีฬาในร่มมีขนาดพื้นที่อาคารตั้งแต่ 700-4,100 ตารางเมตร ภายในอาคารประกอบไปด้วยพื้นที่สนามกีฬา พื้นที่อฒจันทร์ ห้องน้ำ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า สำนักงาน ห้องเก็บของ และอื่นๆ จากการหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่อาคารทั้งหมด 22 อาคาร พบว่า พื้นที่สนามกีฬาและพื้นที่อฒจันทร์ มีค่าเฉลี่ย 75% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด และพื้นที่อื่นๆ มีค่าเฉลี่ย 25% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 3.8

- รูปทรงของหลังคาอาคารมีทั้งหมด 4 รูปทรง ได้แก่ หลังคาอาคารทรงจั่ว หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน หลังคาอาคารทรงโค้ง และหลังคาอาคารทรงปั้นหย้า มุมเอียงของหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่มตั้งแต่ 2-15 องศา จากการสำรวจ พบหลังคาทรงเพิงหมาแหงน จำนวน 4 อาคาร หรือ 18% ของอาคารที่ทำการสำรวจทั้งหมด หลังคาทรงจั่ว จำนวน 15 อาคาร หรือ 68% ของอาคารที่

ทำการสำรวจทั้งหมด หลังคาทรงโค้ง 2 อาคาร หรือ 9% ของอาคารที่ทำการสำรวจทั้งหมด และ หลังคาทรงปั้นหยา 1 อาคาร หรือ 5% ของอาคารที่ทำการสำรวจทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 3.8

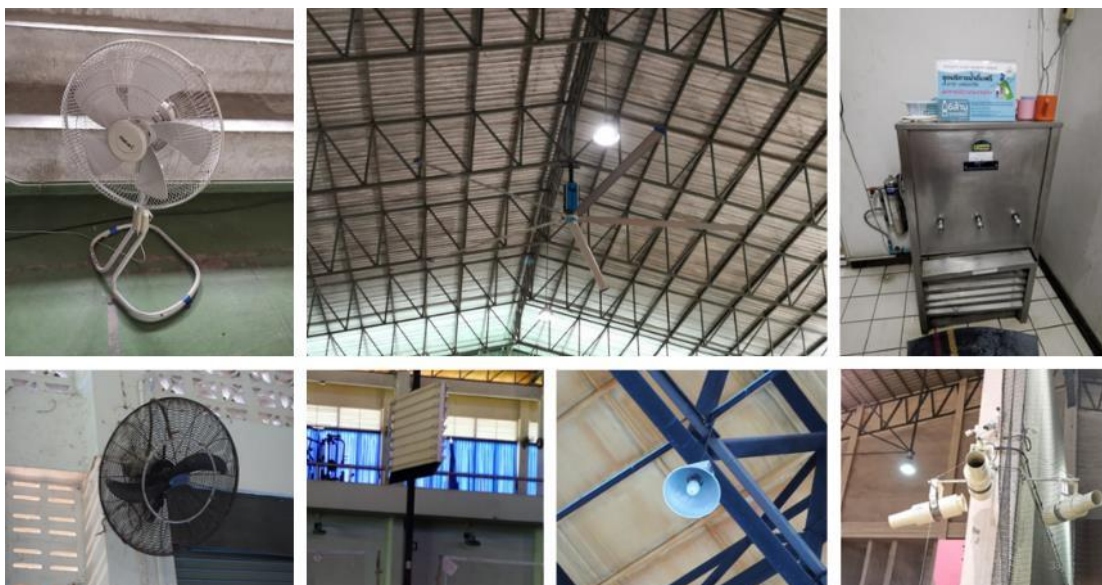


ภาพที่ 3.8 (ก) แผนภูมิแสดงสัดส่วนพื้นที่อาคารสนามกีฬาในร่ม (ข) แผนภูมิแสดงสัดส่วนรูปทรงของหลังคาสนามกีฬาในร่ม

- การติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในพื้นที่สนาม จากการสำรวจพบว่ามีเพียง 1 อาคารที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบริเวณสนามกีฬา นอกเหนือจากนั้นอาคารอื่นๆ จำนวน 21 อาคารไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบริเวณสนามกีฬา

3.3.2 สำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี พ.ศ. 2562 เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม จากการสำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562 ทั้งสิ้นจำนวน 22 อาคาร สามารถแบ่งช่วงเวลาการใช้งานส่วนใหญ่ของอาคารสนามกีฬาในร่มเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.-18:00 น. ระยะเวลาการใช้งาน 11 ชั่วโมงต่อวัน และช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 07:00 น.-22:00 น. ระยะเวลาการใช้งาน 15 ชั่วโมงต่อวัน

3.3.3 สำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด จากการนับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงและจากการนับจำนวนจากแบบรายการระบบไฟฟ้าของอาคาร เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารและวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.9 โดยจำแนกตามลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละระบบทั้งระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในของอาคารสนามกีฬาในร่ม

### 3.4 การกำหนดตัวแปรที่จะนำมาศึกษา

จากการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร สามารถกำหนดตัวแปรที่ได้ทำการศึกษา ดังนี้

#### 3.4.1 ตัวแปรต้น

##### 3.4.1.1 ตัวแปรต้นด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่

- พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)
- พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร)
- รูปทรงหลังคาอาคาร ได้แก่ หลังคาทรงจั่ว หลังคาทรงเพิงหมาแหงน หลังคาทรงโค้งและหลังคาทรงปั้นหย่า
- มุมเอียงหลังคา ได้แก่ มุมเอียง 5 องศา มุมเอียง 10 องศา และมุมเอียง 15 องศา
- ทิศทางการวางเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

- ตารางการใช้งานอาคาร ได้แก่ ช่วงกลางวัน 07:00 น.-18:00 น. และช่วงกลางคืน-กลางคืน 07:00 น.-22:00 น.

- ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร (kWh)
- ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึกหรือโพลีคริสตัลไลน์ (Poly crystalline) ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 340 วัตต์ต่อแผง

- ชนิดของแบตเตอรี่ ได้แก่ แบบ deep-cycle

3.4.1.2 ตัวแปรต้นด้านการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร ได้แก่

- พื้นที่จำลองแสงธรรมชาติ (ตารางเมตร)

- พื้นที่ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (ตารางเมตร)

- ตำแหน่งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา

- รูปทรงหลังคาอาคาร ได้แก่ หลังคาทรงจั่ว หลังคาทรงเพิงหมาแหงน หลังคาทรง

โค้งและหลังคาทรงปั้นหย่า

- มุมเอียงหลังคา ได้แก่ มุมเอียง 5 องศา มุมเอียง 10 องศา และมุมเอียง 15 องศา

- ทิศทางการวางอาคารในการจำลองแสงธรรมชาติ 4 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศ-

ตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก

- วัสดุแผ่นโปร่งแสงสีขาวขุ่นเพื่อเป็นช่องแสงธรรมชาติบนหลังคามีค่าสะท้อนแสง

10% และค่าการส่องผ่าน 53%

### 3.4.2 ตัวแปรตาม

3.4.2.1 ตัวแปรตามด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่

- ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh)

- ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Performance ratio)

- ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)

- ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

3.4.2.2 ตัวแปรตามด้านการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร ได้แก่

- ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

- ช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภท

สนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา

## 3.5 การกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building)

จากการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร สามารถกำหนดรายละเอียดของแบบจำลองอาคารต้นแบบได้ดังนี้

3.5.1 กำหนดขนาดอาคารและขนาดพื้นที่ใช้สอย ดังแสดงในภาพที่ 3.10 ดังนี้

3.5.1.1 กำหนดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

- พื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์ มีขนาดพื้นที่ 75% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด

- พื้นที่อื่นๆ ประกอบไปด้วย สำนักงาน ห้องน้ำ ห้องแต่งตัว ห้องพยาบาล ห้องเก็บ

ของ และอื่นๆ มีขนาดพื้นที่ 25% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด

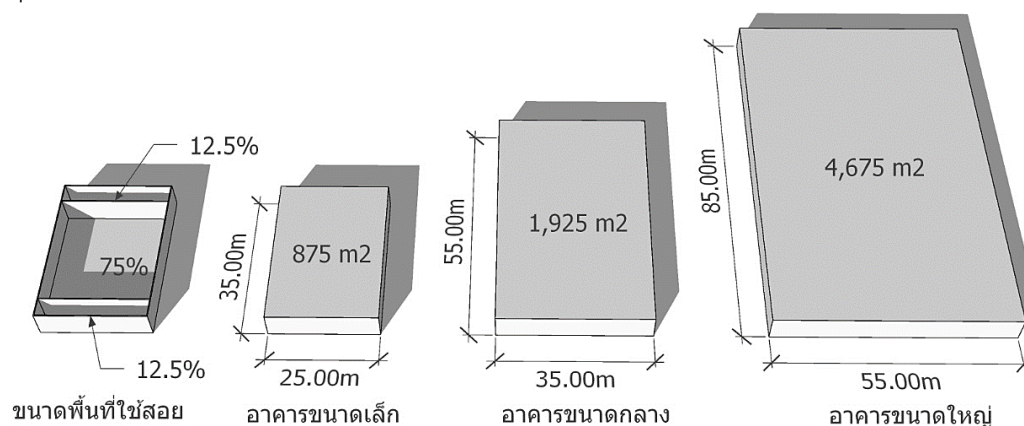


3.5.1.2 กำหนดแบบจำลองอาคาร 3 ขนาด โดยคิดขนาดจากจำนวนสนามกีฬา โดยอาคารขนาดเล็กประกอบด้วย 1 สนามกีฬา อาคารขนาดกลางประกอบด้วย 2 สนามกีฬา และอาคารขนาดใหญ่ประกอบด้วย 3 สนามกีฬา โดยมีขนาดอาคารและขนาดพื้นที่ใช้สอย ดังนี้

- อาคารขนาดเล็ก มีขนาดพื้นที่ใช้สอย 875 ตารางเมตร ขนาดอาคาร กว้าง 25 เมตร ยาว 35 เมตร มีขนาดพื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์ 656.25 ตารางเมตร และขนาดพื้นที่อื่นๆ 218.75 ตารางเมตร

- อาคารขนาดกลาง มีขนาดพื้นที่ใช้สอย 1,925 ตารางเมตร ขนาดอาคาร กว้าง 35 เมตร ยาว 55 เมตร มีขนาดพื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์ 1,443.75 ตารางเมตร และขนาดพื้นที่อื่นๆ 481.25 ตารางเมตร

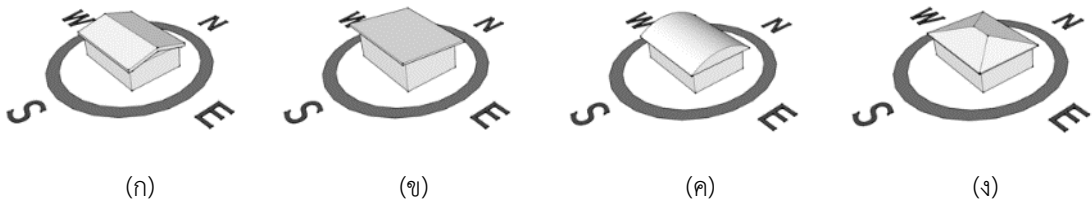
- อาคารขนาดใหญ่ มีขนาดพื้นที่ใช้สอย 4,675 ตารางเมตร ขนาดอาคาร กว้าง 55 เมตร ยาว 85 เมตร มีขนาดพื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์ 3,506.25 ตารางเมตร และขนาดพื้นที่อื่นๆ 1,168.75 ตารางเมตร



ภาพที่ 3.10 ภาพสามมิติแสดงขนาดพื้นที่ใช้สอยของอาคารและขนาดอาคาร

### 3.5.2 กำหนดรูปทรงหลังคา

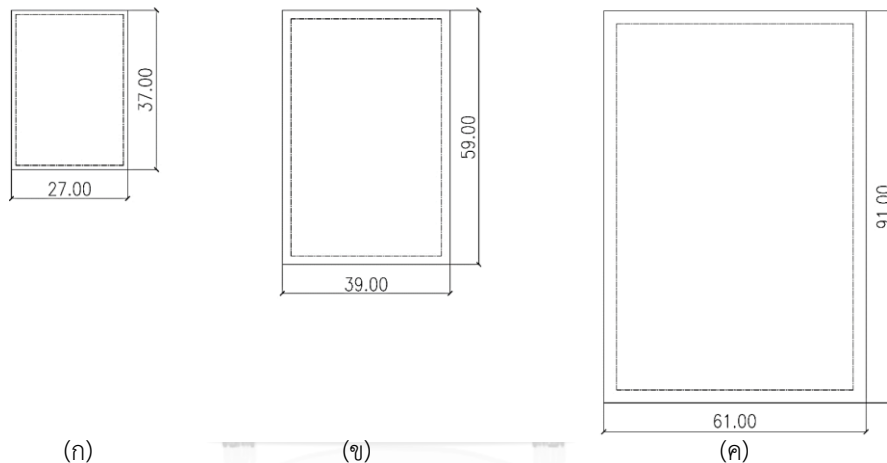
จากการสำรวจอาคารสนามกีฬาในร่ม 22 อาคาร พบว่า อาคารมี 4 รูปทรงหลังคา ดังนี้ หลังคาอาคารทรงจั่ว หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน หลังคาอาคารทรงโค้ง และหลังคาอาคารทรงปั้นหย่า ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ภาพรูปทรงหลังคา (ก) หลังคาทรงจั่ว (ข) หลังคาทรงเพิงหมาแหงน  
(ค) หลังคาทรงโค้ง และ (ง) หลังคาทรงปั้นหย้า

### 3.5.3 กำหนดระยะยื่นหลังคา ดังนี้

- อาคารขนาดเล็ก กำหนดระยะยื่นหลังคา 1 เมตร
- อาคารขนาดกลาง กำหนดระยะยื่นหลังคา 2 เมตร
- อาคารขนาดใหญ่ กำหนดระยะยื่นหลังคา 3 เมตร



ภาพที่ 3.12 ผังหลังคา (ก) อาคารขนาดเล็ก (ข) อาคารขนาดกลาง และ (ค) อาคารขนาดใหญ่

### 3.5.4 กำหนดมุมเอียงหลังคา

จากการสำรวจอาคารสนามกีฬาในร่ม 22 อาคาร พบว่า อาคารสนามกีฬาในร่มมีมุมเอียงหลังคาตั้งแต่ 2-15 องศา จึงกำหนดขนาดมุมเอียงหลังคา ดังนี้ มุมเอียงหลังคา 5 องศา มุมเอียงหลังคา 10 องศา และมุมเอียงหลังคา 15 องศา โดยกำหนดความสูงของอาคารจากพื้นที่ชั้นที่ 1 ถึงบริเวณปลายชายคาของหลังคาอาคารที่ระยะความสูง 7 เมตร ดังแสดงในผังแสดงแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร

มุมเอียง	อาคารขนาดเล็ก	อาคารขนาดกลาง	อาคารขนาดใหญ่
หลังคาทรงจั่ว			
5 องศา			
10 องศา			
15 องศา			
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน			
5 องศา			
10 องศา			
15 องศา			
หลังคาทรงโค้ง			
5 องศา			
10 องศา			
15 องศา			

ตารางที่ 3.5 แบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร (ต่อ)

มุมเอียง	อาคารขนาดเล็ก	อาคารขนาดกลาง	อาคารขนาดใหญ่
หลังคาทรงปั้นหยา			
5 องศา			
10 องศา			
15 องศา			

### 3.5.5 กำหนดขนาดพื้นที่ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight)

กำหนดขนาดพื้นที่ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) ที่ร้อยละ 15 ของพื้นที่หลังคาสนามกีฬาและอิมจันทร์ ทั้งนี้ขนาดช่องแสงธรรมชาติบนหลังคาอาคารที่เหมาะสมควรมีขนาดร้อยละ 10-25 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด ซึ่งจะมีศักยภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร (ณวิทย์ มีสาโท, 2554)

### 3.6 ทำการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

ทำการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคารด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 เพื่อหาช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) โดยค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

#### 3.6.1 กำหนดห้องจำลองในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

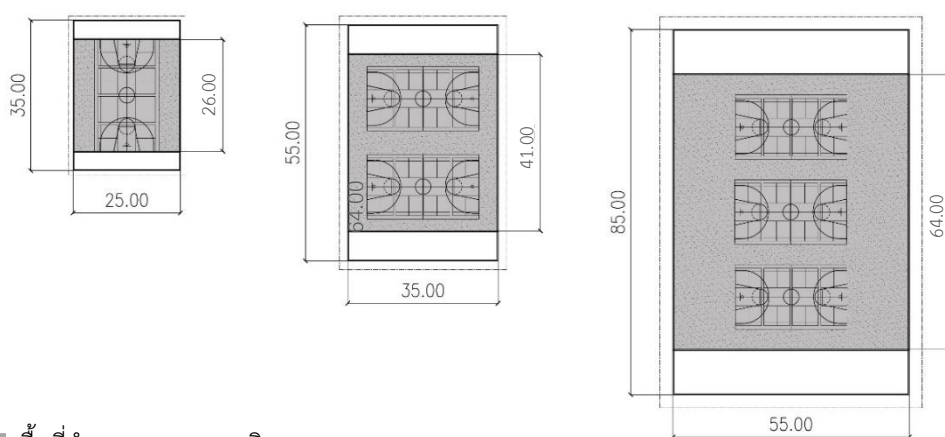
##### 3.6.1.1 ขนาดของห้องจำลอง

เนื่องจากการจำลองแสงธรรมชาติในอาคารสนามกีฬาในร่มนั้นจะทำการจำลองเฉพาะพื้นที่สนามกีฬาและส่วนอิมจันทร์ โดยมีขนาดพื้นที่ 75% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ดังแสดงใน



ภาพที่ 3.13 ประกอบด้วย อาคารขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา 10 องศา และ 15 องศา โดยมีห้องจำลอง 3 ขนาด ได้แก่

- อาคารขนาดเล็ก ขนาด กว้าง 25 เมตร ยาว 26 เมตร
- อาคารขนาดกลาง ขนาด กว้าง 35 เมตร ยาว 41 เมตร
- อาคารขนาดใหญ่ ขนาด กว้าง 55 เมตร ยาว 64 เมตร



พื้นที่จำลองแสงธรรมชาติ

(ก)

(ข)

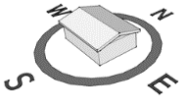


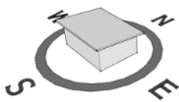

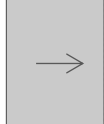

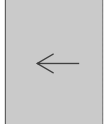


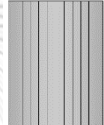


(ค)

ภาพที่ 3.13 ผังพื้นแสดงห้องจำลองในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

3.6.1.2 กำหนดทิศทางการวางอาคารในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร ทั้งหมด 4 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก เนื่องจาก ทิศทั้ง 4 เป็นทิศหลักที่มีค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ใกล้เคียงกับทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จึงกำหนดการจำลองการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารในทิศนี้ ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ได้แก่

- หลังคาทรงจั่ว กำหนดทิศทางการวางอาคารในการทดลอง ได้แก่ 1) ทิศเหนือและทิศใต้ และ 2) ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก
- หลังคาทรงเพิงหมาแหงน กำหนดทิศทางการวางอาคารในการทดลอง ได้แก่ 1) ทิศเหนือ 2) ทิศใต้ 3) ทิศตะวันออก และ 4) ทิศตะวันตก
- หลังคาทรงโค้ง กำหนดทิศทางการวางอาคารในการทดลอง ได้แก่ 1) ทิศเหนือและทิศใต้ และ 2) ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก
- หลังคาทรงปั้นหยา กำหนดทิศทางการวางอาคารในการทดลอง ได้แก่ ทิศเหนือทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

ตารางที่ 3.6 ทิศทางการวางอาคารในการจำลองแสงธรรมชาติ

รูปทรงหลังคาอาคาร	ทิศทางการวางอาคาร			
หลังคาทรงจั่ว	(N)	(N)		
				
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน	(N)	(N)	(N)	(N)
				
หลังคาทรงโค้ง	(N)	(N)		
				
หลังคาทรงปั้นหย่า	(N)			
				

### 3.6.2 กำหนดรายละเอียดวัสดุภายในห้องจำลองอาคารสนามกีฬาในร่ม

จากการสำรวจอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวนทั้งสิ้น 22 อาคาร พบว่า วัสดุพื้น วัสดุผนังและฝ้า ส่วนใหญ่เป็นดังนี้

พื้น	วัสดุที่ใช้	พื้นยาง
ผนัง	วัสดุที่ใช้	วัสดุผนังฉาบปูนเรียบทาสีขาว
ฝ้า	วัสดุที่ใช้	วัสดุหลังคามะทัลชีท

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าสะท้อนแสงของ วัสดุพื้น ผนังและฝ้า สำหรับใช้ในการทดลอง ได้แก่

- วัสดุพื้นยาง มีค่าสะท้อนแสง 28% โดยอ้างอิงจากค่าวัสดุมาตรฐานจาก DIALux (2020)
- วัสดุผนังฉาบปูนเรียบทาสีขาว มีค่าสะท้อนแสง 50% โดยอ้างอิงจากค่าวัสดุมาตรฐานจาก DIALux (2020)

- วัสดุฝ้าเป็นหลังคาเมทัลชีท มีค่าสะท้อนแสง 60% โดยอ้างอิงจากค่าวัสดุมาตรฐาน จาก DIALux (2020)

- วัสดุแผ่นโปร่งแสงสีขาวขุ่น เพื่อเป็นหลังคา Skylight มีค่าสะท้อนแสง 10% และ ค่าการส่องผ่าน 53% โดยอ้างอิงจากรายการผลิตภัณฑ์แผ่นโปร่งแสง (เอสซีจี, 2559)

### 3.6.3 กำหนดวิธีการและขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล ปริมาณแสงและประสิทธิภาพการกระจายแสง จากการคำนวณด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 โดยกำหนดค่าต่างๆที่ใช้ ดังนี้

3.6.3.1 กำหนดจุดเพื่อวัดค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยแต่ละจุดมีระยะห่างทุกๆ 2.50 เมตร ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ และทิศตะวันออก-ตะวันตก กำหนดจุดวัดบนระนาบพื้นสนามที่มีความสูง  $\pm 0.00$  เมตร เนื่องจากระดับความสูงที่  $\pm 0.00$  เมตร มีเส้นขอบสนามกีฬา และอยู่ห่างจากระดับ 1.50 เมตร ส่งผลให้มีโอกาสที่ความส่องสว่างจะน้อยกว่าในระดับที่ 1.50 เมตร โดยอ้างอิงจาก ศรีเชียร ตั้งกมลสุข (2556)

3.6.3.2 กำหนดวันในการทดสอบประสิทธิภาพของแสงทั้งสิ้น 4 วัน ได้แก่

- วันที่ 21 มีนาคม (Vernal Equinox) เนื่องจาก เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากที่สุด

- วันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice) เนื่องจาก เป็นวันที่ซีกโลกเหนือเบนเข้าสู่ดวงอาทิตย์มากที่สุด

- วันที่ 21 กันยายน (Autumnal Equinox) เนื่องจาก เป็นวันที่ดวงอาทิตย์ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากที่สุด

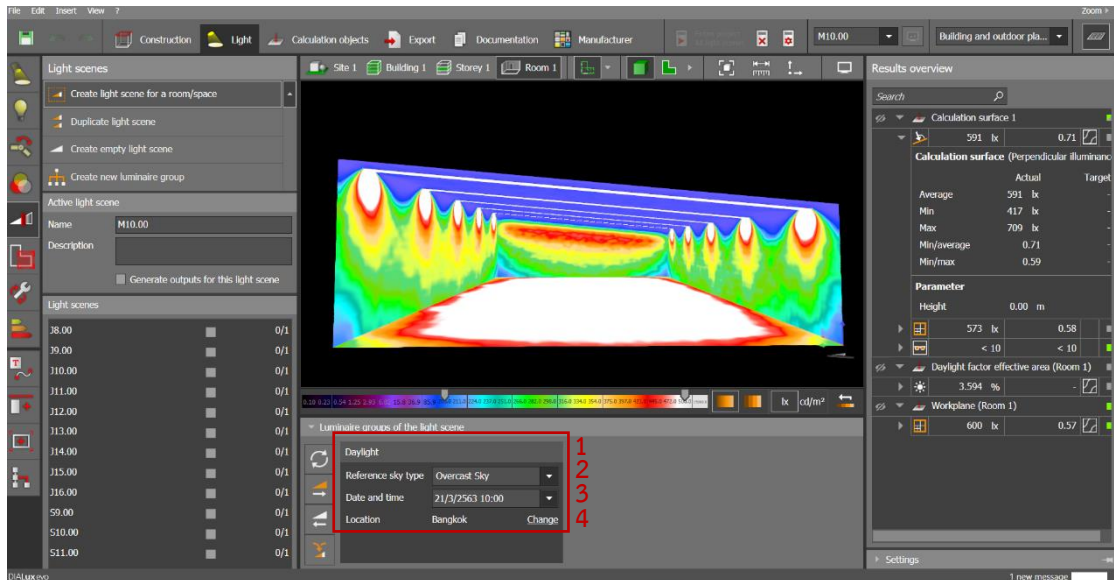
- วันที่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice) เนื่องจาก เป็นวันที่ซีกโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด

3.6.3.3 กำหนดการตั้งค่าสภาพท้องฟ้าเป็นแบบ Overcast Sky ที่มีสภาพท้องฟ้าปกคลุมไปด้วยเมฆเนื่องจาก สภาพท้องฟ้าในประเทศไทยมีลักษณะไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

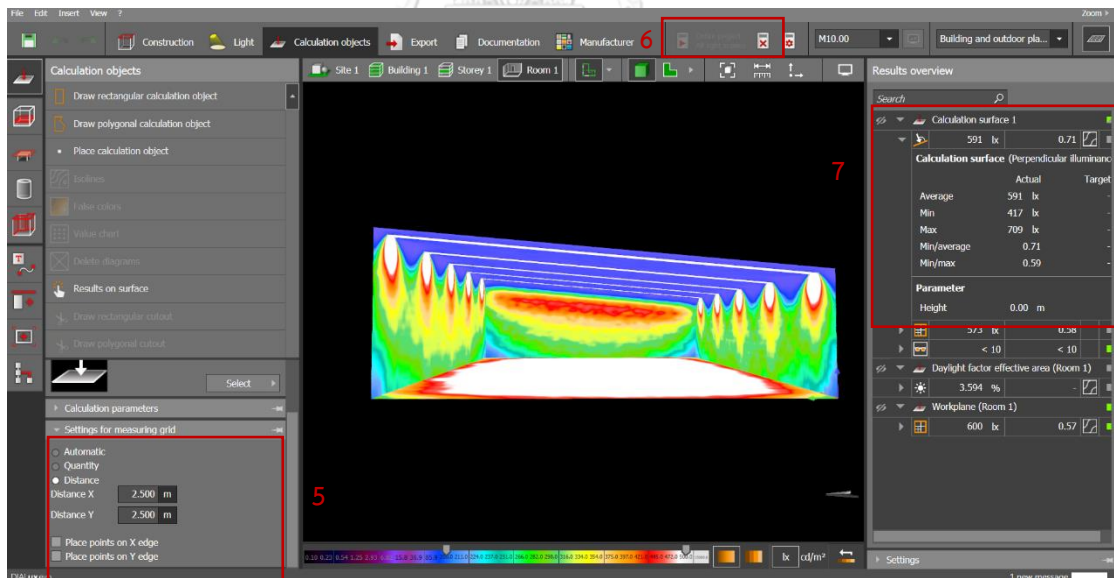
3.6.3.4 กำหนดการจำลองในเวลา 08:00 น. – 16:00 น. ของวันจำลอง 4 ฤดูกาล เพื่อหาช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างและความสม่ำเสมอผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) โดยค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6

- การตั้งค่าโปรแกรม DIALux evo 8.2 ได้แก่ 1) ตั้งค่าการจำลองเป็นแสงธรรมชาติ เลือก Daylight 2) ตั้งค่าท้องฟ้า แบบ Overcast sky 3) ตั้งค่าวันที่ ตามวัน 4 ฤดูกาล 4) ตั้งค่า

สถานที่จำลอง เป็นกรุงเทพมหานคร 5) ตั้งค่าจุดเพื่อวัดค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง โดยแต่ละจุดมีระยะห่างทุกๆ 2.50 เมตร 6) ทำการจำลองแสง และ 7) แสดงผลการจำลอง



ภาพที่ 3.14 การตั้งค่าโปรแกรม Dialux



ภาพที่ 3.15 การตั้งค่าโปรแกรม Dialux และการแสดงผลการจำลอง

### 3.7 ทำการสรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาใหม่

ทำการสรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาใหม่จากแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) โดยกำหนดให้พื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอัฒจันทร์ไม่มีการติดตั้ง

เครื่องปรับอากาศ และทำการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานงานไฟฟ้าในอาคารของอาคารสนามกีฬาในร่ม โดยแบ่งอาคารต้นแบบเป็น 2 กรณี ได้แก่

3.7.1 อาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight)

3.7.2 อาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีที่ 2 ติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) ในกรณีติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) โดยทำการคำนวณหากลบจำนวนชั่วโมงและพลังงานไฟฟ้าที่สามารถใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารของระบบไฟฟ้าส่องสว่างบริเวณพื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์จากความต้องการพลังงานไฟฟ้าอาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีที่ 1

### 3.8 ทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3.8.1 ทำการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่มจากแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) ทั้ง 36 รูปแบบอาคาร โดยแบ่งอาคารต้นแบบเป็น 2 กรณี ได้แก่

3.8.1.1 อาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีที่ 1 โดยกำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปทรงหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่

-รูปแบบที่ 1 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.– 18:00 น. ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model version 2018.11.11 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงให้ได้มากที่สุด

- รูปแบบที่ 2 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน เวลา 07:00 น.– 22:00 น. ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model version 2018.11.11 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงให้ได้มากที่สุด

- รูปแบบที่ 3 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา

- รูปแบบที่ 4 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา

3.8.1.2 อาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีที่ 2 กำหนดติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) โดยกำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปทรงหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปแบบ ที่ได้จากการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารที่ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอนเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.– 18:00 น. ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model version 2018.11.11 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงให้ได้มากที่สุด

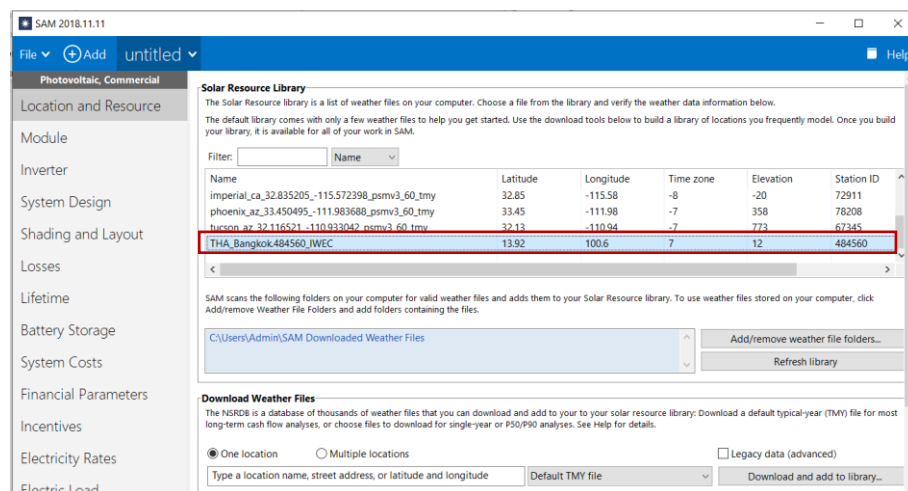
- รูปแบบที่ 2 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอนเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน เวลา 07:00 น.– 22:00 น. ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model version 2018.11.11 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงให้ได้มากที่สุด

- รูปแบบที่ 3 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทั้งหมด โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา

- รูปแบบที่ 4 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาทั้งหมด โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา

3.8.2 คำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 (National Renewable Energy Laboratory, 2018) โดยทำการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรายวันและรายปี จากนั้นนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาหักลบค่าฝุ่นละอองและสิ่งที่มีารบกวนจากการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 7% โดยอ้างอิงจากข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จริงจากอาคารจามจุรี 5 สำนักบริหารระบบกายภาพจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย (2561) โดยมีข้อกำหนด ดังนี้

- กำหนดใช้ไฟล์สภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ไฟล์ THA\_Bangkok.484560\_IWEC



ภาพที่ 3.16 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้งานไฟล์สภาพอากาศ

- กำหนดใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึกหรือโพลีคริสตัลไลน์ (Poly crystalline) ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 340 วัตต์ต่อแผง ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2005 x 1001 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560) โดยจากโปรแกรมเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ REC Solar รุ่น REC340TP 72 BLK

Name	Technology	Bifacial	STC	PTC	A <sub>c</sub>
REC Solar REC340PEM 72 BLK	Mono-c-Si	0	340.200000	306.900000	2.007000
REC Solar REC340PEM 72 XV	Mono-c-Si	0	340.200000	306.900000	2.007000
REC Solar REC340PEM 72 XV BLK	Mono-c-Si	0	340.200000	306.900000	2.007000
REC Solar REC340TP 72	Multi-c-Si	0	340.340000	309.300000	1.950000
REC Solar REC340TP 72 BLK	Multi-c-Si	0	340.340000	309.300000	2.007000
REC Solar REC340TP 72 BLK Q2	Multi-c-Si	0	340.340000	309.300000	2.007000
REC Solar REC340TP 72 BLK Q3	Multi-c-Si	0	340.340000	309.300000	2.007000
REC Solar REC340TP 72 Q2	Multi-c-Si	0	340.340000	309.300000	2.007000

Module Characteristics at Reference Conditions	
Reference conditions: Total Irradiance = 1000 W/m <sup>2</sup> , Cell temp = 25 C	
Nominal efficiency	16.9576 %
Maximum power (P <sub>mp</sub> )	340.340 Wdc
Max power voltage (V <sub>mp</sub> )	38.5 Vdc
Max power current (I <sub>mp</sub> )	8.8 Adc
Open circuit voltage (V <sub>oc</sub> )	46.3 Vdc
Short circuit current (I <sub>sc</sub> )	9.3 Adc
Temperature coefficients	
	-0.460 %/°C
	-0.350 %/°C
	0.050 %/°C
Bifacial Specifications	
<input type="checkbox"/> Module is bifacial	
Transmission fraction	0.013 0-1
Bifaciality	0.65 0-1
Ground clearance height	1 m




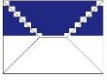




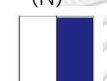
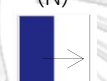
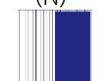
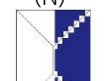




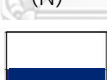

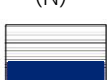
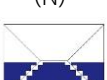




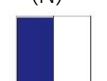
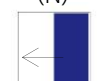

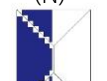




ภาพที่ 3.17 การตั้งค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์


- กำหนดใช้อินเวอร์เตอร์ประเภทอินเวอร์เตอร์สตริง (String Inverter) โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560)

- กำหนดระบบที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้า (On-grid system) ไฟฟ้าที่ผลิตได้นี้หากไม่ส่งให้กับระบบสายส่งอาจเก็บสะสมในระบบสะสมพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่ได้แดดหรือช่วงเวลากลางคืนได้ โดยอ้างอิงจาก ชนิ-กานต์ ยิ้มประยูร (2559)

- กำหนดทิศทางการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกและ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงใน ตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ทิศทางการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปทรงหลังคาอาคาร และทิศทางการ วางอาคาร	หลังคาอาคาร ทรงจั่ว	หลังคาอาคาร ทรงเพิง- หมาแหงน	หลังคาอาคาร ทรงโค้ง	หลังคาอาคาร ทรงปั้นหยา
ทิศเหนือ (N)	(N) 	(N) 	(N) 	(N) 
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)		(N) 		
ทิศตะวันออก (E)	(N) 	(N) 	(N) 	(N) 
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)		(N) 		
ทิศใต้ (S)	(N) 	(N) 	(N) 	(N) 
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)		(N) 		
ทิศตะวันตก (W)	(N) 	(N) 	(N) 	(N) 
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)		(N) 		

 กำหนดให้เป็นตำแหน่งการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์



- การตั้งค่าโปรแกรม ขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และทิศทางติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ 1) ระบุขนาดระบบ 2) กำหนดจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3) ตั้งค่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งยึดติดอยู่กับที่บนหลังคาอาคารหรือแบบ Fixed 4) กำหนดมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ 5) กำหนดทิศของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทิศเหนือ (N) = 0 ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) = 45 ทิศตะวันออก (E) = 90 ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) = 135 ทิศใต้ (S) = 180 ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) = 225 ทิศตะวันตก (W) = 270 และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) = 315

The screenshot displays the SAM software interface for configuring a photovoltaic system. The 'AC Sizing' panel is active, showing the following settings:

- Number of inverters: 6
- DC to AC ratio: 1.18
- Desired array size: 27.2 kWdc (highlighted with a red box and labeled '1')
- Desired DC to AC Ratio: 1.2
- Estimate Subarray 1 configuration

The 'Sizing Summary' panel shows the following results:

Total AC capacity	23.100 kWac	Total number of modules	80
Total inverter DC capacity	23.786 kWdc	Total number of strings	10
Nameplate DC capacity	27.227 kWdc	Total module area	160.6 m <sup>2</sup>

The 'DC Sizing and Configuration' panel is also active, showing the following settings for Subarray 1:

- Electrical Configuration:
  - Modules per string in subarray: 8
  - Strings in parallel in subarray: 10
  - Number of modules in subarray: 80 (highlighted with a red box and labeled '2')
  - String Voc at reference conditions (V): 370.4
  - String Vmp at reference conditions (V): 308.0
- Tracking & Orientation:
  - Fixed (highlighted with a red box and labeled '3')
  - 1 Axis
  - 2 Axis
  - Azimuth Axis
  - Seasonal Tilt
  - Tilt=latitude
  - Tilt (deg): 15 (highlighted with a red box and labeled '4')
  - Azimuth (deg): 0 (highlighted with a red box and labeled '5')
  - Ground coverage ratio (GCR): 0.3
  - Tracker rotation limit (deg): 45
  - Backtracking:  Enable

A diagram of the array layout is shown, with Azimuth angles of 270, 180, 90, and 0 degrees, and Tilt angles of 90 and 0 degrees. A small text at the bottom of the panel reads: "Ground coverage ratio is used (1) to determine when a one-axis tracking system will backtrack, (2) in self-shading calculations for fixed tilt or one-axis tracking systems on the shading map, and (3) in the total area calculation. See Help for details."

ภาพที่ 3.18 การตั้งค่าขนาดระบบและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 จากค่าเฉลี่ยไฟล์สภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ไฟล์ THA\_Bangkok.484560\_IWEC รายวัน โดยคำนวณค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงต่อวันจากวัน 4 กรกฎาคม ได้แก่ 1) วันที่ 21 มีนาคม วันที่ 21 มิถุนายน 3) วันที่ 21 กันยายน และ 4) วันที่ 21 ธันวาคม นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไปหักลบกับค่าไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ จึงจำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงกระแสไฟฟ้าโดยการจ่าย

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านเครื่องอินเวอร์เตอร์และแปลง ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

The screenshot shows the PVsyst software interface. The 'Hourly Data' table is displayed for two dates: March 21st and June 21st. The table has columns for 'Array DC power (kW)' and 'AC wiring loss (kW)'. The data shows that AC wiring loss is consistently zero across all hours for both dates. The DC power values vary significantly, with a peak of 0.161126 kW on March 21st at 06:00 am and 0.721174 kW on June 21st at 06:00 am.

Date	Time	Array DC power (kW)	AC wiring loss (kW)
Mar 21, 08:00 pm	08:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 05:00 am	05:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 06:00 am	06:00 am	0.161126	0.000549427
Mar 21, 07:00 am	07:00 am	3.03413	0.028786
Mar 21, 08:00 am	08:00 am	7.98118	0.0772218
Mar 21, 09:00 am	09:00 am	12.4946	0.121182
Mar 21, 10:00 am	10:00 am	14.2937	0.138612
Mar 21, 11:00 am	11:00 am	14.9349	0.144813
Mar 21, 12:00 pm	12:00 pm	14.3261	0.138903
Mar 21, 01:00 pm	01:00 pm	14.8821	0.144297
Mar 21, 02:00 pm	02:00 pm	13.6571	0.132428
Mar 21, 03:00 pm	03:00 pm	10.4748	0.101507
Mar 21, 04:00 pm	04:00 pm	5.82516	0.0561295
Mar 21, 05:00 pm	05:00 pm	1.75758	0.0162439
Mar 21, 06:00 pm	06:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 07:00 pm	07:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 08:00 pm	08:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 09:00 pm	09:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Mar 21, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Mar 21, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05
Jun 20, 09:00 pm	09:00 pm	0	6.93e-05
Jun 20, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Jun 20, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Jun 21, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Jun 21, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Jun 21, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Jun 21, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Jun 21, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05
Jun 21, 05:00 am	05:00 am	0	6.93e-05
Jun 21, 06:00 am	06:00 am	0.721174	0.00605678
Jun 21, 07:00 am	07:00 am	3.8123	0.0364227
Jun 21, 08:00 am	08:00 am	6.82517	0.0659284
Jun 21, 09:00 am	09:00 am	9.38072	0.0908802
Jun 21, 10:00 am	10:00 am	12.6691	0.122887
Jun 21, 11:00 am	11:00 am	15.0631	0.146118
Jun 21, 12:00 pm	12:00 pm	16.2274	0.157393
Jun 21, 01:00 pm	01:00 pm	14.4253	0.139931
Jun 21, 02:00 pm	02:00 pm	11.6794	0.113262
Jun 21, 03:00 pm	03:00 pm	8.4126	0.0814297
Jun 21, 04:00 pm	04:00 pm	5.5986	0.0539225
Jun 21, 05:00 pm	05:00 pm	2.51235	0.0236504
Jun 21, 06:00 pm	06:00 pm	0	6.93e-05
Jun 21, 07:00 pm	07:00 pm	0	6.93e-05
Jun 21, 08:00 pm	08:00 pm	0	6.93e-05
Jun 21, 09:00 pm	09:00 pm	0	6.93e-05
Jun 21, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Jun 21, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Jun 22, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Jun 22, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Jun 22, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Jun 22, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Jun 22, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05

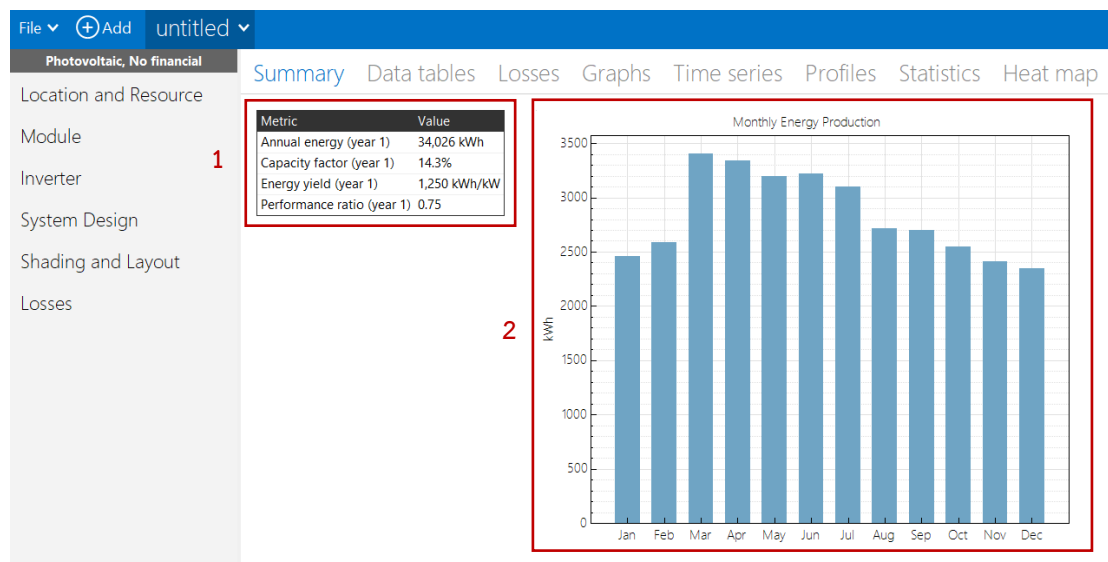
ภาพที่ 3.19 แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 21 มิถุนายน

The screenshot shows the PVsyst software interface for two different dates: September 21st and December 21st. The 'Hourly Data' table displays 'Array DC power (kW)' and 'AC wiring loss (kW)'. AC wiring loss remains at zero for all hours. DC power values are higher than in the previous screenshots, peaking at 10.4833 kW on September 21st at 11:00 am and 11.0534 kW on December 21st at 11:00 am.

Date	Time	Array DC power (kW)	AC wiring loss (kW)
Sep 20, 08:00 pm	08:00 pm	0	6.93e-05
Sep 20, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Sep 20, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Sep 21, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Sep 21, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Sep 21, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Sep 21, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05
Sep 21, 05:00 am	05:00 am	0	6.93e-05
Sep 21, 06:00 am	06:00 am	0.161126	0.000549427
Sep 21, 07:00 am	07:00 am	3.03413	0.028786
Sep 21, 08:00 am	08:00 am	7.98118	0.0772218
Sep 21, 09:00 am	09:00 am	12.4946	0.121182
Sep 21, 10:00 am	10:00 am	14.2937	0.138612
Sep 21, 11:00 am	11:00 am	14.9349	0.144813
Sep 21, 12:00 pm	12:00 pm	14.3261	0.138903
Sep 21, 01:00 pm	01:00 pm	14.8821	0.144297
Sep 21, 02:00 pm	02:00 pm	13.6571	0.132428
Sep 21, 03:00 pm	03:00 pm	10.4748	0.101507
Sep 21, 04:00 pm	04:00 pm	5.82516	0.0561295
Sep 21, 05:00 pm	05:00 pm	1.75758	0.0162439
Sep 21, 06:00 pm	06:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 07:00 pm	07:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 08:00 pm	08:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 09:00 pm	09:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Sep 21, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Sep 22, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Sep 22, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Sep 22, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Sep 22, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05
Dec 20, 09:00 pm	09:00 pm	0	6.93e-05
Dec 20, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Dec 20, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Dec 21, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Dec 21, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Dec 21, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Dec 21, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05
Dec 21, 05:00 am	05:00 am	0	6.93e-05
Dec 21, 06:00 am	06:00 am	0.0262375	6.93e-05
Dec 21, 07:00 am	07:00 am	1.09657	0.00974906
Dec 21, 08:00 am	08:00 am	3.68146	0.0351411
Dec 21, 09:00 am	09:00 am	6.21539	0.059966
Dec 21, 10:00 am	10:00 am	8.76711	0.0848929
Dec 21, 11:00 am	11:00 am	10.4833	0.100837
Dec 21, 12:00 pm	12:00 pm	11.0534	0.107161
Dec 21, 01:00 pm	01:00 pm	10.8649	0.105331
Dec 21, 02:00 pm	02:00 pm	8.8786	0.0859775
Dec 21, 03:00 pm	03:00 pm	5.54442	0.0539921
Dec 21, 04:00 pm	04:00 pm	2.26774	0.0212582
Dec 21, 05:00 pm	05:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 06:00 pm	06:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 07:00 pm	07:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 08:00 pm	08:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 09:00 pm	09:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 10:00 pm	10:00 pm	0	6.93e-05
Dec 21, 11:00 pm	11:00 pm	0	6.93e-05
Dec 22, 12:00 am	12:00 am	0	6.93e-05
Dec 22, 01:00 am	01:00 am	0	6.93e-05
Dec 22, 02:00 am	02:00 am	0	6.93e-05
Dec 22, 03:00 am	03:00 am	0	6.93e-05
Dec 22, 04:00 am	04:00 am	0	6.93e-05

ภาพที่ 3.20 แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรมในวันที่ 21 กันยายน และวันที่ 21 ธันวาคม

- แสดงผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 จากค่าเฉลี่ยไฟล์สภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ไฟล์ THA\_Bangkok.484560\_IWEC 1) ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปี และ 2) ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือน



ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีและรายเดือน

- ในกรณีใช้แบตเตอรี่สำรองในช่วงเวลากลางคืน สามารถประเมินการใช้งานของแบตเตอรี่โดยคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่ดังสมการที่ (3.1) ที่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เท่ากับ 12 โวลต์ อัตราการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ (แบบ deep-cycle) มีค่า 0.60 โดยประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 0.85 โดยอ้างอิงจากบริษัท ดี ดี เบสท์ จำกัด (2562) ดังนี้

ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

$$= \frac{\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อวัน (Wh/วัน)}}{12 \text{ (V)} \times 0.60 \times 0.85} \quad (3.1)$$

3.8.3 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร ด้วยโปรแกรม System Advisor Model version 2018.11.11 และนำผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมงต่อวัน

### 3.9 การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

3.9.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร โดยคำนวณได้จาก

สมการที่ (3.2) โดยกำหนดให้เงินที่ใช้ในการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ ทั้งนี้ กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี มอก. จากค่าเฉลี่ยมีอัตราเสื่อมสภาพไม่เกิน 1% ต่อปี และมีค่าบำรุงรักษา 1% ของเงินลงทุน โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560)

- กรณีอาคารรูปทรงหลังคาโค้งจำเป็นต้องมีค่าอุปกรณ์ยึดเกาะเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติม โดย มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม 4.65 บาทต่อวัตต์ โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560)

- กรณีที่อาคารติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา หรือ Skylight มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 700 บาทต่อตารางเมตร โดยอ้างอิงราคาเฉลี่ยของแผ่นโพร่งแสงจากวันสต็อกโฮม (2559)

- กรณีอาคารมีการขายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม โดยมีราคารับซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย (kWh) อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากปีงบประมาณ 2561 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เท่ากับ 4.21 บาทต่อหน่วย โดยอ้างอิงจาก สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2561)

- กรณีอาคารมีการใช้งานแบตเตอรี่ กำหนดใช้แบตเตอรี่ (แบบ deep-cycle) ขนาดความจุ 200Ah/12V ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 12,375 บาทต่อลูก โดยอ้างอิงจาก บริษัท ดี ดี เบสท์ จำกัด (2562) โดยแบตเตอรี่ดังกล่าวมีอายุการใช้งานเฉลี่ยที่ 5 ปี โดยมีสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

#### คำนวณเงินลงทุนในการติดตั้ง

$$= \text{ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)} \times 1,000 \text{ (วัตต์)} \times 36.50 \text{ (บาท)} \quad (3.2)$$

3.9.2 การประเมินระยะเวลาการคืนทุนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร โดยคำนวณได้จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) จากราคารับซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากปีงบประมาณ 2561 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เท่ากับ 4.21 บาทต่อหน่วย โดยอ้างอิงจาก สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2561) โดยมีสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์อ้างอิงจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558) ดังนี้

#### คำนวณรายรับต่อปี

$$= \text{ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh)} \times 4.21 \text{ (บาท)} \quad (3.3)$$

คำนวณระยะเวลาคืนทุน (simple payback period)

$$= \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{รายรับต่อปี (บาท)}} \quad (3.4)$$

### 3.10 เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

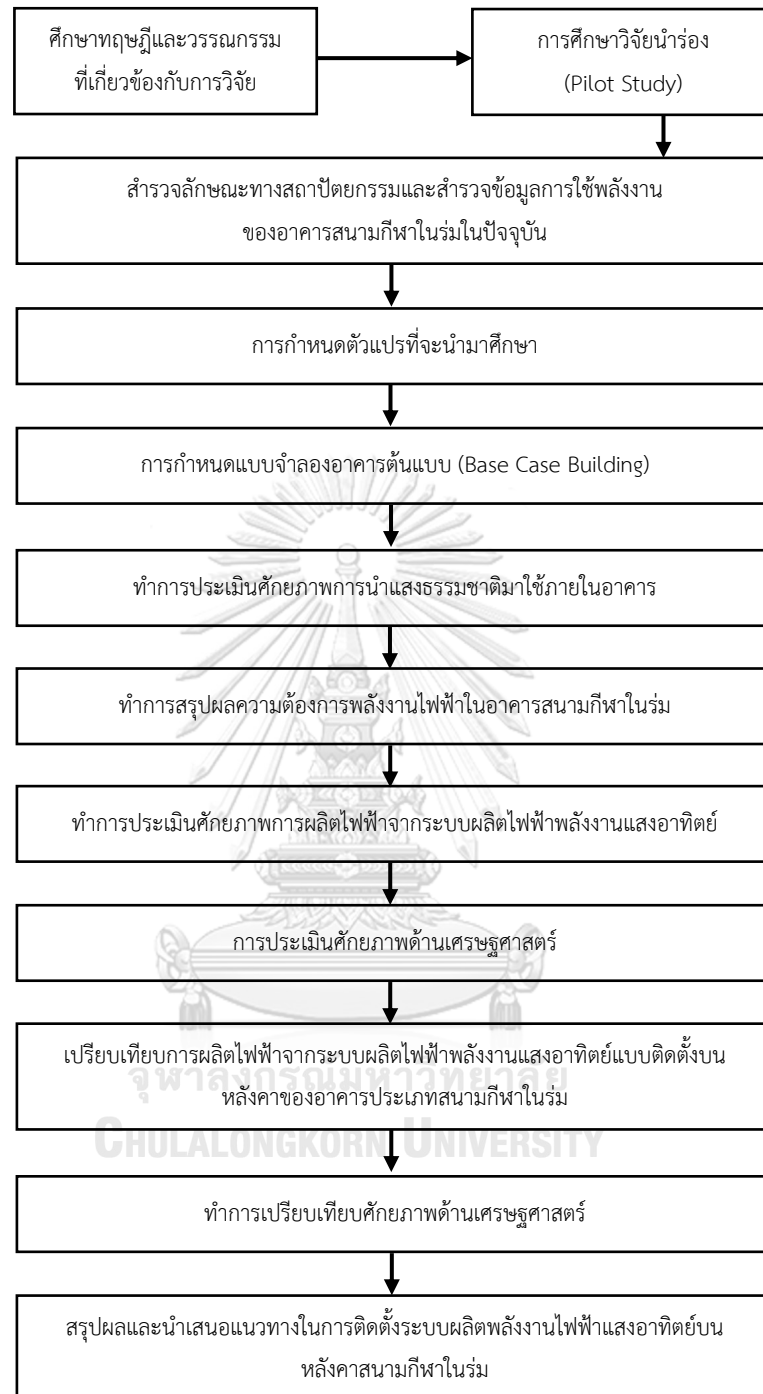
โดยทำการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในขนาดของอาคาร รูปทรงหลังคาและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่แตกต่างกันของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร

### 3.11 ทำการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

โดยทำการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุนของอาคาร ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ อาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา หลังคาอาคารทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้งและทรงปั้นหยา สามารถแบ่งรูปแบบของระบบการติดตั้งเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ 2) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight 3) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และ 4) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight

### 3.12 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา

ทำการสรุปผลการวิจัย โดยการเปรียบเทียบศักยภาพผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากรูปแบบของระบบการติดตั้งเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ 2) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight 3) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และ 4) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการลงทุนและแนะนำการใช้งานการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มที่เหมาะสม



ภาพที่ 3.22 สรุปขั้นตอนดำเนินงานและกรอบการศึกษา

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและจำลองเสมือนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีผลการวิจัยดังนี้

#### 4.1 ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน

4.1.1 ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม โดยได้แสดงผลข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) รูปทรงของหลังคาอาคาร ข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) มุมเอียงของหลังคาอาคาร (องศา) และทิศทางหลังคาอาคาร ของอาคารจำนวนทั้งสิ้น 22 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร

ชื่ออาคารสนามกีฬาในร่ม	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	รูปทรงหลังคาอาคาร	มุมเอียงหลังคา	พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	ทิศทางหลังคาอาคาร
1. อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	4,100	ทรงเพิงหมาแหงน	10°	3,890	(E)-(W)
2. อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,040	ทรงจั่ว	10°	1,250	(N)-(S)
3. อาคารสนามกีฬาจันทน์ยิ่งยงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภายในพื้นที่สนามกีฬามีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,900	ทรงเพิงหมาแหงน	2°	2,475	(N)-(S)
4. โรงยิมโรงเรียนกองทัพอากาศที่ 1 (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	3,345	ทรงปั้นหย่า	12°	3,800	(NW)-(SE) (NE)-(SW)
5. โรงยิมโรงเรียนกองทัพอากาศที่ 2 (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,270	ทรงโค้ง	-	2,400	(SE)-(SW)



**ตารางที่ 4.1** ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร(ต่อ)

ชื่ออาคารสนามกีฬาในร่ม	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	รูปทรงหลังคาอาคาร	มุมเอียงหลังคา	พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	ทิศทางหลังคาอาคาร
6. โรงยิมเนเซียม 1 มหาวิทยาลัยรามคำแหง (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	2,520	ทรงเพิงหมาแหงน	5°	2,355	(NE)
7. โรงยิมเนเซียม 2 มหาวิทยาลัยรามคำแหง (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,380	ทรงจั่ว	7°	1,820	(NW)-(SE)
8. โรงยิมเนเซียม 4 มหาวิทยาลัยรามคำแหง (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,380	ทรงจั่ว	7°	1,820	(NE)-(SW)
9. โรงยิมเนเซียม 1 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,392	ทรงเพิงหมาแหงน	15°	1,400	(N)-(S)
10. โรงยิมเนเซียม 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	2,034	ทรงจั่ว	15°	2,520	(N)-(S)
11. โรงยิม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,008	ทรงจั่ว	10°	1,312	(N)-(S)
12. โรงยิม 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,220	ทรงจั่ว	10°	1,190	(N)-(S)
13. อาคารพลศึกษาโรงเรียนสาธิตมัธยม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	700	ทรงจั่ว	10°	790	(E)-(W)
14. อาคารพลศึกษา โรงเรียนขัติยะวงษา (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	880	ทรงจั่ว	15°	1,176	(N)-(S)
15. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการร้อยเอ็ด (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	880	ทรงจั่ว	15°	1,176	(SE)-(NW)

**ตารางที่ 4.1** ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม จำนวน 22 อาคาร(ต่อ)

ชื่ออาคารสนามกีฬาในร่ม	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	รูปทรงหลังคาอาคาร	มุมเอียงหลังคา	พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	ทิศทางหลังคาอาคาร
16. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเสลภูมิ (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	880	ทรงจั่ว	15°	1,176	(E)-(W)
17. อาคารพลศึกษา โรงเรียนธวัชบุรีวิทยาคม (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	880	ทรงจั่ว	15°	1,176	(E)-(W)
18. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	880	ทรงจั่ว	15°	1,176	(E)-(W)
19. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 1 (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,500	ทรงจั่ว	10°	1,125	(N)-(S)
20. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 2 (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,280	ทรงจั่ว	15°	1,550	(E)-(W)
21. ศูนย์เยาวชนจตุจักร (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	1,432	ทรงโค้ง	-	1,752	(NE)
22. อาคารพลศึกษาโรงเรียนสตรีศึกษา (ภายในพื้นที่สนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	880	ทรงจั่ว	15°	1,176	(E)-(W)

4.1.2 ผลสำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562 ทั้งสิ้นจำนวน 22 อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 สามารถแบ่งช่วงเวลาการใช้งานส่วนใหญ่ของอาคารสนามกีฬาในร่มเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.-18:00 น. เป็นอาคารสนามกีฬาในร่มของโรงเรียน มีระยะเวลาการใช้งานอาคารทั้งสิ้น 11 ชั่วโมงต่อวัน และช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 07:00 น.-22:00 น. เป็นอาคารสนามกีฬาในร่มของมหาวิทยาลัย มีระยะเวลาการใช้งานอาคารทั้งสิ้น 15 ชั่วโมงต่อวัน

**ตารางที่ 4.2** ผลการสำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562 จำนวน 22 อาคาร

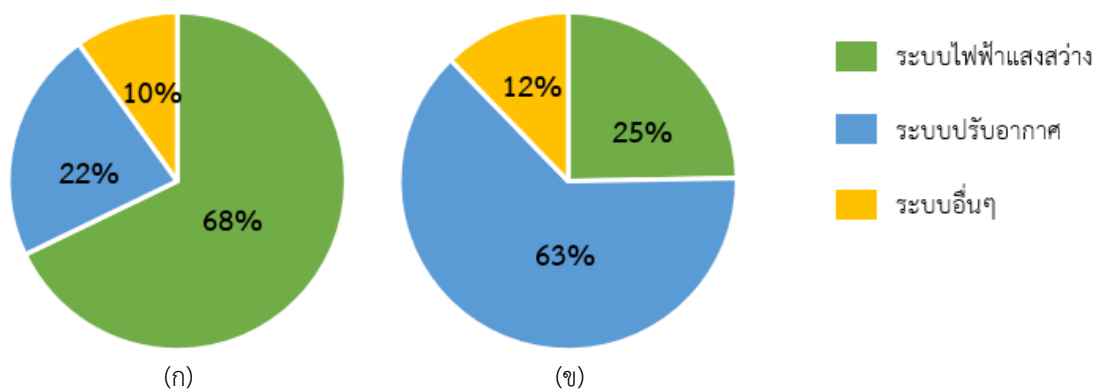
ชื่ออาคารสนามกีฬาในร่ม	ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร
1. อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	07:00น.-12:00น. 13:00น.- 16:00น. และ17:00น.- 21:00 น.
2. อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	16:00 น.-20:00 น.
3. อาคารสนามกีฬาจันทน์ยิ่งยงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	08:00 น.-22:00 น.
4. โรงยิมโรงเรียนกองทัพอากาศที่ 1	08:00 น.-22:00 น.
5. โรงยิมโรงเรียนกองทัพอากาศที่ 2	08:00 น.-21.00 น.
6. โรงยิมเนเซียม 1 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	07:00 น.-18:00 น.
7. โรงยิมเนเซียม 2 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	07:00 น.-18:00 น.
8. โรงยิมเนเซียม 4 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	07:00 น.-18:00 น.
9. โรงยิมเนเซียม 1 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	07:00 น.-18:00 น.
10. โรงยิมเนเซียม 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	07:00 น.-22:00 น.
11. โรงยิม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	07:00 น.-18:00 น.
12. โรงยิม 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	07:00 น.-18:00 น.
13. อาคารพลศึกษาโรงเรียนสาธิตมัธยมมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	07:00 น.-18:00 น.
14. อาคารพลศึกษา โรงเรียนชาติยะวงษา	07:00 น.-18:00 น.
15. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการร้อยเอ็ด	07:00 น.-18:00 น.
16. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเสลภูมิ	07:00 น.-18:00 น.
17. อาคารพลศึกษา โรงเรียนธวัชบุรีวิทยาคม	07:00 น.-18:00 น.
18. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	07:00 น.-18:00 น.
19. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 1	07:00 น.-22:00 น.
20. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 2	07:00 น.-22:00 น.
21. ศูนย์เยาวชนจตุจักร	10.00 น.-20:00 น.
22. อาคารพลศึกษา โรงเรียนสตรีศึกษา	07:00 น.-18:00 น.

4.1.3 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด 22 อาคาร โดยแสดงรายละเอียดของการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตั้งแสดงในภาคผนวก ก ได้นำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งภายในอาคารและวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยในงานวิจัยนี้ได้จำแนกลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ โดยแสดงข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอัมพันท์ในหนึ่งชั่วโมงในภาคผนวก ข ซึ่งในผลการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานจากอุปกรณ์

ไฟฟ้าภายในอาคาร สามารถแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ได้แก่ พื้นที่สนามกีฬาและอฒจันทร์ และพื้นที่อื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.1 จากการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอฒจันทร์ในหนึ่งชั่วโมงมีค่าเท่ากับ  $9.00 \text{ W/m}^2$  มีค่าการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง  $6.00 \text{ W/m}^2$  หรือ 68% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ทั้งหมด มีค่าการใช้ระบบปรับอากาศที่  $2.00 \text{ W/m}^2$  หรือ 22% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ทั้งหมด และมีค่าการใช้ระบบอื่นๆที่  $1.00 \text{ W/m}^2$  หรือ 10% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ทั้งหมด และจากการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานพบว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณอื่นๆ ในหนึ่งชั่วโมงมีค่าเท่ากับ  $8.70 \text{ W/m}^2$  มีค่าการใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง  $2.10 \text{ W/m}^2$  หรือ 25% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ทั้งหมด มีค่าการใช้ระบบปรับอากาศที่  $5.50 \text{ W/m}^2$  หรือ 63% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ทั้งหมด และมีค่าการใช้ระบบอื่นๆที่  $1.10 \text{ W/m}^2$  หรือ 12% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ทั้งหมด โดยได้นำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่มาเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าจริงของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อตรวจสอบถึงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปสำรวจมา จากการเปรียบเทียบ พบว่า มีค่าพลังงานไฟฟ้าต่างกันที่ +10% จากค่าไฟฟ้าต่อปี แต่ไม่เกิน  $\pm 20\%$

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคาร 1 ตารางเมตร ในหนึ่งชั่วโมง

การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร	การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอฒจันทร์ ( $\text{W/m}^2$ )	การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณอื่นๆ ( $\text{W/m}^2$ )
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	6.00	2.10
ระบบปรับอากาศ	2.00	5.50
ระบบอื่นๆ	1.00	1.10
รวม	9.00	8.70



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงข้อมูลร้อยละค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ (ก) ข้อมูลร้อยละค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอฒจันทร์ในหนึ่งชั่วโมง (ข) ข้อมูลร้อยละค่ากำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่อื่นๆในหนึ่งชั่วโมง

จากการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน มีระยะเวลาการใช้งานอาคารทั้งสิ้น 11 ชั่วโมงต่อวัน และการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวันและกลางคืน มีระยะเวลาการใช้งานอาคารทั้งสิ้น 15 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารทั้ง 3 ขนาด โดยแบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าบริเวณสนามกีฬาและอิมจันทร์ และการใช้พลังงานไฟฟ้าบริเวณอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายวันและรายปีของอาคารทั้ง 3 ขนาด

ช่วงเวลาในการใช้งานอาคาร	การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (kW)	การใช้พลังงานไฟฟ้าบริเวณสนามกีฬาและอิมจันทร์				การใช้พลังงานไฟฟ้าบริเวณอื่นๆ			
		ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (kW)	ระบบปรับอากาศ (kW)	ระบบอื่นๆ (kW)	รวม (kW)	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (kW)	ระบบปรับอากาศ (kW)	ระบบอื่นๆ (kW)	รวม (kW)
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อวันของอาคารขนาดเล็ก									
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน	85.9	44.02	14.3	6.49	65	5.28	13.2	2.53	20.9
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	117.15	60.3	19.5	8.85	88.65	7.2	18	3.45	28.5
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อวันของอาคารขนาดกลาง									
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน	189	97.24	31.46	14.3	143	11.55	29.04	5.5	46.1
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	258	132.6	42.9	19.5	195	15.75	39.6	7.5	62.9
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อวันของอาคารขนาดใหญ่									
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน	459	236.1	76.34	34.76	347	27.94	76.34	13.4	112
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	626	321.9	104.1	47.4	473.4	38.1	96.15	18.3	153
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อปีของอาคารขนาดเล็ก									
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน	31,354	16,067	5,220	2,369	23,725	1,927	4,818	923	7,629
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	42,760	22,010	7,118	3,230	32,357	2,628	6,570	1,259	10,403
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อปีอาคารขนาดกลาง									
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน	68,985	35,493	11,483	5,220	52,195	4,216	10,600	2,008	16,827
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	94,170	48,399	15,659	7,118	71,175	5,749	14,454	2,738	22,959
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อปีอาคารขนาดใหญ่									
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน	167,535	86,177	27,864	12,687	126,655	10,198	27,864	4,891	40,880
การใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	228,490	117,494	37,997	17,301	172,791	13,907	35,095	6,680	55,845

#### 4.2 ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

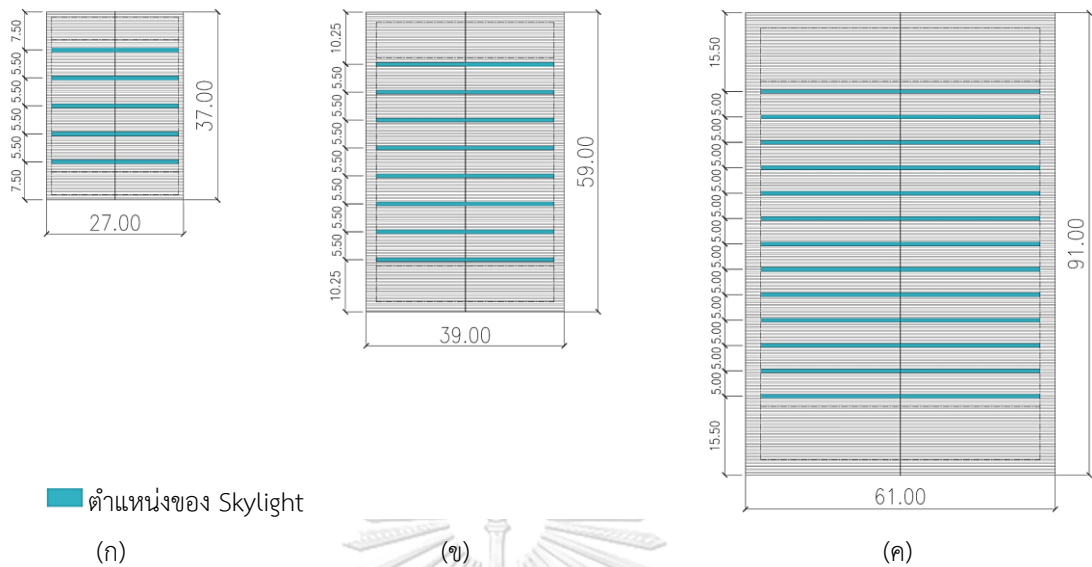
ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 เพื่อหาช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) โดยผลการจำลองจะแสดงผลค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาลในช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ตามค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความ

สม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6 โดยจากการจำลองพบว่า การติดตั้ง Skylight ชั้นต่ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมีขนาดพื้นที่ 15% ของหลังคาอาคารส่วนบริเวณสนามกีฬาและอิมจันทร์ ในการวิจัยครั้งนี้ จึงเลือกการติดตั้ง Skylight ชั้นต่ำ เนื่องจากจะมีผลต่อค่าวัสดุอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นจึงเลือกใช้ขนาดชั้นต่ำในการศึกษานี้ โดยมีรายละเอียดของการติดตั้ง Skylight ที่ผ่านเกณฑ์ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยจากผลการประเมินด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 ของหลังคาทรงจั่ว ทรงโค้ง ทรงปั้นหย่า พบช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ของอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ในช่วงเวลา 09:00 น. – 16:00 น. หรือ 7 ชั่วโมงต่อวัน และอาคารทรงเพิงหมาแหงน พบช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ของอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง ในช่วงเวลา 10:00 น. – 16:00 น. หรือ 6 ชั่วโมงต่อวัน และขนาดใหญ่ ในช่วงเวลา 09:00 น. – 16:00 น. หรือ 7 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีรายละเอียดการติดตั้ง Skylight และภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณสนามกีฬา ดังแสดงในภาพที่ 4.2-4.9 และผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.9

**ตารางที่ 4.5** รายละเอียดของการติดตั้ง Skylight ที่ผ่านเกณฑ์ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา

ขนาดอาคาร	พื้นที่ Skylight (ตารางเมตร)	ขนาด Skylight (เมตร)	จำนวนช่องเปิด	จำนวนชั่วโมง ที่ผ่านเกณฑ์ (ชั่วโมง)
<b>หลังคาทรงจั่ว</b>				
อาคารขนาดเล็ก	93.75	0.75X25	5	7
อาคารขนาดกลาง	210	0.75X35	8	7
อาคารขนาดใหญ่	536.25	0.75X55	13	7
<b>หลังคาทรงเพิงหมาแหงน</b>				
อาคารขนาดเล็ก	93.75	0.75X25	5	6
อาคารขนาดกลาง	210	0.75X35	8	6
อาคารขนาดใหญ่	536.25	1.50X55	7	7
<b>หลังคาทรงโค้ง</b>				
อาคารขนาดเล็ก	93.75	0.75X25	5	7
อาคารขนาดกลาง	210	0.75X35	8	7
อาคารขนาดใหญ่	536.25	0.75X55	13	7
<b>หลังคาทรงปั้นหย่า</b>				
อาคารขนาดเล็ก	93.75	0.75X25	5	7
อาคารขนาดกลาง	210	0.75X35	8	7
อาคารขนาดใหญ่	536.25	0.75X55	13	7

- หลังคาอาคารรูปทรงจั่ว

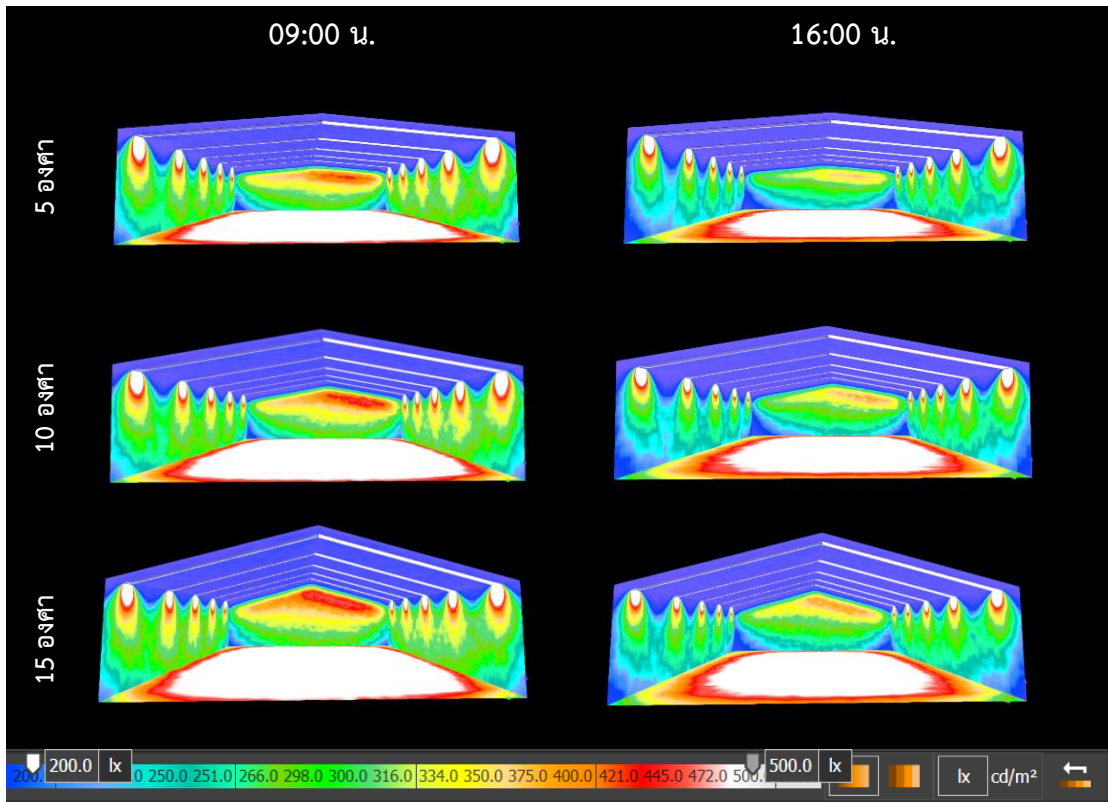


ภาพที่ 4.2 ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคาทรงจั่ว (ก) อาคารขนาดเล็ก  
(ข) อาคารขนาดกลางและ (ค) อาคารขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงจั่ว

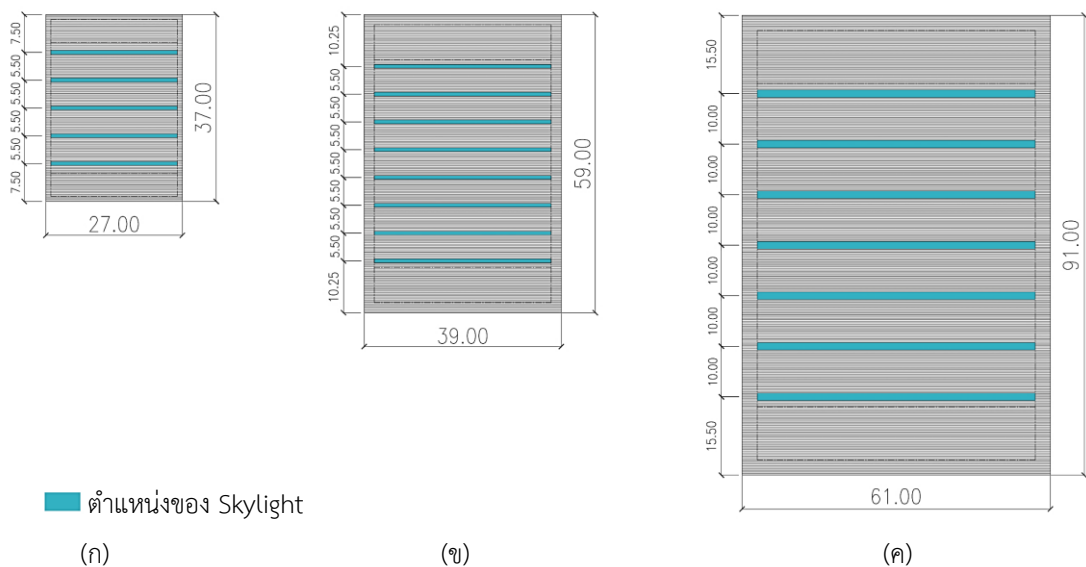
ทิศทาง	มุมเอียง เวลา	หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 5 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 10 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 15 องศา			
		ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล			
		Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>o</sub>	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>o</sub>	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>o</sub>
อาคารขนาดเล็ก													
(N) - (S)	09:00 น.	527	369	626	0.70	537	368	642	0.68	543	374	651	0.69
	16:00 น.	451	316	537	0.70	461	315	550	0.68	465	321	558	0.69
(E) - (W)	09:00 น.	577	408	690	0.71	554	391	629	0.71	562	395	676	0.70
	16:00 น.	495	350	592	0.71	475	335	561	0.71	481	339	579	0.70
อาคารขนาดกลาง													
(N) - (S)	09:00 น.	599	410	725	0.69	599	402	724	0.67	592	381	723	0.64
	16:00 น.	513	352	622	0.69	513	344	621	0.67	507	326	620	0.64
(E) - (W)	09:00 น.	612	416	721	0.68	609	410	737	0.67	577	375	692	0.65
	16:00 น.	524	357	618	0.68	522	351	631	0.67	494	322	593	0.65
อาคารขนาดใหญ่													
(N) - (S)	09:00 น.	675	414	794	0.61	651	394	769	0.60	653	393	765	0.60
	16:00 น.	578	355	681	0.61	559	338	659	0.60	560	337	656	0.60
(E) - (W)	09:00 น.	633	392	748	0.62	658	407	773	0.62	653	393	765	0.60
	16:00 น.	543	336	642	0.62	584	361	686	0.62	560	337	656	0.60





ภาพที่ 4.3 ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรงจั่ว

- หลังคาอาคารรูปทรงเพิงหมาแหงน

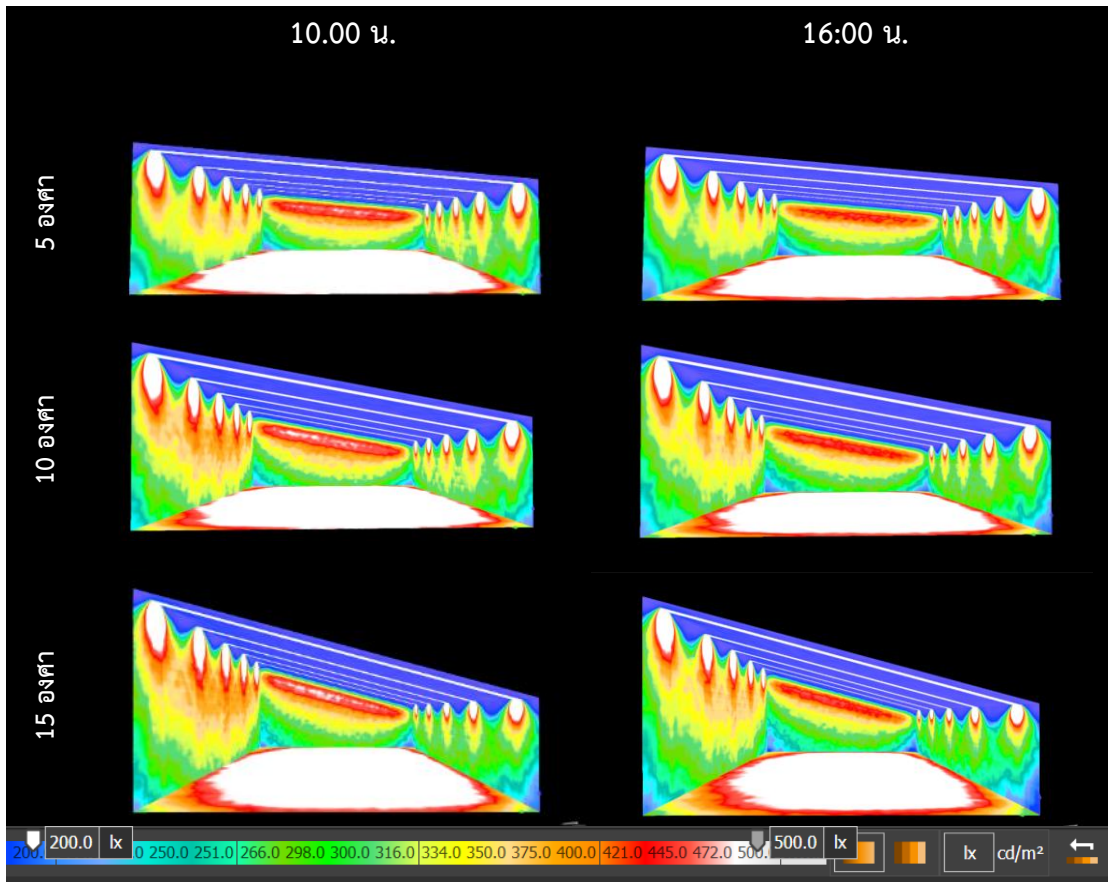


ภาพที่ 4.4 ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงเพิงหมาแหงน

(ก) อาคารขนาดเล็ก (ข) อาคารขนาดกลางและ (ค) อาคารขนาดใหญ่

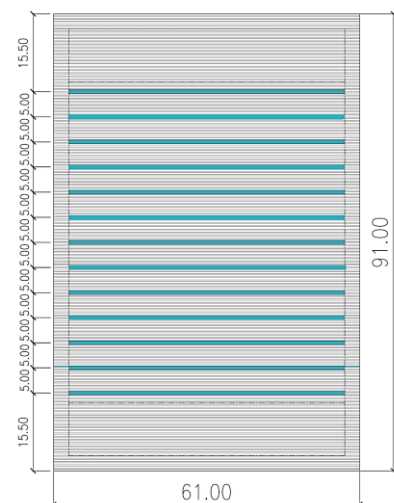
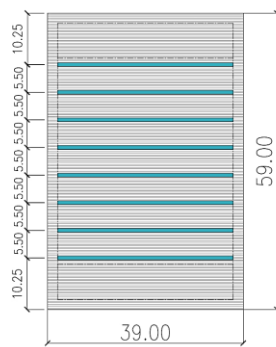
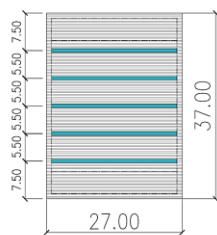
ตารางที่ 4.7 ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงเพิงหมาแหงน

ทิศทาง	มุมเอียง	หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 5 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 10 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 15 องศา			
	เวลา	ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล			
		Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>o</sub>	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>o</sub>	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>o</sub>
อาคารขนาดเล็ก													
(N)	10:00 น.	604	427	725	0.71	577	391	693	0.68	550	366	669	0.66
	16:00 น.	559	394	670	0.71	534	362	641	0.68	508	338	618	0.66
(S)	10:00 น.	580	409	695	0.71	577	391	693	0.68	550	365	669	0.66
	16:00 น.	536	378	643	0.71	533	362	640	0.68	508	338	618	0.66
(E)	10:00 น.	605	427	725	0.71	577	391	693	0.68	550	365	669	0.66
	16:00 น.	559	394	670	0.71	534	362	641	0.68	508	338	618	0.66
(W)	10:00 น.	580	409	696	0.71	577	391	693	0.68	549	365	669	0.66
	16:00 น.	536	378	644	0.71	533	361	640	0.68	508	338	618	0.66
อาคารขนาดกลาง													
(N)	10:00 น.	660	424	785	0.64	638	399	775	0.63	610	370	752	0.61
	16:00 น.	610	392	726	0.64	590	369	716	0.63	564	341	695	0.61
(S)	10:00 น.	641	393	797	0.61	625	375	799	0.60	563	336	719	0.60
	16:00 น.	593	363	736	0.61	578	346	738	0.60	520	311	664	0.60
(E)	10:00 น.	648	422	780	0.65	637	396	767	0.62	611	369	751	0.60
	16:00 น.	599	390	714	0.65	589	366	709	0.62	564	341	694	0.60
(W)	10:00 น.	659	426	789	0.65	639	392	807	0.61	608	368	772	0.60
	16:00 น.	609	394	723	0.65	591	362	746	0.61	562	340	714	0.61
อาคารขนาดใหญ่													
(N)	09:00 น.	708	456	844	0.64	675	419	803	0.62	646	384	777	0.59
	16:00 น.	619	399	739	0.64	591	367	703	0.62	565	336	680	0.60
(S)	09:00 น.	658	424	797	0.65	633	393	753	0.62	646	387	771	0.60
	16:00 น.	580	372	698	0.65	554	344	659	0.62	532	318	635	0.60
(E)	09:00 น.	696	440	835	0.63	664	405	795	0.61	636	378	759	0.59
	16:00 น.	644	428	812	0.63	582	355	696	0.61	601	358	718	0.60
(W)	09:00 น.	696	440	839	0.63	675	418	798	0.62	646	385	776	0.60
	16:00 น.	609	384	733	0.63	591	366	699	0.62	565	338	680	0.60



ภาพที่ 4.5 ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรงเพิงหมาแหงน

- หลังคาทรงโค้ง



■ ตำแหน่งของ Skylight

(ก)

(ข)

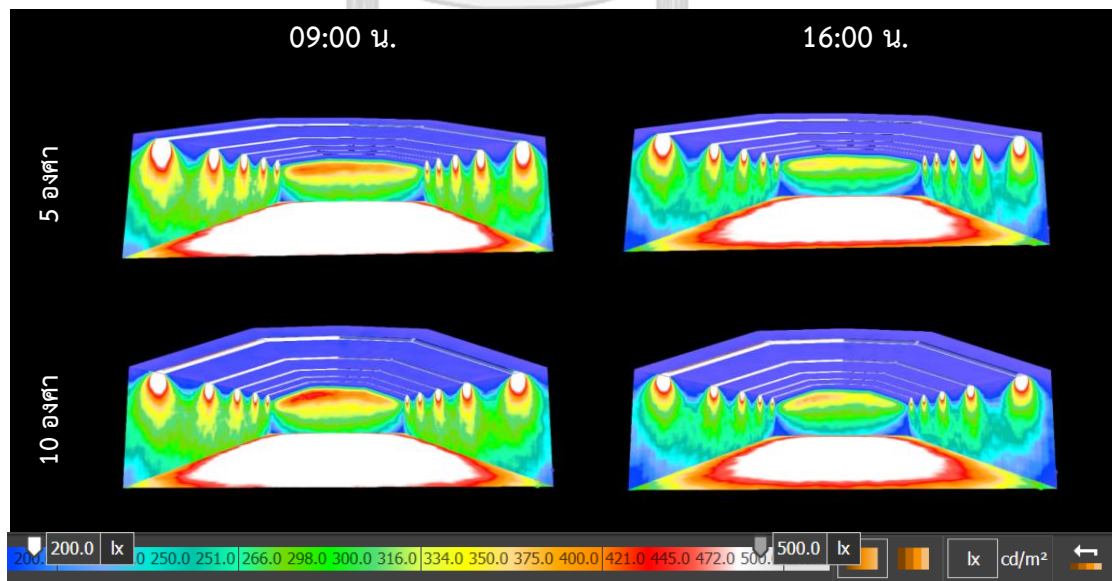
(ค)

ภาพที่ 4.6 ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงโค้ง

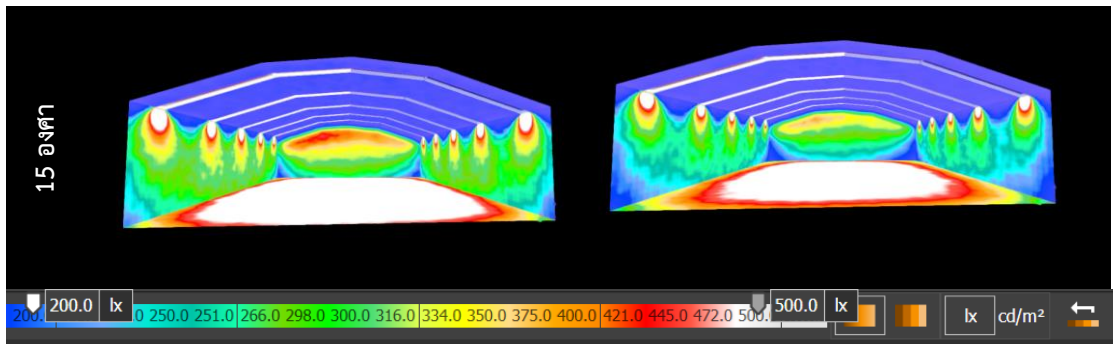
(ก) อาคารขนาดเล็ก (ข) อาคารขนาดกลางและ (ค) อาคารขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.8 ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงโค้ง

ทิศทาง	มุมเอียง	หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 5 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 10 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 15 องศา			
	เวลา	ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล			
		Eave	Emin	Emax	$U_o$	Eave	Emin	Emax	$U_o$	Eave	Emin	Emax	$U_o$
อาคารขนาดเล็ก													
(N) - (S)	09:00 น.	536	373	645	0.70	533	370	633	0.69	533	369	635	0.69
	16:00 น.	460	320	553	0.70	457	317	543	0.69	457	316	545	0.69
(E) - (W)	09:00 น.	538	376	647	0.70	532	370	630	0.70	530	367	631	0.69
	16:00 น.	461	322	554	0.70	456	317	529	0.70	455	314	540	0.69
อาคารขนาดกลาง													
(N) - (S)	09:00 น.	601	399	703	0.66	585	383	695	0.65	598	392	713	0.66
	16:00 น.	515	342	602	0.66	502	328	596	0.65	512	336	611	0.66
(E) - (W)	09:00 น.	593	392	708	0.66	594	390	700	0.66	599	385	717	0.64
	16:00 น.	508	336	601	0.66	509	334	600	0.66	513	330	615	0.64
อาคารขนาดใหญ่													
(N) - (S)	09:00 น.	638	412	730	0.65	647	412	757	0.64	582	358	698	0.62
	16:00 น.	547	353	626	0.65	555	353	649	0.64	499	307	598	0.62
(E) - (W)	09:00 น.	664	431	789	0.65	641	412	739	0.64	619	379	723	0.61
	16:00 น.	569	369	677	0.65	550	353	634	0.64	530	325	620	0.61

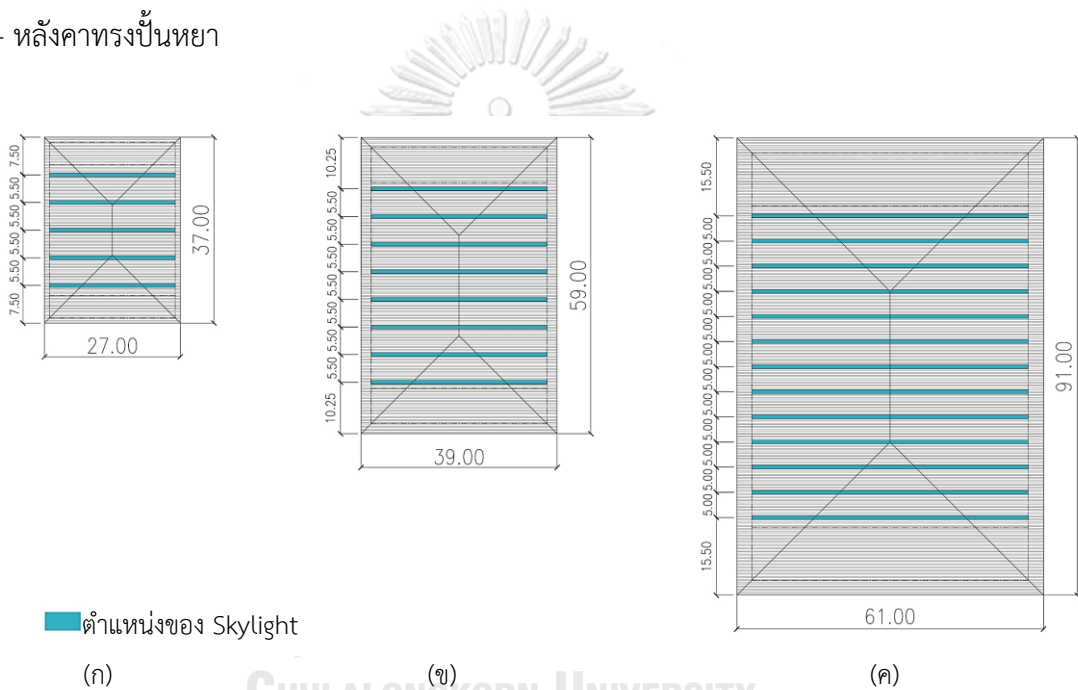


ภาพที่ 4.7 ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคาทรงโค้ง



ภาพที่ 4.7 ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคารูปทรงโค้ง (ต่อ)

- หลังคาทรงปั้นหย้า



ตำแหน่งของ Skylight

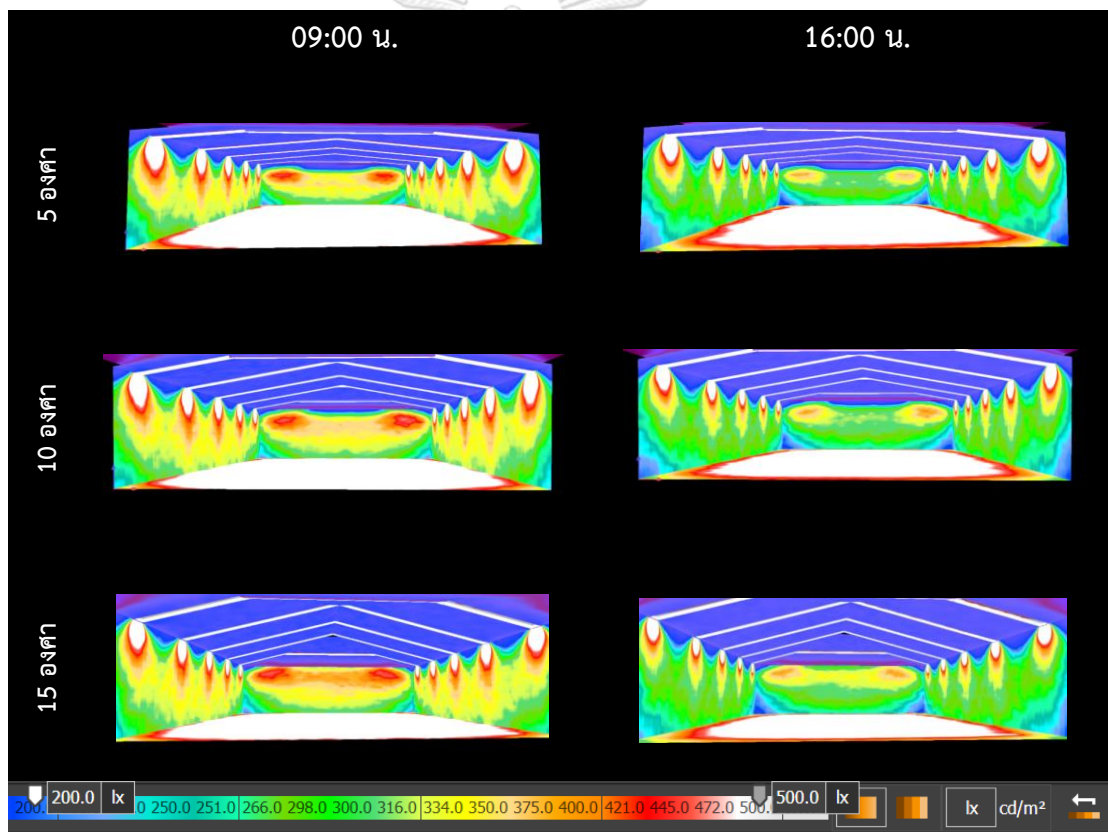
ภาพที่ 4.8 ผังหลังคาแสดงตำแหน่งติดตั้ง Skylight ของอาคารหลังคารูปทรงปั้นหย้า (ก) อาคารขนาดเล็ก (ข) อาคารขนาดกลางและ (ค) อาคารขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงปั้นหย้า

มุมเอียง	หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 5 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 10 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 15 องศา			
	ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล			
เวลา	Eave	Emin	Emax	U <sub>0</sub>	Eave	Emin	Emax	U <sub>0</sub>	Eave	Emin	Emax	U <sub>0</sub>
อาคารขนาดเล็ก												
09:00 น.	507	356	618	0.70	513	351	610	0.68	510	341	626	0.67
16:00 น.	443	311	541	0.70	449	307	534	0.68	446	301	548	0.67

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ของหลังคาทรงปั้นหยา (ต่อ)

มุมเอียง	หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 5 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 10 องศา				หลังคาอาคารทำมุมเอียงที่ 15 องศา			
	ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล				ค่าเฉลี่ยของวันจำลอง 4 ฤดูกาล			
	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>0</sub>	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>0</sub>	Eave	Emin	E <sub>max</sub>	U <sub>0</sub>
อาคารขนาดกลาง												
09:00 น.	519	351	631	0.68	566	371	667	0.66	534	339	635	0.64
16:00 น.	455	307	552	0.68	486	318	572	0.66	467	300	556	0.64
อาคารขนาดใหญ่												
09:00 น.	598	417	687	0.70	622	396	728	0.64	613	386	711	0.63
16:00 น.	523	365	601	0.70	544	347	638	0.64	537	338	622	0.63



ภาพที่ 4.9 ภาพการจำลองค่าความส่องสว่างบริเวณส่วนสนามกีฬาของอาคารหลังคาทรงปั้นหยา

#### 4.3 สรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม

ทำการสรุปผลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) และผลการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารของอาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีไม่ติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) โดยแบ่งผลการ



เปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน โดย กรณีที่ 1 คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน และกรณีที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน มีการติดตั้ง Skylight สามารถแบ่งเป็น 4 รูปทรงของหลังคาอาคาร ดังนี้

4.3.1 หลังคาอาคารทรงจั่ว หลังคาอาคารทรงโค้ง และหลังคาอาคารทรงปั้นหย่า เนื่องจาก พบช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ คือ ช่วงเวลา 09:00 น. – 16:00 น. หรือ 7 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งอาคาร 3 ขนาด เหมือนกันทั้ง 3 รูปทรงของหลังคาอาคาร โดยการติดตั้ง Skylight สามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 23%-32% ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.10

4.3.2 หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน เนื่องจาก พบช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ คือ ช่วงเวลา 10:00 น.– 16:00 น. หรือ 6 ชั่วโมงต่อวัน ของอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง และช่วงเวลา 09:00 น. – 16:00 น. หรือ 7 ชั่วโมงต่อวัน ของอาคารขนาดใหญ่ โดยการติดตั้ง Skylight สามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 20%-32% ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.11

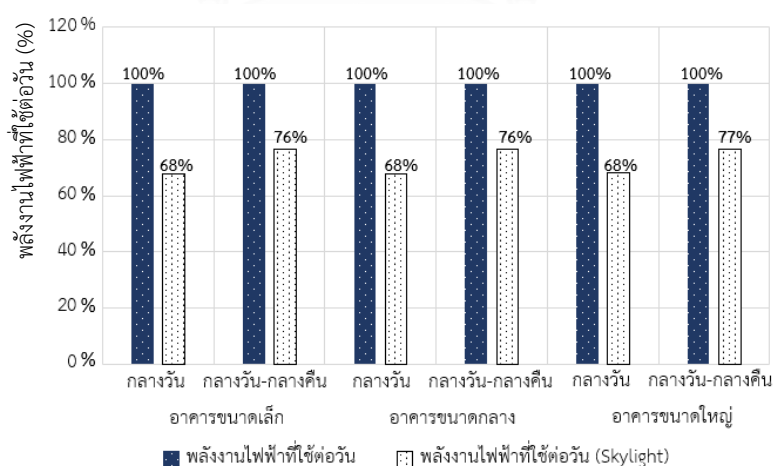
ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน

รูปทรงหลังคา	ขนาดอาคาร	ช่วงเวลาในการใช้งานอาคาร	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า	ค่าการ ประหยัด พลังงาน (%SAVE)
			ต่อวัน กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (kWh/วัน)	ต่อวัน กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (kWh/วัน)	
หลังคาทรงจั่ว	ขนาดเล็ก	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	85.90	58.34	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	117.14	89.58	24
	ขนาดกลาง	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	189.00	128.35	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	258.00	197.07	24
	ขนาดใหญ่	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	459.00	312.00	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	626.00	479.00	23
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน	ขนาดเล็ก	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	85.90	62.28	27
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	117.14	93.52	20
	ขนาดกลาง	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	189.00	137.00	28
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	258.00	206.00	20
	ขนาดใหญ่	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	459.00	312.00	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	626.00	479.00	23

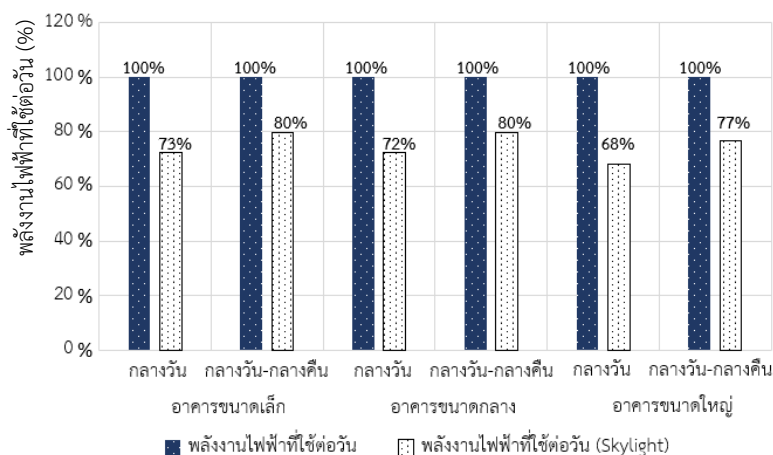


ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน (ต่อ)

รูปทรงหลังคา	ขนาดอาคาร	ช่วงเวลาในการใช้งานอาคาร	พลังงานไฟฟ้า		ค่าการ ประหยัด พลังงาน (%SAVE)
			ต่อวัน กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (kWh/วัน)	ต่อวัน กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (kWh/วัน)	
หลังคาทรงโค้ง	ขนาดเล็ก	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	85.90	58.34	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	117.14	89.58	24
	ขนาดกลาง	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	189.00	128.35	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	258.00	197.07	24
	ขนาดใหญ่	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	459.00	312.00	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	626.00	479.00	23
หลังคาทรงปั้นหยา	ขนาดเล็ก	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	85.90	58.34	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	117.14	89.58	24
	ขนาดกลาง	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	189.00	128.35	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	258.00	197.07	24
	ขนาดใหญ่	ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน	459.00	312.00	32
		ใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน- กลางคืน	626.00	479.00	23



ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแสดงร้อยละพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคาร  
หลังคารูปทรงจั่ว ทรงโค้งและทรงปั้นหยา



ภาพที่ 4.11 แผนภูมิแสดงร้อยละพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคาร หลังคารูปทรงเพิงหมาแหงน

#### 4.4 ผลการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.4.1 ผลการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกรณีศึกษา สนามกีฬาในร่มจากแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) โดยสามารถแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 โดยกำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปทรงหลังคา อาคารทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.– 18:00 น. 2) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน เวลา 07:00 น.– 22:00 น. 3) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ 4) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา

กรณีที่ 2 กำหนดติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) โดยกำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปทรงหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปแบบ ที่ได้จากการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารที่ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) ได้แก่ 1) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.– 18:00 น. โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา 2) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน เวลา 07:00 น.– 22:00 น. 3) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทั้งหมด โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา และ 4) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาทั้งหมด โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา

จากผลสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า หลังคาอาคารทรงจั่ว หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน และหลังคาอาคารทรงโค้ง ของอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ มีพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากัน ส่วนหลังคาอาคารทรงปั้นหย้า ของอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ มีพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยที่สุด ดังแสดงผลสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบดังในตารางที่ 4.11

**ตารางที่ 4.11** ผลสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบ

ขนาดอาคาร	รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight			กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight		
		พื้นที่ หลังคาที่ ใช้ในการ ติดตั้ง (ตร.ม.)	จำนวน แผง เซลล์แสง อาทิตย์ (แผง)	ขนาด ระบบ (kWp)	พื้นที่ หลังคาที่ ใช้ในการ ติดตั้ง (ตร.ม.)	จำนวน แผง เซลล์แสง อาทิตย์ (แผง)	ขนาด ระบบ (kWp)
หลังคาอาคารทรงจั่ว							
ขนาดเล็ก	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	161	80	27.2	120	60	20.4
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	221	110	37.4	171	85	28.9
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	470	234	79.56	365	182	61.88
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	939	468	159.12	731	364	123.76
ขนาดกลาง	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	361	180	61.2	241	120	40.8
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	482	240	81.6	381	190	64.6
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,106	551	187.34	839	418	142.12
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	2,212	1,102	374.68	1,678	836	284.24
ขนาดใหญ่	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	863	430	146.2	602	300	102
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1,174	585	198.9	903	450	153
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	2,709	1,350	459.00	2,288	1,140	387.60
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	5,419	2,700	918.00	4,576	2,280	775.20
หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน							
ขนาดเล็ก	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	161	80	27.2	130	65	22.1
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	221	110	37.4	181	90	30.6
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	470	234	79.56	365	182	61.88
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	939	468	159.12	731	364	123.76

ตารางที่ 4.11 ผลสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบ (ต่อ)

ขนาดอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight			กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight			
	พื้นที่	จำนวน	ขนาด	พื้นที่	จำนวน	ขนาด	
	หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง (ตร.ม.)	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ระบบ (kWp)	หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง (ตร.ม.)	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ระบบ (kWp)	
หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน							
ขนาดกลาง	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	361	180	61.2	261	130	44.2
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	482	240	81.6	381	190	64.6
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,106	551	187.34	839	418	142.12
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	2,212	1,102	374.68	1,678	836	284.24
ขนาดใหญ่	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	863	430	146.2	602	300	102
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1,174	585	198.9	903	450	153
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	2,709	1,350	459.00	2,288	1,140	387.60
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	5,419	2,700	918.00	4,576	2,280	775.20
หลังคาอาคารทรงโค้ง							
ขนาดเล็ก	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	161	80	27.2	120	60	20.4
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	221	110	37.4	171	85	28.9
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	470	234	79.56	365	182	61.88
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	939	468	159.12	731	364	123.76
ขนาดกลาง	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	361	180	61.2	241	120	40.8
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	482	240	81.6	381	190	64.6
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,106	551	187.34	839	418	142.12
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	2,212	1,102	374.68	1,678	836	284.24
ขนาดใหญ่	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	863	430	146.2	602	300	102
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1,174	585	198.9	903	450	153
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	2,709	1,350	459.00	2,288	1,140	387.60
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	5,419	2,700	918.00	4,576	2,280	775.20

ตารางที่ 4.11 ผลสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบ (ต่อ)

ขนาดอาคาร	รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight			กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight		
		พื้นที่	จำนวน	ขนาด	พื้นที่	จำนวน	ขนาด
		หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง (ตร.ม.)	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ระบบ (kWp)	หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง (ตร.ม.)	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ระบบ (kWp)
หลังคาอาคารทรงปั้นหยา							
ขนาดเล็ก	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	161	80	27.2	120	60	20.4
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	221	110	37.4	171	85	28.9
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	470	234	79.56	335	167	57
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	939	468	159.12	670	334	114
ขนาดกลาง	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	361	180	61.2	241	120	40.8
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	482	240	81.6	381	190	64.6
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,106	551	187.34	809	403	137.02
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	2,212	1,102	374.68	1,618	806	274.04
ขนาดใหญ่	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	863	430	146.2	602	300	102
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1,174	585	198.9	903	450	153
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	2,709	1,350	459.00	2,180	1,086	369.24
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	5,419	2,700	918.00	4,359	2,172	738.48

4.4.2 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่มจากแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวน 36 รูปแบบอาคาร ทั้ง 2 กรณี โดยกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight และกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight โดยแบ่งผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์การออกเป็น 4 รูปทรงของหลังคาอาคาร ดังนี้

4.4.2.1 หลังคาอาคารทรงจั่ว จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.12 อาคารขนาดกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้ง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา ในทางทิศเหนือ (N) - ทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 5 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) - ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 โดยในกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า ในกรณีที่ 2 ที่ติดตั้ง Skylight เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก อาคารขนาดกลาง และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันของ 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน และ 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา และ 15 องศา และในทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 75% และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านทิศเหนือ (N) และ ทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) และทิศตะวันตก (W) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะที่ 75%

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงจั่วขนาดเล็ก

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	92	89	87	33,400	32,624	31,644	64	63	61	23,388	22,845	22,159
	(NE)	91	89	86	33,331	32,508	31,526	64	62	60	23,338	22,763	22,075
	(E)	92	91	89	33,641	33,149	32,517	65	64	62	23,555	23,211	22,768
	(SE)	94	93	93	34,143	34,124	33,938	65	65	65	23,907	23,893	23,762
	(S)	95	96	97	34,623	35,063	35,289	66	67	68	24,241	24,550	24,707
	(SW)	95	96	96	34,550	34,922	35,082	66	67	67	24,191	24,451	24,563
	(W)	94	94	94	34,316	34,451	34,373	66	66	66	24,027	24,121	24,067
	(NW)	93	92	90	33,810	33,442	32,867	65	64	63	23,673	23,416	23,014
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	128	125	121	46,774	45,688	44,317	101	98	95	36,759	35,907	34,831
	(NE)	128	125	121	46,678	45,525	44,152	101	98	95	36,683	35,779	34,700
	(E)	129	127	125	47,111	46,423	45,537	101	100	98	37,022	36,482	35,787
	(SE)	131	131	130	47,813	47,786	47,526	103	103	102	37,574	37,552	37,347
	(S)	133	135	135	48,484	49,099	49,414	104	106	106	38,099	38,583	38,829
	(SW)	133	134	135	48,382	48,901	49,125	104	105	106	38,020	38,428	38,603
	(W)	132	132	132	48,055	48,243	48,134	103	104	104	37,764	37,911	37,826
	(NW)	130	128	126	47,347	46,832	46,028	102	101	99	37,208	36,805	36,174
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	265	259	251	96,875	94,626	91,785	210	206	199	76,813	75,029	72,774
	(NE)	265	258	251	96,674	94,288	91,440	210	205	199	76,654	74,761	72,502
	(E)	267	263	258	97,573	96,147	94,311	212	209	205	77,367	76,236	74,780
	(SE)	271	271	270	99,029	98,974	98,434	215	215	214	78,523	78,480	78,051
	(S)	275	279	280	100,419	101,695	102,347	218	221	222	79,626	80,639	81,157
	(SW)	275	277	279	100,209	101,285	101,750	218	220	221	79,459	80,314	80,684
	(W)	273	274	273	99,530	99,920	99,695	216	217	217	78,920	79,229	79,051
	(NW)	269	266	261	98,062	96,995	95,329	213	211	207	77,755	76,909	75,586
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	541	538	532	197,294	196,320	194,133	429	426	422	156,439	155,668	153,932
	(NE) - (SW)	539	536	529	196,884	195,573	193,191	428	425	420	156,114	155,075	153,186
	(E) - (W)	540	537	532	197,102	196,067	194,006	428	426	421	156,287	155,465	153,831
	(SE) - (NW)	540	537	531	197,091	195,970	193,763	428	426	421	156,278	155,389	153,637



ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร หลังคาอาคารทรงจั่วขนาดกลาง

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	201	197	191	73,489	71,781	69,626	137	134	130	50,101	48,937	47,467
	(NE)	201	196	190	73,336	71,524	69,365	137	134	130	49,997	48,762	47,289
	(E)	203	200	196	74,017	72,935	71,543	138	136	134	50,461	49,723	48,775
	(SE)	206	206	205	75,123	75,081	74,671	140	140	139	51,215	51,186	50,907
	(S)	209	211	213	76,176	77,145	77,640	142	144	145	51,934	52,595	52,933
	(SW)	208	211	211	76,018	76,834	77,187	142	144	144	51,826	52,383	52,624
	(W)	207	208	207	75,502	75,799	75,628	141	142	141	51,474	51,676	51,559
	(NW)	204	202	198	74,389	73,579	72,314	139	137	135	50,715	50,162	49,300
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	275	268	260	100,201	97,873	94,933	220	215	208	80,175	78,313	75,962
	(NE)	274	267	259	99,994	97,524	94,577	219	214	207	80,009	78,034	75,678
	(E)	277	272	267	100,923	99,448	97,549	221	218	214	80,752	79,572	78,053
	(SE)	281	280	279	102,430	102,373	101,815	225	224	223	81,957	81,912	81,464
	(S)	285	288	290	103,868	105,190	105,866	228	231	232	83,107	84,163	84,703
	(SW)	284	287	288	103,651	104,765	105,248	227	230	231	82,934	83,824	84,209
	(W)	282	283	283	102,948	103,353	103,119	226	227	226	82,372	82,695	82,509
	(NW)	278	275	270	101,430	100,326	98,600	222	220	216	81,157	80,275	78,895
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	631	617	598	230,477	225,122	218,364	476	465	451	173,690	169,653	164,560
	(NE)	630	615	596	230,000	224,320	217,545	475	463	449	173,330	169,049	163,942
	(E)	636	627	615	232,136	228,744	224,377	479	472	463	174,940	172,383	169,092
	(SE)	645	645	642	235,602	235,472	234,188	486	486	484	177,553	177,454	176,486
	(S)	655	663	667	238,910	241,949	243,502	493	500	503	180,044	182,335	183,506
	(SW)	653	660	663	238,412	240,973	242,082	492	498	500	179,669	181,600	182,436
	(W)	649	651	650	236,794	237,724	237,187	489	491	490	178,450	179,151	178,746
	(NW)	639	632	621	233,302	230,763	226,796	482	476	468	175,818	173,904	170,915
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	1,286	1,280	1,265	469,387	467,071	461,866	969	964	954	353,734	351,988	348,066
	(NE) - (SW)	1,283	1,275	1,259	468,412	465,293	459,626	967	961	949	352,999	350,649	346,379
	(E) - (W)	1,285	1,278	1,265	468,930	466,468	461,565	968	963	953	353,390	351,533	347,838
	(SE) - (NW)	1,285	1,277	1,263	468,904	466,235	460,984	968	963	952	353,371	351,359	347,402

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร  
หลังคาอาคารทรงจั่วขนาดใหญ่

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	491	480	465	179,290	175,125	169,868	343	335	325	125,065	122,160	118,493
	(NE)	490	478	464	178,918	174,500	169,231	342	333	323	124,806	121,724	118,048
	(E)	495	488	478	180,580	177,941	174,545	345	340	334	125,965	124,124	121,755
	(SE)	502	502	499	183,276	183,174	182,175	350	350	348	127,846	127,775	127,078
	(S)	509	516	519	185,847	188,210	189,418	355	360	362	129,640	131,288	132,131
	(SW)	508	514	516	185,461	187,452	188,314	354	358	360	129,370	130,759	131,360
	(W)	505	507	506	184,203	184,926	184,508	352	353	353	128,492	128,997	128,705
	(NW)	497	492	483	181,487	179,511	176,427	347	343	337	126,597	125,220	123,068
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	668	653	633	243,917	238,251	231,100	514	502	487	187,597	183,239	177,739
	(NE)	667	650	631	243,412	237,401	230,232	513	500	485	187,209	182,586	177,072
	(E)	673	663	651	245,672	242,082	237,462	518	510	500	188,947	186,186	182,632
	(SE)	683	683	679	249,341	249,202	247,842	525	525	522	191,769	191,662	190,617
	(S)	693	702	706	252,839	256,054	257,697	533	540	543	194,460	196,932	198,196
	(SW)	691	699	702	252,313	255,022	256,195	532	537	540	194,055	196,139	197,041
	(W)	687	689	688	250,601	251,585	251,017	528	530	529	192,738	193,495	193,058
	(NW)	676	669	658	246,906	244,219	240,022	520	515	506	189,896	187,829	184,601
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	1,542	1,506	1,461	562,855	549,779	533,275	1,304	1,274	1,236	476,010	464,952	450,995
	(NE)	1,539	1,501	1,456	561,688	547,818	531,274	1,301	1,269	1,231	475,024	463,293	449,303
	(E)	1,553	1,530	1,501	566,905	558,620	547,958	1,314	1,294	1,270	479,435	472,428	463,412
	(SE)	1,576	1,575	1,567	575,370	575,051	571,913	1,333	1,332	1,325	486,594	486,324	483,670
	(S)	1,598	1,619	1,629	583,444	590,863	594,656	1,352	1,369	1,378	493,421	499,695	502,903
	(SW)	1,595	1,612	1,620	582,230	588,482	591,189	1,349	1,364	1,370	492,395	497,682	499,971
	(W)	1,584	1,591	1,587	578,280	580,549	579,239	1,340	1,345	1,342	489,054	490,974	489,865
	(NW)	1,561	1,544	1,517	569,752	563,551	553,865	1,320	1,306	1,283	481,843	476,598	468,408
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	3,141	3,125	3,090	1,146,298	1,140,642	1,127,931	2,656	2,643	2,613	969,431	964,647	953,898
	(NE) - (SW)	3,134	3,113	3,075	1,143,918	1,136,300	1,122,463	2,650	2,633	2,601	967,419	960,975	949,273
	(E) - (W)	3,137	3,121	3,088	1,145,184	1,139,169	1,127,197	2,653	2,639	2,612	968,489	963,402	953,277
	(SE) - (NW)	3,137	3,119	3,084	1,145,122	1,138,602	1,125,778	2,653	2,638	2,608	968,436	962,922	952,078



4.4.2.2 หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.16 อาคารขนาดกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.18 พบว่า 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 โดยในกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า ในกรณีที่ 2 ที่ติดตั้ง Skylight เนื่องจากมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากกว่า

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก อาคารขนาดกลาง และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันของ 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา และ 15 องศา และในทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 75%

ตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนขนาดเล็ก

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	92	89	87	33,400	32,624	31,644	73	71	69	26,713	26,092	25,307
	(NE)	91	89	86	33,331	32,508	31,526	73	71	69	26,658	25,998	25,212
	(E)	92	91	89	33,641	33,149	32,517	74	73	71	26,906	26,512	26,006
	(SE)	94	93	93	34,143	34,124	33,938	75	75	74	27,308	27,293	27,144
	(S)	95	96	97	34,623	35,063	35,289	76	77	77	27,691	28,044	28,225
	(SW)	95	96	96	34,550	34,922	35,082	76	77	77	27,633	27,931	28,060
	(W)	94	94	94	34,316	34,451	34,373	75	75	75	27,446	27,553	27,492
	(NW)	93	92	90	33,810	33,442	32,867	74	73	72	27,041	26,746	26,286
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	128	125	121	46,774	45,688	44,317	101	98	95	36,759	35,907	34,831
	(NE)	128	125	121	46,678	45,525	44,152	101	98	95	36,683	35,779	34,700
	(E)	129	127	125	47,111	46,423	45,537	101	100	98	37,022	36,482	35,787
	(SE)	131	131	130	47,813	47,786	47,526	103	103	102	37,574	37,552	37,347
	(S)	133	135	135	48,484	49,099	49,414	104	106	106	38,099	38,583	38,829
	(SW)	133	134	135	48,382	48,901	49,125	104	105	106	38,020	38,428	38,603
	(W)	132	132	132	48,055	48,243	48,134	103	104	104	37,764	37,911	37,826
	(NW)	130	128	126	47,347	46,832	46,028	102	101	99	37,208	36,805	36,174
ติดตั้งแผงรับพลังงานของพื้นที่หลังคา	(N)	265	259	251	96,875	94,626	91,785	210	206	199	76,813	75,029	72,774
	(NE)	265	258	251	96,674	94,288	91,440	210	205	199	76,654	74,761	72,502
	(E)	267	263	258	97,573	96,147	94,311	212	209	205	77,367	76,236	74,780
	(SE)	271	271	270	99,029	98,974	98,434	215	215	214	78,523	78,480	78,051
	(S)	275	279	280	100,419	101,695	102,347	218	221	222	79,626	80,639	81,157
	(SW)	275	277	279	100,209	101,285	101,750	218	220	221	79,459	80,314	80,684
	(W)	273	274	273	99,530	99,920	99,695	216	217	217	78,920	79,229	79,051
	(NW)	269	266	261	98,062	96,995	95,329	213	211	207	77,755	76,909	75,586
ติดตั้งแผงขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N)	531	518	503	193,751	189,251	183,571	421	411	399	153,627	150,057	145,549
	(NE)	530	517	501	193,349	188,576	182,881	420	410	397	153,309	149,522	145,004
	(E)	535	527	517	195,146	192,294	188,623	424	418	410	154,733	152,472	149,561
	(SE)	543	542	539	198,058	197,949	196,868	430	430	428	157,045	156,960	156,102
	(S)	550	557	561	200,837	203,389	204,695	436	442	445	159,251	161,279	162,315
	(SW)	549	555	558	200,419	202,571	203,501	435	440	442	158,918	160,628	161,368
	(W)	545	548	546	199,059	199,840	199,390	432	434	433	157,840	158,459	158,102
	(NW)	537	531	522	196,124	193,991	190,657	426	421	414	155,511	153,818	151,172

ตารางที่ 4.17 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร  
หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนขนาดกลาง

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	201	197	191	73,489	71,781	69,626	146	143	139	53,461	52,220	50,654
	(NE)	201	196	190	73,336	71,524	69,365	146	143	138	53,350	52,034	50,464
	(E)	203	200	196	74,017	72,935	71,543	148	145	143	53,844	53,058	52,047
	(SE)	206	206	205	75,123	75,081	74,671	150	150	149	54,647	54,616	54,319
	(S)	209	211	213	76,176	77,145	77,640	152	154	155	55,413	56,116	56,475
	(SW)	208	211	211	76,018	76,834	77,187	151	153	154	55,297	55,890	56,146
	(W)	207	208	207	75,502	75,799	75,628	150	151	151	54,924	55,139	55,014
	(NW)	204	202	198	74,389	73,579	72,314	148	147	144	54,115	53,527	52,608
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	275	268	260	100,201	97,873	94,933	220	215	208	80,175	78,313	75,962
	(NE)	274	267	259	99,994	97,524	94,577	219	214	207	80,009	78,034	75,678
	(E)	277	272	267	100,923	99,448	97,549	221	218	214	80,752	79,572	78,053
	(SE)	281	280	279	102,430	102,373	101,815	225	224	223	81,957	81,912	81,464
	(S)	285	288	290	103,868	105,190	105,866	228	231	232	83,107	84,163	84,703
	(SW)	284	287	288	103,651	104,765	105,248	227	230	231	82,934	83,824	84,209
	(W)	282	283	283	102,948	103,353	103,119	226	227	226	82,372	82,695	82,509
	(NW)	278	275	270	101,430	100,326	98,600	222	220	216	81,157	80,275	78,895
ติดตั้งแผงตั้งของพื้นที่หลังคา	(N)	631	617	598	230,477	225,122	218,364	476	465	451	173,690	169,653	164,560
	(NE)	630	615	596	230,000	224,320	217,545	475	463	449	173,330	169,049	163,942
	(E)	636	627	615	232,136	228,744	224,377	479	472	463	174,940	172,383	169,092
	(SE)	645	645	642	235,602	235,472	234,188	486	486	484	177,553	177,454	176,486
	(S)	655	663	667	238,910	241,949	243,502	493	500	503	180,044	182,335	183,506
	(SW)	653	660	663	238,412	240,973	242,082	492	498	500	179,669	181,600	182,436
	(W)	649	651	650	236,794	237,724	237,187	489	491	490	178,450	179,151	178,746
	(NW)	639	632	621	233,302	230,763	226,796	482	476	468	175,818	173,904	170,915
ติดตั้งแผงขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N)	1,263	1,234	1,197	460,955	450,245	436,728	952	930	902	347,379	339,307	329,120
	(NE)	1,260	1,229	1,192	460,000	448,639	435,089	950	926	898	346,659	338,098	327,885
	(E)	1,272	1,253	1,229	464,273	457,487	448,755	959	945	927	349,879	344,766	338,183
	(SE)	1,291	1,290	1,283	471,205	470,945	468,376	973	972	967	355,106	354,908	352,972
	(S)	1,309	1,326	1,334	477,819	483,898	487,004	987	999	1,006	360,089	364,670	367,011
	(SW)	1,306	1,320	1,326	476,824	481,946	484,164	984	995	1,000	359,339	363,200	364,872
	(W)	1,298	1,303	1,300	473,588	475,448	474,374	978	982	979	356,901	358,301	357,492
	(NW)	1,278	1,264	1,243	466,603	461,526	453,593	963	953	937	351,637	347,809	341,831

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร  
หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนขนาดใหญ่

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	491	480	465	179,290	175,125	169,868	343	335	325	125,065	122,160	118,493
	(NE)	490	478	464	178,918	174,500	169,231	342	333	323	124,806	121,724	118,048
	(E)	495	488	478	180,580	177,941	174,545	345	340	334	125,965	124,124	121,755
	(SE)	502	502	499	183,276	183,174	182,175	350	350	348	127,846	127,775	127,078
	(S)	509	516	519	185,847	188,210	189,418	355	360	362	129,640	131,288	132,131
	(SW)	508	514	516	185,461	187,452	188,314	354	358	360	129,370	130,759	131,360
	(W)	505	507	506	184,203	184,926	184,508	352	353	353	128,492	128,997	128,705
	(NW)	497	492	483	181,487	179,511	176,427	347	343	337	126,597	125,220	123,068
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	668	653	633	243,917	238,251	231,100	514	502	487	187,597	183,239	177,739
	(NE)	667	650	631	243,412	237,401	230,232	513	500	485	187,209	182,586	177,072
	(E)	673	663	651	245,672	242,082	237,462	518	510	500	188,947	186,186	182,632
	(SE)	683	683	679	249,341	249,202	247,842	525	525	522	191,769	191,662	190,617
	(S)	693	702	706	252,839	256,054	257,697	533	540	543	194,460	196,932	198,196
	(SW)	691	699	702	252,313	255,022	256,195	532	537	540	194,055	196,139	197,041
	(W)	687	689	688	250,601	251,585	251,017	528	530	529	192,738	193,495	193,058
	(NW)	676	669	658	246,906	244,219	240,022	520	515	506	189,896	187,829	184,601
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	1,542	1,506	1,461	562,855	549,779	533,275	1,304	1,274	1,236	476,010	464,952	450,995
	(NE)	1,539	1,501	1,456	561,688	547,818	531,274	1,301	1,269	1,231	475,024	463,293	449,303
	(E)	1,553	1,530	1,501	566,905	558,620	547,958	1,314	1,294	1,270	479,435	472,428	463,412
	(SE)	1,576	1,575	1,567	575,370	575,051	571,913	1,333	1,332	1,325	486,594	486,324	483,670
	(S)	1,598	1,619	1,629	583,444	590,863	594,656	1,352	1,369	1,378	493,421	499,695	502,903
	(SW)	1,595	1,612	1,620	582,230	588,482	591,189	1,349	1,364	1,370	492,395	497,682	499,971
	(W)	1,584	1,591	1,587	578,280	580,549	579,239	1,340	1,345	1,342	489,054	490,974	489,865
	(NW)	1,561	1,544	1,517	569,752	563,551	553,865	1,320	1,306	1,283	481,843	476,598	468,408
ติดตั้งแผงขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N)	3,084	3,012	2,922	1,125,709	1,099,558	1,066,549	2,608	2,548	2,471	952,020	929,904	901,989
	(NE)	3,078	3,002	2,911	1,123,377	1,095,636	1,062,547	2,603	2,539	2,462	950,047	926,587	898,605
	(E)	3,106	3,061	3,003	1,133,810	1,117,240	1,095,916	2,627	2,589	2,539	958,869	944,857	926,823
	(SE)	3,153	3,151	3,134	1,150,740	1,150,102	1,143,827	2,666	2,665	2,650	973,187	972,648	967,340
	(S)	3,197	3,238	3,258	1,166,888	1,181,726	1,189,312	2,704	2,738	2,756	986,843	999,390	1,005,806
	(SW)	3,190	3,225	3,239	1,164,460	1,176,963	1,182,378	2,698	2,727	2,740	984,790	995,363	999,942
	(W)	3,169	3,181	3,174	1,156,559	1,161,098	1,158,478	2,680	2,690	2,684	978,108	981,947	979,731
	(NW)	3,122	3,088	3,035	1,139,504	1,127,101	1,107,730	2,640	2,611	2,567	963,686	953,197	936,816





4.4.2.3 หลังคาอาคารทรงโค้ง จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.20 อาคารขนาดกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.22 พบว่า 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา ในทางทิศเหนือ (N) - ทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 5 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) - ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 โดยในกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า ในกรณีที่ 2 ที่ติดตั้ง Skylight เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากกว่า

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก อาคารขนาดกลาง และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.23 พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันของ 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน และ 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา และ 15 องศา และในทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 75% และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านทิศเหนือ (N) และ ทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะที่ 75%

ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคาอาคารทรงโค้งขนาดเล็ก

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	92	89	87	33,400	32,624	31,644	64	63	61	23,388	22,845	22,159
	(NE)	91	89	86	33,331	32,508	31,526	64	62	60	23,338	22,763	22,075
	(E)	92	91	89	33,641	33,149	32,517	65	64	62	23,555	23,211	22,768
	(SE)	94	93	93	34,143	34,124	33,938	65	65	65	23,907	23,893	23,762
	(S)	95	96	97	34,623	35,063	35,289	66	67	68	24,241	24,550	24,707
	(SW)	95	96	96	34,550	34,922	35,082	66	67	67	24,191	24,451	24,563
	(W)	94	94	94	34,316	34,451	34,373	66	66	66	24,027	24,121	24,067
	(NW)	93	92	90	33,810	33,442	32,867	65	64	63	23,673	23,416	23,014
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	128	125	121	46,774	45,688	44,317	101	98	95	36,759	35,907	34,831
	(NE)	128	125	121	46,678	45,525	44,152	101	98	95	36,683	35,779	34,700
	(E)	129	127	125	47,111	46,423	45,537	101	100	98	37,022	36,482	35,787
	(SE)	131	131	130	47,813	47,786	47,526	103	103	102	37,574	37,552	37,347
	(S)	133	135	135	48,484	49,099	49,414	104	106	106	38,099	38,583	38,829
	(SW)	133	134	135	48,382	48,901	49,125	104	105	106	38,020	38,428	38,603
	(W)	132	132	132	48,055	48,243	48,134	103	104	104	37,764	37,911	37,826
	(NW)	130	128	126	47,347	46,832	46,028	102	101	99	37,208	36,805	36,174
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	265	259	251	96,875	94,626	91,785	210	206	199	76,813	75,029	72,774
	(NE)	265	258	251	96,674	94,288	91,440	210	205	199	76,654	74,761	72,502
	(E)	267	263	258	97,573	96,147	94,311	212	209	205	77,367	76,236	74,780
	(SE)	271	271	270	99,029	98,974	98,434	215	215	214	78,523	78,480	78,051
	(S)	275	279	280	100,419	101,695	102,347	218	221	222	79,626	80,639	81,157
	(SW)	275	277	279	100,209	101,285	101,750	218	220	221	79,459	80,314	80,684
	(W)	273	274	273	99,530	99,920	99,695	216	217	217	78,920	79,229	79,051
	(NW)	269	266	261	98,062	96,995	95,329	213	211	207	77,755	76,909	75,586
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	541	538	532	197,294	196,320	194,133	429	426	422	156,439	155,668	153,932
	(NE) - (SW)	539	536	529	196,884	195,573	193,191	428	425	420	156,114	155,075	153,186
	(E) - (W)	540	537	532	197,102	196,067	194,006	428	426	421	156,287	155,465	153,831
	(SE) - (NW)	540	537	531	197,091	195,970	193,763	428	426	421	156,278	155,389	153,637

ตารางที่ 4.21 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร  
หลังคาอาคารทรงโค้งขนาดกลาง

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	201	197	191	73,489	71,781	69,626	137	134	130	50,101	48,937	47,467
	(NE)	201	196	190	73,336	71,524	69,365	137	134	130	49,997	48,762	47,289
	(E)	203	200	196	74,017	72,935	71,543	138	136	134	50,461	49,723	48,775
	(SE)	206	206	205	75,123	75,081	74,671	140	140	139	51,215	51,186	50,907
	(S)	209	211	213	76,176	77,145	77,640	142	144	145	51,934	52,595	52,933
	(SW)	208	211	211	76,018	76,834	77,187	142	144	144	51,826	52,383	52,624
	(W)	207	208	207	75,502	75,799	75,628	141	142	141	51,474	51,676	51,559
	(NW)	204	202	198	74,389	73,579	72,314	139	137	135	50,715	50,162	49,300
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	275	268	260	100,201	97,873	94,933	220	215	208	80,175	78,313	75,962
	(NE)	274	267	259	99,994	97,524	94,577	219	214	207	80,009	78,034	75,678
	(E)	277	272	267	100,923	99,448	97,549	221	218	214	80,752	79,572	78,053
	(SE)	281	280	279	102,430	102,373	101,815	225	224	223	81,957	81,912	81,464
	(S)	285	288	290	103,868	105,190	105,866	228	231	232	83,107	84,163	84,703
	(SW)	284	287	288	103,651	104,765	105,248	227	230	231	82,934	83,824	84,209
	(W)	282	283	283	102,948	103,353	103,119	226	227	226	82,372	82,695	82,509
	(NW)	278	275	270	101,430	100,326	98,600	222	220	216	81,157	80,275	78,895
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	631	617	598	230,477	225,122	218,364	476	465	451	173,690	169,653	164,560
	(NE)	630	615	596	230,000	224,320	217,545	475	463	449	173,330	169,049	163,942
	(E)	636	627	615	232,136	228,744	224,377	479	472	463	174,940	172,383	169,092
	(SE)	645	645	642	235,602	235,472	234,188	486	486	484	177,553	177,454	176,486
	(S)	655	663	667	238,910	241,949	243,502	493	500	503	180,044	182,335	183,506
	(SW)	653	660	663	238,412	240,973	242,082	492	498	500	179,669	181,600	182,436
	(W)	649	651	650	236,794	237,724	237,187	489	491	490	178,450	179,151	178,746
	(NW)	639	632	621	233,302	230,763	226,796	482	476	468	175,818	173,904	170,915
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	1,286	1,280	1,265	469,387	467,071	461,866	969	964	954	353,734	351,988	348,066
	(NE) - (SW)	1,283	1,275	1,259	468,412	465,293	459,626	967	961	949	352,999	350,649	346,379
	(E) - (W)	1,285	1,278	1,265	468,930	466,468	461,565	968	963	953	353,390	351,533	347,838
	(SE) - (NW)	1,285	1,277	1,263	468,904	466,235	460,984	968	963	952	353,371	351,359	347,402

ตารางที่ 4.22 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของหลังคาอาคารทรงโค้ง อาคารขนาดใหญ่

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	491	480	465	179,290	175,125	169,868	343	335	325	125,065	122,160	118,493
	(NE)	490	478	464	178,918	174,500	169,231	342	333	323	124,806	121,724	118,048
	(E)	495	488	478	180,580	177,941	174,545	345	340	334	125,965	124,124	121,755
	(SE)	502	502	499	183,276	183,174	182,175	350	350	348	127,846	127,775	127,078
	(S)	509	516	519	185,847	188,210	189,418	355	360	362	129,640	131,288	132,131
	(SW)	508	514	516	185,461	187,452	188,314	354	358	360	129,370	130,759	131,360
	(W)	505	507	506	184,203	184,926	184,508	352	353	353	128,492	128,997	128,705
	(NW)	497	492	483	181,487	179,511	176,427	347	343	337	126,597	125,220	123,068
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	668	653	633	243,917	238,251	231,100	514	502	487	187,597	183,239	177,739
	(NE)	667	650	631	243,412	237,401	230,232	513	500	485	187,209	182,586	177,072
	(E)	673	663	651	245,672	242,082	237,462	518	510	500	188,947	186,186	182,632
	(SE)	683	683	679	249,341	249,202	247,842	525	525	522	191,769	191,662	190,617
	(S)	693	702	706	252,839	256,054	257,697	533	540	543	194,460	196,932	198,196
	(SW)	691	699	702	252,313	255,022	256,195	532	537	540	194,055	196,139	197,041
	(W)	687	689	688	250,601	251,585	251,017	528	530	529	192,738	193,495	193,058
	(NW)	676	669	658	246,906	244,219	240,022	520	515	506	189,896	187,829	184,601
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	1,542	1,506	1,461	562,855	549,779	533,275	1,304	1,274	1,236	476,010	464,952	450,995
	(NE)	1,539	1,501	1,456	561,688	547,818	531,274	1,301	1,269	1,231	475,024	463,293	449,303
	(E)	1,553	1,530	1,501	566,905	558,620	547,958	1,314	1,294	1,270	479,435	472,428	463,412
	(SE)	1,576	1,575	1,567	575,370	575,051	571,913	1,333	1,332	1,325	486,594	486,324	483,670
	(S)	1,598	1,619	1,629	583,444	590,863	594,656	1,352	1,369	1,378	493,421	499,695	502,903
	(SW)	1,595	1,612	1,620	582,230	588,482	591,189	1,349	1,364	1,370	492,395	497,682	499,971
	(W)	1,584	1,591	1,587	578,280	580,549	579,239	1,340	1,345	1,342	489,054	490,974	489,865
	(NW)	1,561	1,544	1,517	569,752	563,551	553,865	1,320	1,306	1,283	481,843	476,598	468,408
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	3,141	3,125	3,090	1,146,298	1,140,642	1,127,931	2,656	2,643	2,613	969,431	964,647	953,898
	(NE) - (SW)	3,134	3,113	3,075	1,143,918	1,136,300	1,122,463	2,650	2,633	2,601	967,419	960,975	949,273
	(E) - (W)	3,137	3,121	3,088	1,145,184	1,139,169	1,127,197	2,653	2,639	2,612	968,489	963,402	953,277
	(SE) - (NW)	3,137	3,119	3,084	1,145,122	1,138,602	1,125,778	2,653	2,638	2,608	968,436	962,922	952,078

ตารางที่ 4.23 ผลการคำนวณค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคาโค้ง

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ค่าสมรรถนะกรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (%)			ค่าสมรรถนะกรณีติดตั้ง Skylight (%)			ค่าสมรรถนะกรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (%)			ค่าสมรรถนะกรณีติดตั้ง Skylight (%)			ค่าสมรรถนะกรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (%)			ค่าสมรรถนะกรณีติดตั้ง Skylight (%)		
		กรณีที่ 1			กรณีที่ 2			กรณีที่ 1			กรณีที่ 2			กรณีที่ 1			กรณีที่ 2		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอยเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(NE)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(E)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(SE)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(S)	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76
	(SW)	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76
	(W)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(NW)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
พอยเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(NE)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(E)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(SE)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(S)	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76
	(SW)	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76
	(W)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(NW)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(NE)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(E)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(SE)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(S)	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76	75	76	76
	(SW)	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76
	(W)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	(NW)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75
	(NE) - (SW)	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75
	(E) - (W)	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75
	(SE) - (NW)	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75	76	75	75

4.4.2.4 หลังคาอาคารทรงปั้นหยา จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.24 อาคารขนาดกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.25 และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.26 พบว่า 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอยเพียงช่วงเวลากลางวัน และ

2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ในด้านยาว: ทิศใต้ (S) ด้านกว้าง : ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) และทิศตะวันตก (W) ทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และด้านยาว: ทิศเหนือ (N) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา ด้านยาว: ทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) และทิศตะวันตก (W) มุมเอียงของหลังคาที่ 5 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด และ ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 โดยในกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า ในกรณีที่ 2 ที่ติดตั้ง Skylight เนื่องจากมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากกว่า

จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 ของอาคารขนาดเล็ก อาคารขนาดกลาง และอาคารขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.27 พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันของ 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา และ 15 องศา และในทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 75% 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้านยาว: ทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) และทิศตะวันตก (W) มุมเอียงหลังคาที่ 5 10 และ 15 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 75% และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา พบว่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงที่สุดมีค่า 76% ในทางด้าน ด้านยาว: ทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) และทิศตะวันตก (W) ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (E) และทิศตะวันตก (W) ด้านกว้าง: ทิศเหนือ (N) และ ทิศใต้ (S) ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียง



เหนือ (NW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงหลังคา  
ที่ 5 องศา นอกเหนือจากทิศทางหลังคาและมุมที่กล่าวข้างต้น พบว่า มีค่าสมรรถนะของระบบผลิต  
ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 75%

**ตารางที่ 4.24** ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของหลังคา  
อาคารทรงปั้นหยา อาคารขนาดเล็ก

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอดเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	92	89	87	33,400	32,624	31,644	64	63	61	23,388	22,845	22,159
	(NE)	91	89	86	33,331	32,508	31,526	64	62	60	23,338	22,763	22,075
	(E)	92	91	89	33,641	33,149	32,517	65	64	62	23,555	23,211	22,768
	(SE)	94	93	93	34,143	34,124	33,938	65	65	65	23,907	23,893	23,762
	(S)	95	96	97	34,623	35,063	35,289	66	67	68	24,241	24,550	24,707
	(SW)	95	96	96	34,550	34,922	35,082	66	67	67	24,191	24,451	24,563
	(W)	94	94	94	34,316	34,451	34,373	66	66	66	24,027	24,121	24,067
	(NW)	93	92	90	33,810	33,442	32,867	65	64	63	23,673	23,416	23,014
พอดเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	128	125	121	46,774	45,688	44,317	101	98	95	36,759	35,907	34,831
	(NE)	128	125	121	46,678	45,525	44,152	101	98	95	36,683	35,779	34,700
	(E)	129	127	125	47,111	46,423	45,537	101	100	98	37,022	36,482	35,787
	(SE)	131	131	130	47,813	47,786	47,526	103	103	102	37,574	37,552	37,347
	(S)	133	135	135	48,484	49,099	49,414	104	106	106	38,099	38,583	38,829
	(SW)	133	134	135	48,382	48,901	49,125	104	105	106	38,020	38,428	38,603
	(W)	132	132	132	48,055	48,243	48,134	103	104	104	37,764	37,911	37,826
	(NW)	130	128	126	47,347	46,832	46,028	102	101	99	37,208	36,805	36,174
ติดตั้งแผงขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N) และ (E) - (W)	239	235	230	87,380	85,901	83,916	184	181	177	67,264	66,189	64,730
	(NE) และ (NW) - (SE)	239	235	229	87,261	85,687	83,676	184	181	177	67,179	66,037	64,554
	(E) และ (N) - (S)	241	238	234	87,819	86,832	85,417	185	183	180	67,578	66,854	65,792
	(SE) และ (NE) - (SW)	243	242	240	88,609	88,373	87,688	187	186	185	68,124	67,921	67,368
	(S) และ (E) - (W)	245	247	247	89,458	90,045	90,109	188	189	189	68,729	69,114	69,100
	(SW) และ (NW) - (SE)	245	246	246	89,333	89,790	89,721	188	189	189	68,641	68,932	68,820
	(W) และ (N) - (S)	244	244	243	88,966	89,044	88,573	187	187	186	68,388	68,416	68,020
	(NW) และ (NE) - (SW)	241	239	235	88,042	87,214	85,867	186	184	181	67,724	67,101	66,084
ติดตั้งแผงขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N) - (S) และ (E) - (W)	484	482	477	176,838	175,946	174,024	373	371	367	135,993	135,303	133,830
	(NE) - (SW) และ (SE) - (NW)	484	481	475	176,595	175,477	173,398	372	370	365	135,820	134,968	133,373
	(E) - (W) และ (N) - (S)	484	482	477	176,785	175,876	173,990	373	371	367	135,966	135,270	133,812
	(SE) - (NW) และ (NE) - (SW)	484	481	475	176,651	175,587	173,555	372	370	366	135,848	135,022	133,452

ตารางที่ 4.25 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคาร  
หลังคาอาคารทรงปั้นหยา ขนาดกลาง

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอดเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	201	197	191	73,489	71,781	69,626	137	134	130	50,101	48,937	47,467
	(NE)	201	196	190	73,336	71,524	69,365	137	134	130	49,997	48,762	47,289
	(E)	203	200	196	74,017	72,935	71,543	138	136	134	50,461	49,723	48,775
	(SE)	206	206	205	75,123	75,081	74,671	140	140	139	51,215	51,186	50,907
	(S)	209	211	213	76,176	77,145	77,640	142	144	145	51,934	52,595	52,933
	(SW)	208	211	211	76,018	76,834	77,187	142	144	144	51,826	52,383	52,624
	(W)	207	208	207	75,502	75,799	75,628	141	142	141	51,474	51,676	51,559
	(NW)	204	202	198	74,389	73,579	72,314	139	137	135	50,715	50,162	49,300
พอดเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	275	268	260	100,201	97,873	94,933	220	215	208	80,175	78,313	75,962
	(NE)	274	267	259	99,994	97,524	94,577	219	214	207	80,009	78,034	75,678
	(E)	277	272	267	100,923	99,448	97,549	221	218	214	80,752	79,572	78,053
	(SE)	281	280	279	102,430	102,373	101,815	225	224	223	81,957	81,912	81,464
	(S)	285	288	290	103,868	105,190	105,866	228	231	232	83,107	84,163	84,703
	(SW)	284	287	288	103,651	104,765	105,248	227	230	231	82,934	83,824	84,209
	(W)	282	283	283	102,948	103,353	103,119	226	227	226	82,372	82,695	82,509
	(NW)	278	275	270	101,430	100,326	98,600	222	220	216	81,157	80,275	78,895
ติดตั้งแผงตั้งเรียงกันที่หลังคา	(N) และ (E) - (W)	589	579	565	214,933	211,163	206,141	460	453	442	168,043	165,239	161,464
	(NE) และ (NW) - (SE)	588	577	563	214,625	210,616	205,535	460	452	441	167,818	164,835	161,009
	(E) และ (N) - (S)	592	585	575	216,057	213,558	210,019	463	458	450	168,871	166,996	164,292
	(SE) และ (NE) - (SW)	598	596	592	218,126	217,592	215,951	467	465	462	170,352	169,885	168,549
	(S) และ (E) - (W)	604	608	609	220,310	221,890	222,170	471	474	474	171,954	173,041	173,122
	(SW) และ (NW) - (SE)	603	606	606	219,989	221,235	221,181	470	473	472	171,719	172,559	172,388
	(W) และ (N) - (S)	600	601	598	219,027	219,284	218,187	469	469	466	171,032	171,161	170,233
	(NW) และ (NE) - (SW)	594	588	579	216,659	214,588	211,238	464	459	452	169,286	167,700	165,122
ติดตั้งแผงบนลาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N) - (S) และ (E) - (W)	1,192	1,186	1,173	435,243	433,053	428,311	931	927	917	339,997	338,280	334,586
	(NE) - (SW) และ (SE) - (NW)	1,191	1,183	1,169	434,614	431,851	426,716	930	924	913	339,537	337,394	333,397
	(E) - (W) และ (N) - (S)	1,192	1,186	1,173	435,084	432,842	428,206	931	926	917	339,903	338,157	334,526
	(SE) - (NW) และ (NE) - (SW)	1,191	1,184	1,170	434,785	432,179	427,189	931	925	914	339,638	337,585	333,671

ตารางที่ 4.26 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของอาคาร  
หลังคาอาคารทรงปั้นหยา ขนาดใหญ่

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight						กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight					
		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน (kWh/วัน)			ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	491	480	465	179,290	175,125	169,868	343	335	325	125,065	122,160	118,493
	(NE)	490	478	464	178,918	174,500	169,231	342	333	323	124,806	121,724	118,048
	(E)	495	488	478	180,580	177,941	174,545	345	340	334	125,965	124,124	121,755
	(SE)	502	502	499	183,276	183,174	182,175	350	350	348	127,846	127,775	127,078
	(S)	509	516	519	185,847	188,210	189,418	355	360	362	129,640	131,288	132,131
	(SW)	508	514	516	185,461	187,452	188,314	354	358	360	129,370	130,759	131,360
	(W)	505	507	506	184,203	184,926	184,508	352	353	353	128,492	128,997	128,705
	(NW)	497	492	483	181,487	179,511	176,427	347	343	337	126,597	125,220	123,068
พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	668	653	633	243,917	238,251	231,100	514	502	487	187,597	183,239	177,739
	(NE)	667	650	631	243,412	237,401	230,232	513	500	485	187,209	182,586	177,072
	(E)	673	663	651	245,672	242,082	237,462	518	510	500	188,947	186,186	182,632
	(SE)	683	683	679	249,341	249,202	247,842	525	525	522	191,769	191,662	190,617
	(S)	693	702	706	252,839	256,054	257,697	533	540	543	194,460	196,932	198,196
	(SW)	691	699	702	252,313	255,022	256,195	532	537	540	194,055	196,139	197,041
	(W)	687	689	688	250,601	251,585	251,017	528	530	529	192,738	193,495	193,058
	(NW)	676	669	658	246,906	244,219	240,022	520	515	506	189,896	187,829	184,601
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N) และ (E) - (W)	1,491	1,465	1,431	544,228	534,823	522,265	1,243	1,223	1,195	453,774	446,225	436,060
	(NE) และ (NW) - (SE)	1,489	1,462	1,427	543,464	533,466	520,747	1,242	1,220	1,191	453,170	445,142	434,833
	(E) และ (N) - (S)	1,499	1,482	1,457	547,022	540,773	531,877	1,249	1,235	1,216	456,003	450,952	443,662
	(SE) และ (NE) - (SW)	1,513	1,509	1,497	552,123	550,718	546,512	1,260	1,257	1,247	459,978	458,707	455,094
	(S) และ (E) - (W)	1,528	1,538	1,540	557,544	561,397	561,968	1,272	1,280	1,281	464,283	467,195	467,391
	(SW) และ (NW) - (SE)	1,525	1,534	1,533	556,750	559,768	559,500	1,270	1,276	1,275	463,654	465,897	465,415
	(W) และ (N) - (S)	1,519	1,520	1,513	554,380	554,958	552,111	1,265	1,266	1,259	461,809	462,145	459,628
	(NW) และ (NE) - (SW)	1,503	1,488	1,465	548,489	543,280	534,839	1,252	1,241	1,222	457,110	452,837	445,882
ติดตั้งแผงขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N) - (S) และ (E) - (W)	3,019	3,003	2,971	1,101,772	1,096,221	1,084,233	2,515	2,503	2,475	918,058	913,420	903,451
	(NE) - (SW) และ (SE) - (NW)	3,014	2,995	2,960	1,100,213	1,093,234	1,080,247	2,512	2,496	2,466	916,824	911,039	900,247
	(E) - (W) และ (N) - (S)	3,018	3,002	2,970	1,101,402	1,095,732	1,083,988	2,515	2,502	2,475	917,811	913,097	903,290
	(SE) - (NW) และ (NE) - (SW)	3,015	2,997	2,963	1,100,612	1,093,998	1,081,351	2,513	2,497	2,468	917,088	911,543	900,976

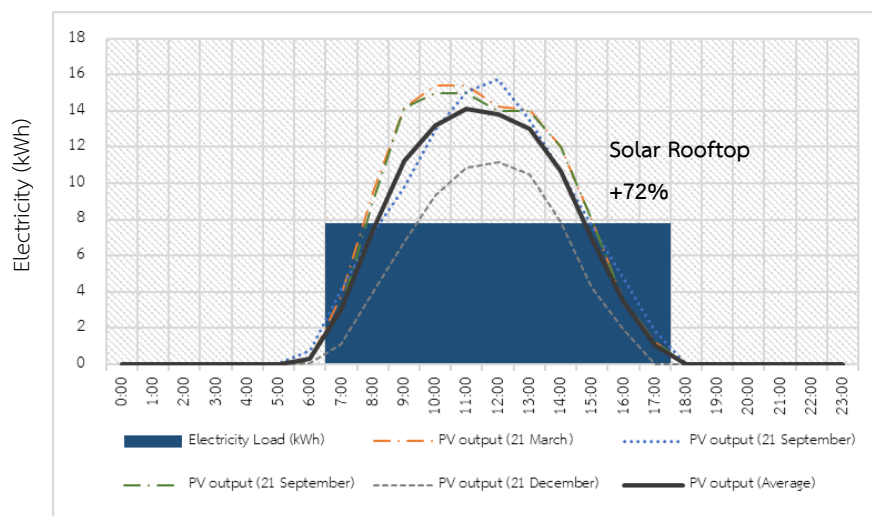


4.4.3 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแสงธรรมชาติมาวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน และนำมาเปรียบเทียบกับความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายวัน ของหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปทรง และ 3 ขนาด ในการใช้งานพอเพียงในช่วงเวลากลางวัน และการใช้งานพอเพียงในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน ดังแสดงในตารางที่ 4.28

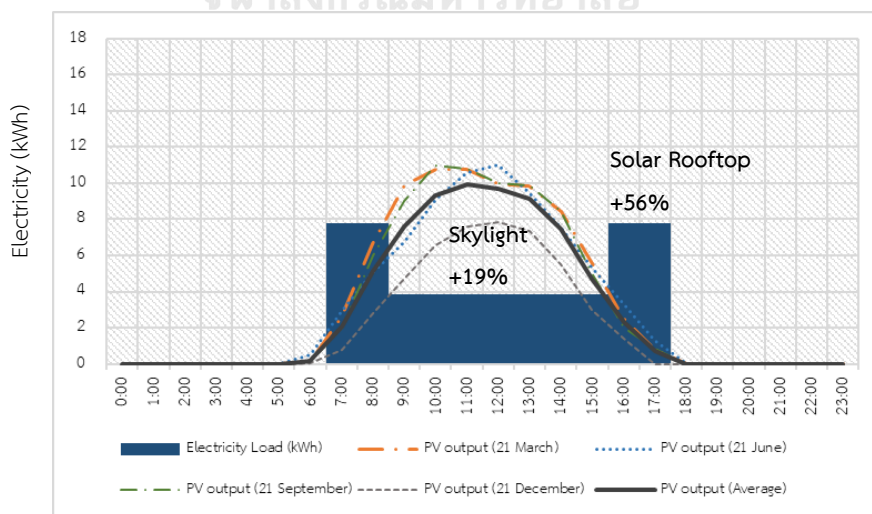
ตารางที่ 4.28 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้งาน

รูปทรงหลังคา	ขนาดอาคาร	ช่วงเวลาในการใช้งานอาคาร	ระบบผลิต	ระบบผลิตพลังงาน
			พลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ ครอบคลุมการใช้ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (%)	ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ ครอบคลุมการใช้ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (%)
หลังคาทรงจั่ว	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
หลังคาทรงโค้ง	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
หลังคาทรงปั้นหยา	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60
	ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60

ตัวอย่างผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วัน และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคารหลังคาทรงจั่วอาคารขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 4.12 และภาพที่ 4.13 ในกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ครอบคลุม 72% ของความต้องการพลังงาน และกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight ที่ได้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และจากช่องแสงธรรมชาติ ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ครอบคลุม 56% และประหยัดพลังงานจาก Skylight 19% รวมทั้งสิ้นสามารถประหยัดพลังงาน 75% ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานระบบจะส่งขายสู่การไฟฟ้า หรือกรณีที่ใช้แบตเตอรี่นั้นสามารถกักเก็บพลังงานไว้ใช้เพิ่มเติมได้



ภาพที่ 4.12 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วันของอาคารขนาดเล็ก ใช้งานช่วงเวลากลางวัน กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight



ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 4 วันของอาคารขนาดเล็ก ใช้งานช่วงเวลากลางวัน กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight

4.4.4 จำนวนแบตเตอรี่สำรองสำหรับกรณีที่ใช้ระบบแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงเช้าและกลางคืนของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวนทั้งสิ้น 36 รูปแบบอาคาร โดยคำนวณจากสมการที่ (3.1) กำหนดใช้แบตเตอรี่ (แบบ deep-cycle) ขนาดความจุ 200Ah/12V ต่อหนึ่งลูก โดยอ้างอิงจาก บริษัท ดี ดี เบสท์ จำกัด (2562) ดังแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 จำนวนแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงเช้าและกลางคืน

รูปทรงหลังคา	ขนาดอาคาร	ช่วงเวลาในการใช้งานอาคาร	จำนวนแบตเตอรี่	จำนวนแบตเตอรี่
			กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ลูก)	กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ลูก)
หลังคาทรงจั่ว	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	20	21
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	38	42
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	43	42
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	84	92
ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	101	102	
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	205	223	
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	20	19
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	38	42
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	43	43
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	84	98
ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	101	102	
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	205	223	
หลังคาทรงโค้ง	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	20	21
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	38	42
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	43	42
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	84	92
ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	101	102	
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	205	223	
หลังคาทรงปั้นหยา	ขนาดเล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	20	21
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	38	42
	ขนาดกลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	43	42
		พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	84	92
ขนาดใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	101	102	
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	205	223	



#### 4.5 ผลการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

4.5.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวนทั้งสิ้น 36 รูปแบบอาคาร คำนวณได้จากสมการที่ (3.2) โดยกำหนดให้เงินที่ใช้ในการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ ทั้งนี้ กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี มอก. จากค่าเฉลี่ยมีอัตราเสื่อมสภาพไม่เกิน 1% ต่อปี และมีค่าบำรุงรักษา 1% ของเงินลงทุน โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560) กรณีอาคารรูปทรงหลังคาโค้งจำเป็นต้องมีค่าอุปกรณ์ยึดเกาะเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติม มีค่าใช้จ่าย 4.65 บาทต่อวัตต์ โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560) กรณีที่อาคารติดตั้ง Skylight มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 700 บาทต่อตารางเมตร โดยอ้างอิงราคาเฉลี่ยของแผ่นโพร่งแสงจากวันสต็อกโฮม (2559) กรณีอาคารมีการใช้งานแบตเตอรี่ กำหนดใช้แบตเตอรี่ (แบบ deep-cycle) ขนาดความจุ 200Ah/12V ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 12,375 บาทต่อลูก โดยอ้างอิงจาก บริษัท ดี ดี เบสท์ จำกัด (2562) โดยแบตเตอรี่ดังกล่าวมีอายุการใช้งานเฉลี่ยที่ 5 ปี

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาและอุปกรณ์ต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2) ดังนั้น ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนทุกระบบประกอบไปด้วย 1) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ 2) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight 3) ติดตั้ง Skylight 4) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และ 5) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight ดังแสดงในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ผลประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (ล้านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (ล้านบาท)	ติดตั้ง Skylight (ล้านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (ล้านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (ล้านบาท)
หลังคาทรงจั่ว						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.00	0.82	0.07	2.22	2.12
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.38	1.13	0.07	3.75	3.76
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.26	1.66	0.15	4.93	4.25
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.01	2.53	0.15	8.23	8.21
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	5.39	4.13	0.37	11.65	10.44
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.33	6.01	0.37	19.99	19.81
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.00	0.88	0.07	2.22	2.08
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.38	1.20	0.07	3.75	3.80

ตารางที่ 4.30 ผลประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ (ต่อ)

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (ล้านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (ล้านบาท)	ติดตั้ง Skylight (ล้านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (ล้านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (ล้านบาท)
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.26	1.78	0.15	4.93	4.41
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.01	2.53	0.15	8.23	8.57
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	5.39	4.13	0.37	11.65	10.44
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.33	6.01	0.37	19.99	19.81
หลังคาทรงโค้ง						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.13	0.92	0.07	2.35	2.22
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.55	1.27	0.07	3.92	3.90
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.54	1.85	0.15	5.22	4.45
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.39	2.83	0.15	8.61	8.51
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.07	4.60	0.37	12.33	10.91
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	8.26	6.72	0.37	20.92	20.52
หลังคาทรงป้านยา						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.00	0.82	0.07	2.22	2.12
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.38	1.13	0.07	3.75	3.76
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.26	1.66	0.15	4.93	4.25
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.01	2.53	0.15	8.23	8.21
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	5.39	4.13	0.37	11.65	10.44
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.33	6.01	0.37	19.99	19.81

4.5.2 ผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวนทั้งสิ้น 36 รูปแบบอาคาร จากค่าใช้จ่ายการลงทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านอุปกรณ์ และพลังงานไฟฟ้าที่ขายคืนให้กับการไฟฟ้าในราคา 4.21 บาทต่อหน่วย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) จากราคารับซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากปีงบประมาณ 2561 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เท่ากับ 4.21 บาทต่อหน่วย โดยอ้างอิงจาก สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2561) โดยสามารถแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 โดยกำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปทรงหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.– 18:00 น. 2) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน เวลา 07:00 น.– 22:00 น. 3) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา และ 4) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา

กรณีที่ 2 กำหนดติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) โดยกำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปทรงหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปแบบ ที่ได้จากผลการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติที่ผ่านเกณฑ์ ได้แก่ 1) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.– 18:00 น. โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา 2) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน เวลา 07:00 น.– 22:00 น. 3) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทั้งหมด โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา และ 4) กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาทั้งหมด โดยเว้นพื้นที่ช่องแสง Skylight บนหลังคา โดยสามารถแบ่งรูปทรงของหลังคาอาคารเป็น 4 รูปทรง ดังนี้

1) หลังคาอาคารทรงจั่ว จากผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า หลังคาอาคารรูปทรงจั่วในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.6-7.6 ปี กรณีที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่า มีค่าเท่ากับ 5.1-6.9 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงจั่ว

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	7.1	7.3	7.5	5.8	5.9	6.0	7.3	7.5	7.7	5.3	5.3	5.5	7.1	7.3	7.5	5.5	5.6	5.7
	(NE)	7.1	7.3	7.6	5.8	5.9	6.1	7.3	7.5	7.7	5.3	5.4	5.5	7.2	7.3	7.6	5.5	5.6	5.7
	(E)	7.1	7.2	7.3	5.8	5.9	5.9	7.2	7.3	7.5	5.2	5.3	5.4	7.1	7.2	7.3	5.5	5.5	5.6
	(SE)	7.0	7.0	7.0	5.7	5.7	5.8	7.1	7.1	7.2	5.2	5.2	5.2	7.0	7.0	7.0	5.4	5.4	5.4
	(S)	6.9	6.8	6.7	5.7	5.6	5.6	7.0	6.9	6.9	5.1	5.1	5.1	6.9	6.8	6.8	5.4	5.3	5.3
	(SW)	6.9	6.8	6.8	5.7	5.6	5.6	7.0	7.0	6.9	5.1	5.1	5.1	6.9	6.8	6.8	5.4	5.3	5.3
	(W)	6.9	6.9	6.9	5.7	5.7	5.7	7.1	7.1	7.1	5.2	5.1	5.2	6.9	6.9	6.9	5.4	5.4	5.4
	(NW)	7.0	7.1	7.2	5.8	5.8	5.9	7.2	7.3	7.4	5.2	5.3	5.3	7.1	7.1	7.3	5.4	5.5	5.6
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	7.0	7.2	7.4	5.7	5.8	6.0	7.1	7.3	7.5	5.9	6.0	6.1	7.1	7.3	7.5	5.9	6.0	6.2
	(NE)	7.0	7.2	7.4	5.7	5.9	6.0	7.1	7.3	7.6	5.9	6.0	6.1	7.2	7.3	7.6	5.9	6.0	6.2
	(E)	7.0	7.1	7.2	5.7	5.8	5.9	7.1	7.2	7.3	5.8	5.9	6.0	7.1	7.2	7.3	5.9	6.0	6.0
	(SE)	6.8	6.9	6.9	5.6	5.6	5.7	7.0	7.0	7.0	5.8	5.8	5.8	7.0	7.0	7.0	5.8	5.8	5.8
	(S)	6.8	6.7	6.6	5.6	5.5	5.5	6.9	6.8	6.7	5.7	5.7	5.6	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7
	(SW)	6.8	6.7	6.7	5.6	5.5	5.5	6.9	6.8	6.8	5.7	5.7	5.7	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7
	(W)	6.8	6.8	6.8	5.6	5.6	5.6	6.9	6.9	6.9	5.8	5.7	5.7	6.9	6.9	6.9	5.8	5.8	5.8
	(NW)	6.9	7.0	7.1	5.7	5.7	5.8	7.0	7.1	7.2	5.8	5.9	5.9	7.1	7.1	7.3	5.9	5.9	6.0

ตารางที่ 4.31 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงจั่ว (ต่อ)

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
ติดตั้งแผงเครื่องทรงของพื้นที่หลังคา	(N)	7.2	7.4	7.6	6.4	6.6	6.7	7.1	7.3	7.5	6.4	6.6	6.7	7.1	7.3	7.5	6.6	6.7	6.9
	(NE)	7.2	7.4	7.6	6.4	6.6	6.8	7.1	7.3	7.5	6.4	6.6	6.8	7.2	7.3	7.6	6.6	6.7	6.9
	(E)	7.1	7.2	7.4	6.4	6.5	6.6	7.1	7.2	7.3	6.4	6.5	6.6	7.1	7.2	7.3	6.5	6.6	6.7
	(SE)	7.0	7.0	7.1	6.3	6.3	6.3	7.0	7.0	7.0	6.3	6.3	6.3	7.0	7.0	7.0	6.4	6.4	6.5
	(S)	6.9	6.9	6.8	6.2	6.2	6.1	6.9	6.8	6.7	6.2	6.2	6.1	6.9	6.8	6.8	6.4	6.3	6.3
	(SW)	7.0	6.9	6.8	6.2	6.2	6.2	6.9	6.8	6.8	6.2	6.2	6.2	6.9	6.8	6.8	6.4	6.3	6.3
	(W)	7.0	7.0	7.0	6.3	6.3	6.3	6.9	6.9	6.9	6.3	6.3	6.3	7.0	6.9	6.9	6.4	6.4	6.4
	(NW)	7.1	7.2	7.3	6.4	6.4	6.5	7.0	7.1	7.2	6.4	6.4	6.5	7.1	7.1	7.3	6.5	6.6	6.7
ติดตั้งแผงมุมพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	7.1	7.1	7.2	6.6	6.6	6.7	7.0	7.0	7.1	6.7	6.7	6.8	7.0	7.0	7.1	6.7	6.8	6.8
	(NE) - (SW)	7.1	7.1	7.2	6.6	6.7	6.7	7.0	7.1	7.1	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	6.7	6.8	6.9
	(E) - (W)	7.1	7.1	7.2	6.6	6.6	6.7	7.0	7.0	7.1	6.7	6.8	6.8	7.0	7.1	7.1	6.7	6.8	6.8
	(SE) - (NW)	7.1	7.1	7.2	6.6	6.6	6.7	7.0	7.0	7.1	6.7	6.8	6.8	7.0	7.1	7.1	6.7	6.8	6.8

2) หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน จากผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.6-7.7 ปี กรณีที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่า มีค่าเท่ากับ 5.3-7.3 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงเพิงหมาแหงน

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	7.1	7.3	7.5	5.9	6.0	6.2	7.3	7.5	7.7	5.8	5.9	6.1	7.1	7.3	7.5	5.5	5.6	5.7
	(NE)	7.1	7.3	7.6	5.9	6.0	6.2	7.3	7.5	7.7	5.8	6.0	6.1	7.2	7.3	7.6	5.5	5.6	5.7
	(E)	7.1	7.2	7.3	5.9	5.9	6.0	7.2	7.3	7.5	5.8	5.9	6.0	7.1	7.2	7.3	5.5	5.5	5.6
	(SE)	7.0	7.0	7.0	5.8	5.8	5.8	7.1	7.1	7.2	5.7	5.7	5.8	7.0	7.0	7.0	5.4	5.4	5.4
	(S)	6.9	6.8	6.7	5.8	5.7	5.7	7.0	6.9	6.9	5.7	5.6	5.6	6.9	6.8	6.8	5.4	5.3	5.3
	(SW)	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7	7.0	7.0	6.9	5.7	5.6	5.6	6.9	6.8	6.8	5.4	5.3	5.3
	(W)	6.9	6.9	6.9	5.8	5.8	5.8	7.1	7.1	7.1	5.7	5.7	5.7	6.9	6.9	6.9	5.4	5.4	5.4
	(NW)	7.0	7.1	7.2	5.9	5.9	6.0	7.2	7.3	7.4	5.8	5.8	5.9	7.1	7.1	7.3	5.4	5.5	5.6

ตารางที่ 4.32 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงเพิงหมาแหงน  
(ต่อ)

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอลึ่งช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	7.0	7.2	7.4	6.3	6.4	6.6	7.1	7.3	7.5	6.1	6.2	6.3	7.1	7.3	7.5	5.9	6.0	6.2
	(NE)	7.0	7.2	7.4	6.3	6.4	6.6	7.1	7.3	7.6	6.1	6.2	6.3	7.2	7.3	7.6	5.9	6.0	6.2
	(E)	7.0	7.1	7.2	6.2	6.3	6.4	7.1	7.2	7.3	6.0	6.1	6.2	7.1	7.2	7.3	5.9	6.0	6.0
	(SE)	6.8	6.9	6.9	6.2	6.2	6.2	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	5.8	5.8	5.8
	(S)	6.8	6.7	6.6	6.1	6.0	6.0	6.9	6.8	6.7	5.9	5.8	5.8	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7
	(SW)	6.8	6.7	6.7	6.1	6.1	6.0	6.9	6.8	6.8	5.9	5.8	5.8	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7
	(W)	6.8	6.8	6.8	6.1	6.1	6.1	6.9	6.9	6.9	5.9	5.9	5.9	6.9	6.9	6.9	5.8	5.8	5.8
	(NW)	6.9	7.0	7.1	6.2	6.3	6.4	7.0	7.1	7.2	6.0	6.1	6.1	7.1	7.1	7.3	5.9	5.9	6.0
ติดตั้งแผงตั้งตั้งของพื้นที่หลังคา	(N)	7.2	7.4	7.6	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	6.6	6.8	7.0	7.1	7.3	7.5	6.6	6.7	6.9
	(NE)	7.2	7.4	7.6	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	6.7	6.8	7.0	7.2	7.3	7.6	6.6	6.7	6.9
	(E)	7.1	7.2	7.4	6.5	6.6	6.7	7.1	7.2	7.3	6.6	6.7	6.8	7.1	7.2	7.3	6.5	6.6	6.7
	(SE)	7.0	7.0	7.1	6.4	6.4	6.4	7.0	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	6.4	6.4	6.5
	(S)	6.9	6.9	6.8	6.3	6.3	6.2	6.9	6.8	6.7	6.4	6.4	6.3	6.9	6.8	6.8	6.4	6.3	6.3
	(SW)	7.0	6.9	6.8	6.3	6.3	6.3	6.9	6.8	6.8	6.4	6.4	6.4	6.9	6.8	6.8	6.4	6.3	6.3
	(W)	7.0	7.0	7.0	6.4	6.4	6.4	6.9	6.9	6.9	6.5	6.5	6.5	7.0	6.9	6.9	6.4	6.4	6.4
	(NW)	7.1	7.2	7.3	6.5	6.5	6.6	7.0	7.1	7.2	6.6	6.6	6.7	7.1	7.1	7.3	6.5	6.6	6.7
ติดตั้งแผงขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N)	7.2	7.4	7.6	6.8	6.9	7.1	7.1	7.3	7.5	6.9	7.0	7.3	7.1	7.3	7.5	6.8	7.0	7.2
	(NE)	7.2	7.4	7.6	6.8	7.0	7.2	7.1	7.3	7.5	6.9	7.1	7.3	7.2	7.3	7.6	6.9	7.0	7.2
	(E)	7.1	7.2	7.4	6.7	6.8	7.0	7.1	7.2	7.3	6.8	6.9	7.1	7.1	7.2	7.3	6.8	6.9	7.0
	(SE)	7.0	7.0	7.1	6.6	6.6	6.7	7.0	7.0	7.0	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	7.0	6.7	6.7	6.7
	(S)	6.9	6.9	6.8	6.6	6.5	6.4	6.9	6.8	6.7	6.7	6.6	6.5	6.9	6.8	6.8	6.6	6.5	6.5
	(SW)	7.0	6.9	6.8	6.6	6.5	6.5	6.9	6.8	6.8	6.7	6.6	6.6	6.9	6.8	6.8	6.6	6.6	6.5
	(W)	7.0	7.0	7.0	6.6	6.6	6.6	6.9	6.9	6.9	6.7	6.7	6.7	7.0	6.9	6.9	6.7	6.6	6.7
	(NW)	7.1	7.2	7.3	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.3	6.8	6.8	6.9

3) หลังคาอาคารทรงโค้ง จากผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากหลังคาทรงโค้งจำเป็นต้องมีค่าอุปกรณ์ยึดเกาะเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติม มีค่าใช้จ่าย 4.65 บาทต่อวัตต์ ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนนานกว่าหลังคารูปทรงอื่น จากผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.6-8.6 ปี กรณีที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่ามีค่าเท่ากับ 5.9-7.8 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงโค้ง

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียง ของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืน ทุนระบบ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	8.0	8.2	8.5	6.5	6.6	6.8	8.2	8.4	8.7	6.1	6.2	6.3	8.0	8.2	8.5	6.1	6.2	6.3
	(NE)	8.0	8.3	8.5	6.5	6.7	6.8	8.2	8.4	8.7	6.1	6.2	6.3	8.1	8.3	8.5	6.1	6.2	6.4
	(E)	8.0	8.1	8.2	6.5	6.6	6.7	8.2	8.3	8.4	6.1	6.1	6.2	8.0	8.1	8.3	6.1	6.1	6.2
	(SE)	7.9	7.9	7.9	6.4	6.4	6.5	8.0	8.0	8.1	6.0	6.0	6.0	7.9	7.9	7.9	6.0	6.0	6.0
	(S)	7.7	7.6	7.6	6.4	6.3	6.3	7.9	7.8	7.8	5.9	5.9	5.9	7.8	7.7	7.6	6.0	5.9	5.9
	(SW)	7.8	7.7	7.6	6.4	6.3	6.3	7.9	7.9	7.8	5.9	5.9	5.9	7.8	7.7	7.7	6.0	5.9	5.9
	(W)	7.8	7.8	7.8	6.4	6.4	6.4	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0	7.8	7.8	7.8	6.0	6.0	6.0
	(NW)	7.9	8.0	8.2	6.5	6.5	6.6	8.1	8.2	8.3	6.0	6.1	6.2	7.9	8.0	8.2	6.1	6.1	6.2
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	7.9	8.1	8.3	6.4	6.6	6.7	8.0	8.2	8.5	6.6	6.7	6.9	8.0	8.2	8.5	6.6	6.7	6.9
	(NE)	7.9	8.1	8.4	6.5	6.6	6.7	8.0	8.3	8.5	6.6	6.7	6.9	8.1	8.3	8.5	6.6	6.8	6.9
	(E)	7.8	7.9	8.1	6.4	6.5	6.6	8.0	8.1	8.2	6.5	6.6	6.7	8.0	8.1	8.3	6.6	6.7	6.8
	(SE)	7.7	7.7	7.8	6.3	6.3	6.4	7.9	7.9	7.9	6.5	6.5	6.5	7.9	7.9	7.9	6.5	6.5	6.5
	(S)	7.6	7.5	7.5	6.3	6.2	6.2	7.7	7.6	7.6	6.4	6.3	6.3	7.8	7.7	7.6	6.4	6.4	6.3
	(SW)	7.6	7.5	7.5	6.3	6.2	6.2	7.8	7.7	7.6	6.4	6.3	6.3	7.8	7.7	7.7	6.4	6.4	6.4
	(W)	7.7	7.6	7.7	6.3	6.3	6.3	7.8	7.8	7.8	6.4	6.4	6.4	7.8	7.8	7.8	6.5	6.5	6.5
	(NW)	7.8	7.9	8.0	6.4	6.4	6.5	7.9	8.0	8.2	6.5	6.6	6.7	7.9	8.0	8.2	6.6	6.6	6.7
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N)	8.1	8.3	8.5	7.2	7.4	7.6	8.0	8.2	8.5	8.2	8.4	8.6	8.0	8.2	8.5	7.4	7.5	7.7
	(NE)	8.1	8.3	8.6	7.2	7.4	7.6	8.0	8.2	8.5	8.2	8.4	8.6	8.1	8.3	8.5	7.4	7.6	7.8
	(E)	8.0	8.2	8.3	7.2	7.3	7.4	8.0	8.1	8.2	8.1	8.2	8.4	8.0	8.1	8.3	7.3	7.4	7.6
	(SE)	7.9	7.9	8.0	7.1	7.1	7.1	7.8	7.8	7.9	8.0	8.0	8.0	7.9	7.9	7.9	7.2	7.2	7.3
	(S)	7.8	7.7	7.7	7.0	6.9	6.9	7.7	7.6	7.6	7.9	7.8	7.7	7.8	7.7	7.6	7.1	7.1	7.0
	(SW)	7.8	7.7	7.7	7.0	6.9	6.9	7.7	7.7	7.6	7.9	7.8	7.8	7.8	7.7	7.7	7.2	7.1	7.1
	(W)	7.9	7.9	7.9	7.0	7.0	7.0	7.8	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	7.8	7.8	7.8	7.2	7.2	7.2
	(NW)	8.0	8.1	8.2	7.1	7.2	7.3	7.9	8.0	8.1	8.1	8.2	8.3	7.9	8.0	8.2	7.3	7.4	7.5
ติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา	(N) - (S)	8.0	8.0	8.1	7.4	7.5	7.5	7.9	7.9	8.0	7.6	7.6	7.7	7.9	7.9	8.0	7.6	7.6	7.7
	(NE) - (SW)	8.0	8.0	8.1	7.4	7.5	7.6	7.9	7.9	8.0	7.6	7.6	7.7	7.9	8.0	8.1	7.6	7.6	7.7
	(E) - (W)	8.0	8.0	8.1	7.4	7.5	7.6	7.9	7.9	8.0	7.6	7.6	7.7	7.9	7.9	8.0	7.6	7.6	7.7
	(SE) - (NW)	8.0	8.0	8.1	7.4	7.5	7.6	7.9	7.9	8.0	7.6	7.6	7.7	7.9	8.0	8.0	7.6	7.6	7.7

4) หลังคาอาคารทรงปั้นหยา จากผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.8-7.7 ปี กรณีที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่า มีค่าเท่ากับ 5.1-7.0 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทรงปั้นหยา

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	7.1	7.3	7.5	5.8	5.9	6.0	7.3	7.5	7.7	5.3	5.3	5.5	7.1	7.3	7.5	5.5	5.6	5.7
	(NE)	7.1	7.3	7.6	5.8	5.9	6.1	7.3	7.5	7.7	5.3	5.4	5.5	7.2	7.3	7.6	5.5	5.6	5.7
	(E)	7.1	7.2	7.3	5.8	5.9	5.9	7.2	7.3	7.5	5.2	5.3	5.4	7.1	7.2	7.3	5.5	5.5	5.6
	(SE)	7.0	7.0	7.0	5.7	5.7	5.8	7.1	7.1	7.2	5.2	5.2	5.2	7.0	7.0	7.0	5.4	5.4	5.4
	(S)	6.9	6.8	6.7	5.7	5.6	5.6	7.0	6.9	6.9	5.1	5.1	5.1	6.9	6.8	6.8	5.4	5.3	5.3
	(SW)	6.9	6.8	6.8	5.7	5.6	5.6	7.0	7.0	6.9	5.1	5.1	5.1	6.9	6.8	6.8	5.4	5.3	5.3
	(W)	6.9	6.9	6.9	5.7	5.7	5.7	7.1	7.1	7.1	5.2	5.1	5.2	6.9	6.9	6.9	5.4	5.4	5.4
	(NW)	7.0	7.1	7.2	5.8	5.8	5.9	7.2	7.3	7.4	5.2	5.3	5.3	7.1	7.1	7.3	5.4	5.5	5.6
พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	7.0	7.2	7.4	5.7	5.8	6.0	7.1	7.3	7.5	5.9	6.0	6.1	7.1	7.3	7.5	5.9	6.0	6.2
	(NE)	7.0	7.2	7.4	5.7	5.9	6.0	7.1	7.3	7.6	5.9	6.0	6.1	7.2	7.3	7.6	5.9	6.0	6.2
	(E)	7.0	7.1	7.2	5.7	5.8	5.9	7.1	7.2	7.3	5.8	5.9	6.0	7.1	7.2	7.3	5.9	6.0	6.0
	(SE)	6.8	6.9	6.9	5.6	5.6	5.7	7.0	7.0	7.0	5.8	5.8	5.8	7.0	7.0	7.0	5.8	5.8	5.8
	(S)	6.8	6.7	6.6	5.6	5.5	5.5	6.9	6.8	6.7	5.7	5.7	5.6	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7
	(SW)	6.8	6.7	6.7	5.6	5.5	5.5	6.9	6.8	6.8	5.7	5.7	5.7	6.9	6.8	6.8	5.8	5.7	5.7
	(W)	6.8	6.8	6.8	5.6	5.6	5.6	6.9	6.9	6.9	5.8	5.7	5.7	6.9	6.9	6.9	5.8	5.8	5.8
	(NW)	6.9	7.0	7.1	5.7	5.7	5.8	7.0	7.1	7.2	5.8	5.9	5.9	7.1	7.1	7.3	5.9	5.9	6.0
ติดตั้งแผงครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	(N) และ (E) - (W)	7.1	7.2	7.4	6.6	6.7	6.9	7.1	7.2	7.4	6.5	6.6	6.7	7.1	7.2	7.4	6.5	6.6	6.8
	(NE) และ (NW) - (SE)	7.1	7.2	7.4	6.6	6.7	6.9	7.1	7.3	7.4	6.5	6.6	6.7	7.1	7.2	7.4	6.6	6.7	6.8
	(E) และ (N) - (S)	7.1	7.1	7.2	6.6	6.7	6.8	7.1	7.2	7.3	6.5	6.5	6.6	7.0	7.1	7.2	6.5	6.6	6.7
	(SE) และ (NE) - (SW)	7.0	7.0	7.1	6.6	6.6	6.6	7.0	7.0	7.1	6.4	6.4	6.5	7.0	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5
	(S) และ (E) - (W)	6.9	6.9	6.9	6.5	6.5	6.5	6.9	6.9	6.9	6.4	6.3	6.3	6.9	6.8	6.8	6.4	6.4	6.4
	(SW) และ (NW) - (SE)	6.9	6.9	6.9	6.5	6.5	6.5	7.0	6.9	6.9	6.4	6.3	6.3	6.9	6.9	6.9	6.4	6.4	6.4
	(W) และ (N) - (S)	7.0	7.0	7.0	6.5	6.5	6.6	7.0	7.0	7.0	6.4	6.4	6.4	6.9	6.9	7.0	6.4	6.4	6.5
	(NW) และ (NE) - (SW)	7.0	7.1	7.2	6.6	6.6	6.7	7.1	7.1	7.2	6.5	6.5	6.6	7.0	7.1	7.2	6.5	6.6	6.6
ติดตั้งแผงขนานเต็มพื้นที่ของหลังคา	(N) - (S) และ (E) - (W)	7.0	7.0	7.1	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1	7.1	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	7.1	6.7	6.8	6.8
	(NE) - (SW) และ (SE) - (NW)	7.0	7.1	7.1	6.9	7.0	7.0	7.0	7.1	7.2	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	7.1	6.8	6.8	6.9
	(E) - (W) และ (N) - (S)	7.0	7.0	7.1	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1	7.1	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	7.1	6.7	6.8	6.8
	(SE) - (NW) และ (NE) - (SW)	7.0	7.1	7.1	6.9	7.0	7.0	7.0	7.1	7.2	6.7	6.8	6.8	7.0	7.0	7.1	6.8	6.8	6.9

กรณีใช้งานระบบแบตเตอรี่ ได้แก่ 1) หลังคาอาคารรูปทรงจั่วในกรณี 2) หลังคาอาคารรูปทรงเพิงหมาแหงน 3) หลังคาอาคารรูปทรงโค้ง 4) หลังคาอาคารรูปทรงปั้นหยา จะมีระยะเวลาคืนทุนกว่าการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบปกติ กรณีใช้งานระบบแบตเตอรี่สามารถสรุประยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้ 1) หลังคาอาคารรูปทรงจั่วในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 14.6–20.7 ปี ในกรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 13.3-20.4 ปี 2) หลังคาอาคารรูปทรงเพิงหมาแหงนในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 14.6–20.7 ปี กรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 13.3-20.8 ปี 3) หลังคาอาคารรูปทรงโค้งในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 15.5-21.6 ปี กรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 13.9–21.1 ปี 4) หลังคาอาคารรูปทรงปั้นหยาในกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 14.9–20.7 ปี กรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 13.3-21.5 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กรณีใช้งานระบบแบตเตอรี่

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			ระยะเวลาคืนทุนระบบกรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
<b>หลังคาทรงจั่ว</b>																			
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	15.8	16.2	16.7	15.0	15.3	15.6	15.9	16.3	16.8	14.0	14.2	14.5	15.4	15.8	16.3	13.9	14.1	14.4
	(NE)	15.8	16.2	16.7	15.1	15.3	15.7	16.0	16.4	16.9	14.0	14.2	14.5	15.5	15.9	16.4	13.9	14.1	14.4
	(E)	15.7	15.9	16.2	15.0	15.1	15.3	15.8	16.1	16.4	13.9	14.1	14.2	15.3	15.6	15.9	13.8	13.9	14.1
	(SE)	15.4	15.4	15.5	14.8	14.8	14.9	15.6	15.6	15.7	13.8	13.8	13.8	15.1	15.1	15.2	13.7	13.7	13.7
	(S)	15.2	15.0	14.9	14.7	14.5	14.5	15.4	15.2	15.1	13.6	13.5	13.5	14.9	14.7	14.6	13.5	13.4	13.3
	(SW)	15.3	15.1	15.0	14.7	14.6	14.5	15.4	15.2	15.2	13.7	13.5	13.5	14.9	14.8	14.7	13.5	13.4	13.4
	(W)	15.4	15.3	15.3	14.8	14.7	14.7	15.5	15.5	15.5	13.7	13.7	13.7	15.0	15.0	15.0	13.6	13.6	13.6
	(NW)	15.6	15.8	16.0	14.9	15.0	15.2	15.7	15.9	16.2	13.9	14.0	14.1	15.3	15.4	15.7	13.8	13.9	14.0
พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	19.0	19.5	20.1	19.1	19.4	19.9	19.5	20.0	20.6	19.1	19.4	19.9	19.5	19.9	20.5	19.5	19.9	20.3
	(NE)	19.1	19.6	20.2	19.1	19.5	20.0	19.5	20.0	20.7	19.1	19.5	19.9	19.5	20.0	20.6	19.5	19.9	20.4
	(E)	18.9	19.2	19.5	19.0	19.2	19.5	19.4	19.6	20.0	19.0	19.2	19.5	19.3	19.6	20.0	19.4	19.6	19.9
	(SE)	18.6	18.6	18.7	18.8	18.8	18.8	19.1	19.1	19.2	18.7	18.7	18.8	19.0	19.1	19.2	19.2	19.2	19.3
	(S)	18.4	18.2	18.1	18.5	18.4	18.3	18.8	18.6	18.6	18.5	18.3	18.3	18.8	18.6	18.5	19.0	18.8	18.7
	(SW)	18.4	18.1	18.0	18.6	18.4	18.4	18.8	18.6	18.5	18.6	18.4	18.3	18.8	18.5	18.4	19.0	18.8	18.8
	(W)	18.5	18.5	18.5	18.7	18.6	18.7	19.0	18.9	18.9	18.7	18.6	18.6	18.9	18.9	18.9	19.1	19.0	19.1
	(NW)	18.8	19.0	19.3	18.9	19.1	19.3	19.3	19.5	19.8	18.9	19.0	19.3	19.2	19.4	19.8	19.3	19.5	19.7



ตารางที่ 4.35 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กรณีใช้งานระบบแบตเตอรี่ (ต่อ)

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ		
		กรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน																			
พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	15.8	16.2	16.7	14.0	14.2	14.6	15.9	16.3	16.8	14.5	14.7	15.1	15.4	15.8	16.3	13.9	14.1	14.4
	(NE)	15.8	16.2	16.7	14.0	14.3	14.6	16.0	16.4	16.9	14.5	14.8	15.1	15.5	15.9	16.4	13.9	14.1	14.4
	(E)	15.7	15.9	16.2	13.9	14.1	14.3	15.8	16.1	16.4	14.4	14.5	14.8	15.3	15.6	15.9	13.8	13.9	14.1
	(SE)	15.4	15.4	15.5	13.7	13.8	13.8	15.6	15.6	15.7	14.2	14.2	14.3	15.1	15.1	15.2	13.7	13.7	13.7
	(S)	15.2	15.0	14.9	13.6	13.5	13.4	15.4	15.2	15.1	14.1	14.0	13.9	14.9	14.7	14.6	13.5	13.4	13.3
	(SW)	15.3	15.1	15.0	13.6	13.5	13.5	15.4	15.2	15.2	14.1	14.0	14.0	14.9	14.8	14.7	13.5	13.4	13.4
	(W)	15.4	15.3	15.3	13.7	13.7	13.7	15.5	15.5	15.5	14.2	14.1	14.2	15.0	15.0	15.0	13.6	13.6	13.6
	(NW)	15.6	15.8	16.0	13.9	14.0	14.2	15.7	15.9	16.2	14.3	14.5	14.6	15.3	15.4	15.7	13.8	13.9	14.0
พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	19.0	19.5	20.1	19.9	20.3	20.8	19.5	20.0	20.6	20.5	20.9	21.4	19.5	19.9	20.5	19.5	19.9	20.3
	(NE)	19.1	19.6	20.2	19.9	20.3	20.8	19.5	20.0	20.7	20.6	21.0	21.5	19.5	20.0	20.6	19.5	19.9	20.4
	(E)	18.9	19.2	19.5	19.8	20.0	20.3	19.4	19.6	20.0	20.4	20.7	21.0	19.3	19.6	20.0	19.4	19.6	19.9
	(SE)	18.6	18.6	18.7	19.5	19.5	19.6	19.1	19.1	19.2	20.2	20.2	20.3	19.0	19.1	19.2	19.2	19.2	19.3
	(S)	18.4	18.1	18.0	19.3	19.1	19.0	18.8	18.6	18.5	19.9	19.7	19.6	18.8	18.5	18.4	19.0	18.8	18.7
	(SW)	18.4	18.2	18.1	19.3	19.2	19.1	18.8	18.6	18.6	20.0	19.8	19.7	18.8	18.6	18.5	19.0	18.8	18.8
	(W)	18.5	18.5	18.5	19.4	19.4	19.4	19.0	18.9	18.9	20.1	20.0	20.1	18.9	18.9	18.9	19.1	19.0	19.1
	(NW)	18.8	19.0	19.3	19.7	19.9	20.1	19.3	19.5	19.8	20.3	20.5	20.8	19.2	19.4	19.8	19.3	19.5	19.7
หลังคาทรงโค้ง																			
พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	16.7	17.1	17.6	15.6	15.9	16.2	16.9	17.3	17.8	14.6	14.9	15.2	16.3	16.7	17.2	14.5	14.7	15.1
	(NE)	16.7	17.1	17.7	15.6	15.9	16.3	16.9	17.3	17.9	14.7	14.9	15.2	16.4	16.8	17.3	14.5	14.8	15.1
	(E)	16.6	16.8	17.1	15.5	15.7	15.9	16.7	17.0	17.3	14.6	14.7	14.9	16.2	16.5	16.8	14.4	14.6	14.8
	(SE)	16.3	16.3	16.4	15.4	15.4	15.5	16.5	16.5	16.6	14.4	14.4	14.5	16.0	16.0	16.1	14.3	14.3	14.3
	(S)	16.1	15.9	15.8	15.2	15.1	15.0	16.3	16.1	16.0	14.3	14.1	14.1	15.8	15.6	15.5	14.1	14.0	13.9
	(SW)	16.1	16.0	15.9	15.3	15.1	15.1	16.3	16.1	16.1	14.3	14.2	14.1	15.8	15.6	15.6	14.2	14.1	14.0
	(W)	16.2	16.2	16.2	15.3	15.3	15.3	16.4	16.3	16.4	14.4	14.3	14.3	15.9	15.8	15.9	14.2	14.2	14.2
	(NW)	16.5	16.7	16.9	15.5	15.6	15.8	16.7	16.8	17.1	14.5	14.6	14.8	16.1	16.3	16.6	14.4	14.5	14.7
พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	19.9	20.4	21.0	19.8	20.2	20.6	20.4	20.9	21.5	19.8	20.1	20.6	20.4	20.9	21.5	20.2	20.6	21.1
	(NE)	20.0	20.5	21.1	19.8	20.2	20.7	20.4	21.0	21.6	19.8	20.2	20.7	20.4	20.9	21.6	20.2	20.6	21.1
	(E)	19.8	20.1	20.5	19.7	19.9	20.2	20.3	20.6	21.0	19.6	19.9	20.2	20.2	20.5	20.9	20.1	20.3	20.6
	(SE)	19.5	19.5	19.6	19.4	19.5	19.5	20.0	20.0	20.1	19.4	19.4	19.5	19.9	19.9	20.0	19.9	19.9	20.0
	(S)	19.2	19.0	18.8	19.2	19.0	18.9	19.7	19.4	19.3	19.2	19.0	18.9	19.6	19.4	19.3	19.6	19.5	19.4
	(SW)	19.3	19.0	19.0	19.3	19.1	19.0	19.7	19.5	19.4	19.2	19.1	19.0	19.7	19.5	19.4	19.7	19.5	19.4
	(W)	19.4	19.3	19.4	19.4	19.3	19.3	19.9	19.8	19.8	19.3	19.3	19.3	19.8	19.7	19.8	19.8	19.7	19.8
	(NW)	19.7	19.9	20.2	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.7	19.6	19.7	20.0	20.1	20.3	20.7	20.0	20.2	20.5

ตารางที่ 4.35 ระยะเวลาคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กรณิใช้งานระบบแบตเตอรี่ (ต่อ)

รูปแบบการติดตั้ง	ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคาร	อาคารขนาดเล็ก						อาคารขนาดกลาง						อาคารขนาดใหญ่					
		ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ			ระยะเวลาคืนทุนระบบ		
		กรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีที่ไม่ติดตั้ง Skylight (ปี)			กรณีติดตั้ง Skylight (ปี)		
		5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
หลังคาทรงปั้นหยา																			
พอดเพียงช่วงเวลากลางวัน	(N)	15.8	16.2	16.7	14.0	14.2	14.6	15.9	16.3	16.8	14.5	14.7	15.1	15.4	15.8	16.3	13.9	14.1	14.4
	(NE)	15.8	16.2	16.7	14.0	14.3	14.6	16.0	16.4	16.9	14.5	14.8	15.1	15.5	15.9	16.4	13.9	14.1	14.4
	(E)	15.7	15.9	16.2	13.9	14.1	14.3	15.8	16.1	16.4	14.4	14.5	14.8	15.3	15.6	15.9	13.8	13.9	14.1
	(SE)	15.4	15.4	15.5	13.7	13.8	13.8	15.6	15.6	15.7	14.2	14.2	14.3	15.1	15.1	15.2	13.7	13.7	13.7
	(S)	15.2	15.0	14.9	13.6	13.5	13.4	15.4	15.2	15.1	14.1	14.0	13.9	14.9	14.7	14.6	13.5	13.4	13.3
	(SW)	15.3	15.1	15.0	13.6	13.5	13.5	15.4	15.2	15.2	14.1	14.0	14.0	14.9	14.8	14.7	13.5	13.4	13.4
	(W)	15.4	15.3	15.3	13.7	13.7	13.7	15.5	15.5	15.5	14.2	14.1	14.2	15.0	15.0	15.0	13.6	13.6	13.6
	(NW)	15.6	15.8	16.0	13.9	14.0	14.2	15.7	15.9	16.2	14.3	14.5	14.6	15.3	15.4	15.7	13.8	13.9	14.0
พอดเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	(N)	19.0	19.5	20.1	19.9	20.3	20.8	19.5	20.0	20.6	20.5	20.9	21.4	19.5	19.9	20.5	19.5	19.9	20.3
	(NE)	19.1	19.6	20.2	19.9	20.3	20.8	19.5	20.0	20.7	20.6	21.0	21.5	19.5	20.0	20.6	19.5	19.9	20.4
	(E)	18.9	19.2	19.5	19.8	20.0	20.3	19.4	19.6	20.0	20.4	20.7	21.0	19.3	19.6	20.0	19.4	19.6	19.9
	(SE)	18.6	18.6	18.7	19.5	19.5	19.6	19.1	19.1	19.2	20.2	20.2	20.3	19.0	19.1	19.2	19.2	19.2	19.3
	(S)	18.4	18.1	18.0	19.3	19.1	19.0	18.8	18.6	18.5	19.9	19.7	19.6	18.8	18.5	18.4	19.0	18.8	18.7
	(SW)	18.4	18.2	18.1	19.3	19.2	19.1	18.8	18.6	18.6	20.0	19.8	19.7	18.8	18.6	18.5	19.0	18.8	18.8
	(W)	18.5	18.5	18.5	19.4	19.4	19.4	19.0	18.9	18.9	20.1	20.0	20.1	18.9	18.9	18.9	19.1	19.0	19.1
	(NW)	18.8	19.0	19.3	19.7	19.9	20.1	19.3	19.5	19.8	20.3	20.5	20.8	19.2	19.4	19.8	19.3	19.5	19.7

เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่มร่วมกับงานวิจัยของ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560) โดยกำหนดใช้ตัวแปร เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 340 วัตต์ต่อแผง ใช้ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.9 บาท ใช้เงินลงทุนในการติดตั้งระบบเท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ เช่นเดียวกับงานวิจัย พบว่า ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของอาคารสนามกีฬาในร่มมีค่าเท่ากับ 6.6–9.5 ปี ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระยะเวลาคืนทุนในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีค่าเท่ากับ 6.6–9.1 ปี

จากผลการประเมินระยะเวลาการคืนทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ทิศที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด คือ ทิศใต้ (S) มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา และ 15 องศา ลำดับถัดไป คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศาและ 15 องศา ในส่วนทิศทางที่มีระยะคืนทุนช้าที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา และทิศเหนือ (N) มุมเอียงหลังคาที่ 15 องศา

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารสนามกีฬาในร่ม ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยและวารสารที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทำการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานอาคารสนามกีฬาในร่มในปัจจุบันจำนวน 22 อาคาร เพื่อกำหนดแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) จำนวนทั้งสิ้น 36 รูปแบบอาคาร งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือในการคำนวณการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 และทำการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 เพื่อหาช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) โดยค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6 โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสนามกีฬาในร่มในปัจจุบัน

5.2 ผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มรวมกับการใช้งานอาคารและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่แตกต่างกัน

5.3 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

5.4 ข้อเสนอแนะ

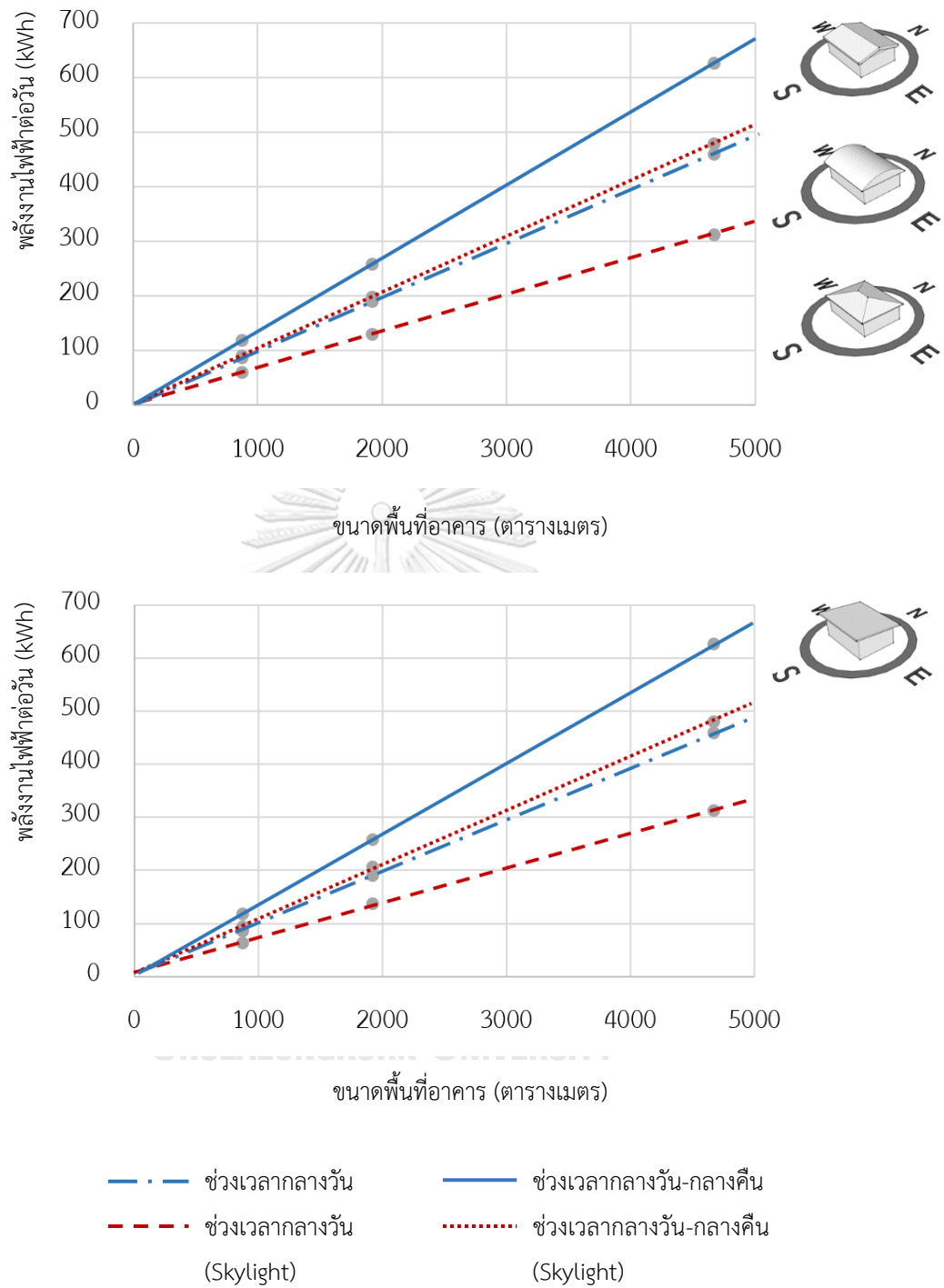
**5.1 ผลสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสนามกีฬาในร่มในปัจจุบัน**

จากการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานอาคารสนามกีฬาในร่มในปัจจุบัน จำนวน 22 อาคาร พบว่า อาคารสนามกีฬาในร่มมีขนาดพื้นที่อาคารตั้งแต่ 700-4,100 ตารางเมตร ภายในอาคารประกอบไปด้วยพื้นที่สนามกีฬา พื้นที่อิมจันทร์ ห้องน้ำ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า สำนักงาน ห้องเก็บของ และอื่นๆ จากการหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่อาคารทั้งหมด 22 อาคาร พบว่า พื้นที่สนามกีฬาและพื้นที่อิมจันทร์ มีค่าเฉลี่ย 75% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด และพื้นที่อื่นๆ มีค่าเฉลี่ย 25% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด อาคารสนามกีฬาในร่มมีรูปทรงของหลังคาอาคารมีทั้งหมด 4

รูปทรง ได้แก่ หลังคาอาคารทรงจั่ว หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน หลังคาอาคารทรงโค้ง และ หลังคาอาคารทรงปั้นหย้า การใช้งานส่วนใหญ่ของอาคารสนามกีฬาในร่มเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลากลางวัน เวลา 07:00 น.-18:00 น. ระยะเวลาการใช้งานอาคารทั้งสิ้น 11 ชั่วโมงต่อวัน และ ช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน 07:00 น.-22:00 น. ระยะเวลาการใช้งานอาคารทั้งสิ้น 15 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งมีระยะเวลาแตกต่างกัน 4 ชั่วโมง โดยการใช้งานช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน คือ อาคารสนามกีฬา ในร่มของมหาวิทยาลัย

จากการประเมินศักยภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารบริเวณสนามกีฬาและ อัฒจันทร์ ด้วยโปรแกรม DIALux evo 8.2 เพื่อหาช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างและค่าความสม่ำเสมอ ของความส่องสว่าง ที่ผ่านเกณฑ์ของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) พบว่า 1) หลังคาอาคารทรงจั่ว ทรงโค้ง ทรงปั้นหย้า ของอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ พบ ช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ คือ ช่วงเวลา 09:00 น. – 16:00 น. หรือ 7 ชั่วโมงต่อวัน 2) หลังคาอาคารทรง เพิงหมาแหงน อาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง 2 พบช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ คือ ช่วงเวลา 10:00 น.– 16:00 น. หรือ 6 ชั่วโมงต่อวัน และอาคารขนาดใหญ่ พบช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์ คือ ช่วงเวลา 09:00 น. – 16:00 น. หรือ 7 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อทำการนำสรุปผลความต้องการพลังงานงานไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีติดตั้ง ช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) และผลการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าใน อาคารของอาคารสนามกีฬาในร่ม กรณีไม่ติดตั้งช่องแสงธรรมชาติบนหลังคา (Skylight) โดยแบ่งผล การเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน โดยสามารถแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน และกรณีที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน มีการติดตั้ง Skylight และสามารถแบ่งเป็น 4 รูปทรงของหลังคาอาคาร พบว่า ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน อาคารต่อวันของหลังคาอาคารทั้ง 4 รูปทรง ใน กรณีที่ 1 มีค่าเท่ากัน ส่วนความต้องการพลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวันของหลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนใน กรณีที่ 2 มีค่ามากกว่า หลังคาทรง จั่ว ทรงโค้ง ทรงปั้นหย้า เนื่องจาก ช่วงเวลาที่ผ่านเกณฑ์แสงธรรมชาติน้อยกว่า ดังแสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารหลังคาทรงจั่ว ทรงโค้ง ทรงปั้นหย้า (บน) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารหลังคาทรงเพิงหมาแหงน (ล่าง)

## 5.2 ผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับการใช้งานอาคารและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่แตกต่างกัน

5.2.1 จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 พบว่า จากการเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

- จากการเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน โดยแบ่งผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์การออกเป็น 4 รูปทรงของหลังคาอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และภาพที่ 5.2 ได้แก่

1) หลังคาอาคารทรงจั่ว โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา

2) หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา

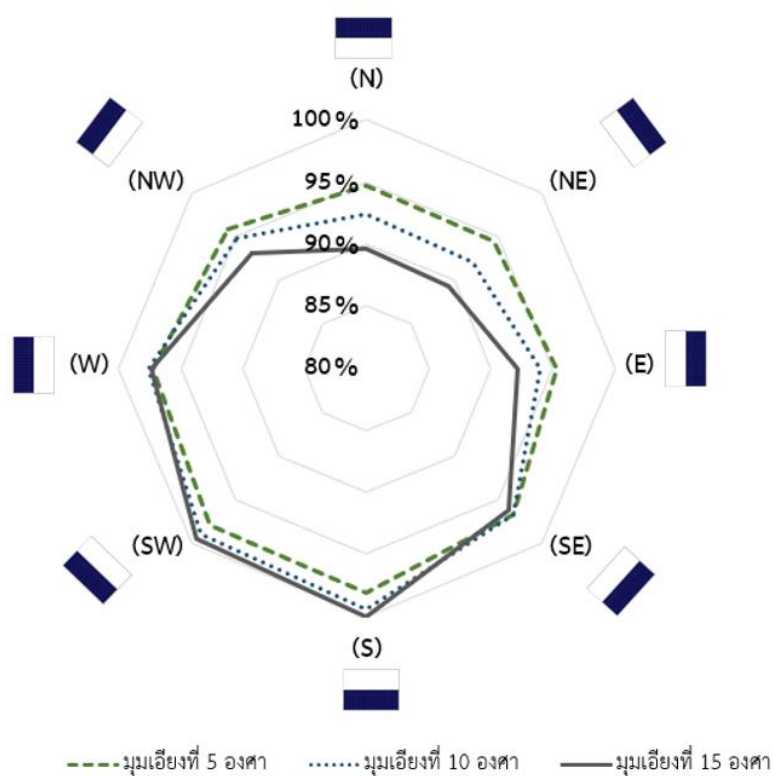
3) หลังคาอาคารทรงโค้ง โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา

4) หลังคาอาคารทรงปั้นหย้า โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน

พบว่า ทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด หรือคิดเป็น 100% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด หรือคิดเป็น 89% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด

ตารางที่ 5.1 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันทั้ง 8 ทิศทาง

ทิศ/มุมเอียงหลังคา	5 องศา	10 องศา	15 องศา
ทิศเหนือ (N)	95	92	90
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)	94	92	89
ทิศตะวันออก (E)	95	94	92
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)	97	97	96
ทิศใต้ (S)	98	99	100
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	98	99	99
ทิศตะวันตก (W)	97	98	97
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	96	95	93



ภาพที่ 5.2 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆ

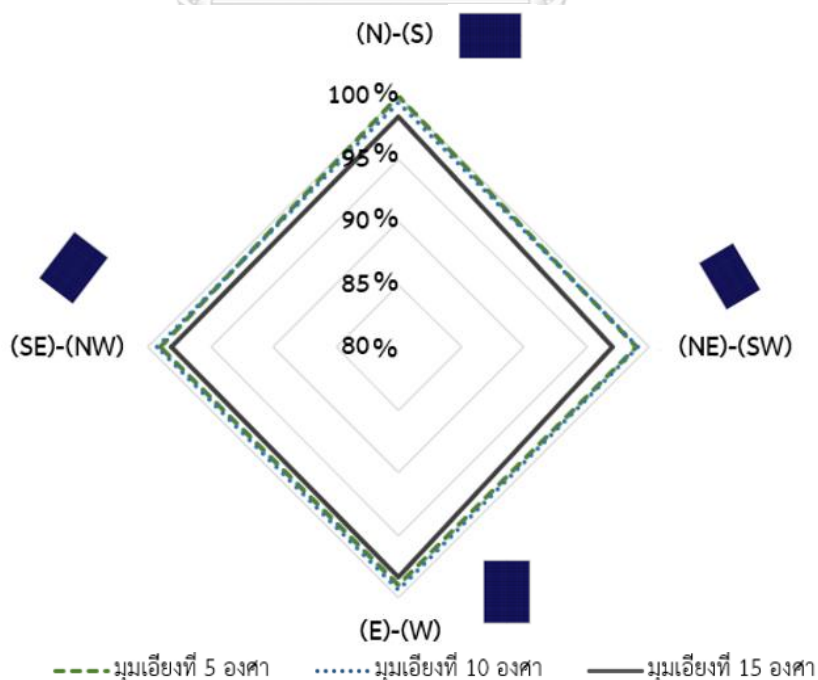
- จากการเปรียบเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกันของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงจั่ว ทรงโค้ง โดยแบ่งผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์การออกเป็น 2 รูปทรงของหลังคาอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 5.2 และภาพที่ 5.3 ได้แก่

- 1) หลังคาอาคารทรงจั่ว โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา
- 2) หลังคาอาคารทรงโค้ง โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา

จากตารางที่ 5.2 พบว่า ทิศเหนือ (N) - ทิศใต้ (S) มุมเอียงของหลังคาที่ 5 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด หรือคิดเป็น 100% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) - ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด หรือคิดเป็น 97% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด

ตารางที่ 5.2 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน แบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงจั่วและทรงโค้ง

ทิศ/มุมเอียงหลังคา	5 องศา	10 องศา	15 องศา
ทิศเหนือ (N) และ ทิศใต้ (S)	100	99	98
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	99	99	97
ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W)	99	99	98
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	99	99	98



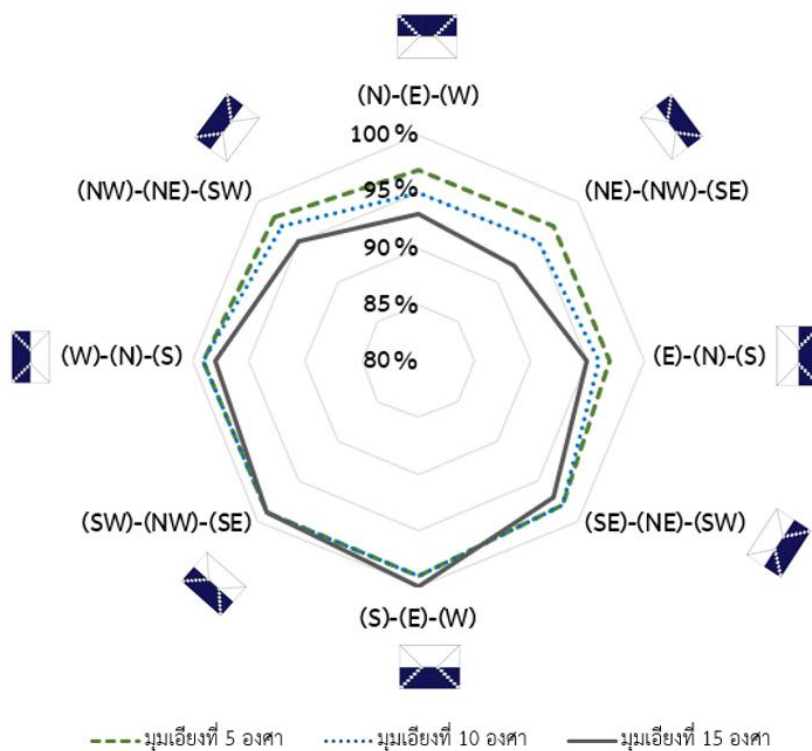
ภาพที่ 5.3 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงจั่วและทรงโค้ง



- จากการเปรียบเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกันของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทรงปั้นหยา ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และภาพที่ 5.4 พบว่า ด้านยาว: ทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด หรือคิดเป็น 100% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด และด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ด้านกว้าง: ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด หรือคิดเป็น 92% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด

**ตารางที่ 5.3** ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน แบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทรงปั้นหยา

ทิศ/มุมเอียงหลังคา	5 องศา	10 องศา	15 องศา
ด้านยาว: ทิศเหนือ (N) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W)	97	95	93
ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ด้านกว้าง: ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)	97	95	92
ด้านยาว: ทิศตะวันออก (E) ด้านกว้าง: ทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S)	97	96	95
ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	98	98	97
ด้านยาว: ทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W)	99	99	100
ด้านยาว: ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)	99	99	99
ด้านยาว: ทิศตะวันตก (W) ด้านกว้าง: ทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S)	99	99	98
ด้านยาว: ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	98	97	95

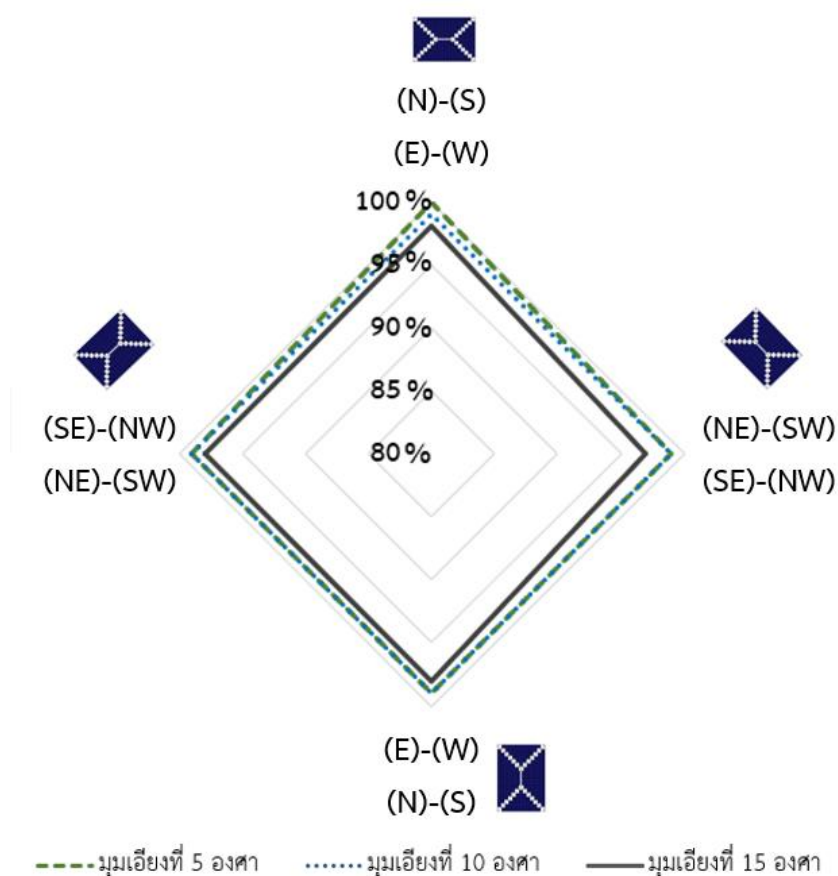


ภาพที่ 5.4 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทรงปั้นหยา

- จากการเปรียบเทียบร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกันของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงปั้นหยา ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และภาพที่ 5.5 พบว่า ด้านยาว: ทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W) มุมเอียงหลังคาที่ 5 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด หรือคิดเป็น 100% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด และด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ต่ำที่สุด หรือคิดเป็น 97% ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุด

ตารางที่ 5.4 ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปในทิศต่างๆกันและมีมุมเอียงที่ต่างกัน แบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงปั้นหย่า

ทิศ/มุมเอียงหลังคา	5 องศา	10 องศา	15 องศา
ด้านยาว: ทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W)	100	99	98
ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	99	99	97
ด้านยาว: ทิศตะวันออก (E) และทิศตะวันตก (W) ด้านกว้าง: ทิศเหนือ (N) และ ทิศใต้ (S)	99	99	98
ด้านยาว: ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ด้านกว้าง: ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	99	99	98



ภาพที่ 5.5 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทิศต่างๆแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคาอาคารทรงปั้นหย่า

5.2.2 จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 พบว่า จากการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด พบว่า

1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวันของอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้งและทรงปั้นหย่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้เท่ากัน

2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน ของอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้งและทรงปั้นหย่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้เท่ากัน

3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ของอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้ง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้เท่ากัน ส่วนหลังคาทรงปั้นหย่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้น้อยที่สุด

4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา อาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงเพิงหมาแหงนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุดเป็นอันดับที่ 1 อาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่วและทรงโค้งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุดเป็นอันดับที่ 2 และอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงปั้นหย่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุดเป็นอันดับที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และดังแสดงในภาพที่ 5.6-5.7

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight				ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight			
		จำนวน แผง (แผง)	กำลังการ ผลิต (kWp)	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ (kWh/ปี)	ค่า สมรรถ- นะ (%)	จำนวน แผง (แผง)	กำลังการ ผลิต (kWp)	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ (kWh/ปี)	ค่า สมรรถ- นะ (%)
		หลังคาทรงจั่ว							
เล็ก	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	80	27.2	35,289	76%	60	20.4	24,707	76%
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	110	37.4	49,414	76%	85	28.9	38,829	76%
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	234	79.56	102,347	76%	182	61.88	81,157	76%
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	468	159.12	197,294	76%	364	123.76	156,439	76%
กลาง	1) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	180	61.2	77,640	76%	120	40.8	52,933	76%
	2) พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	240	81.6	105,866	76%	190	64.6	84,703	76%
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	551	187.34	243,502	76%	418	142.12	183,506	76%
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	1,102	374.68	469,387	76%	836	284.24	353,734	76%

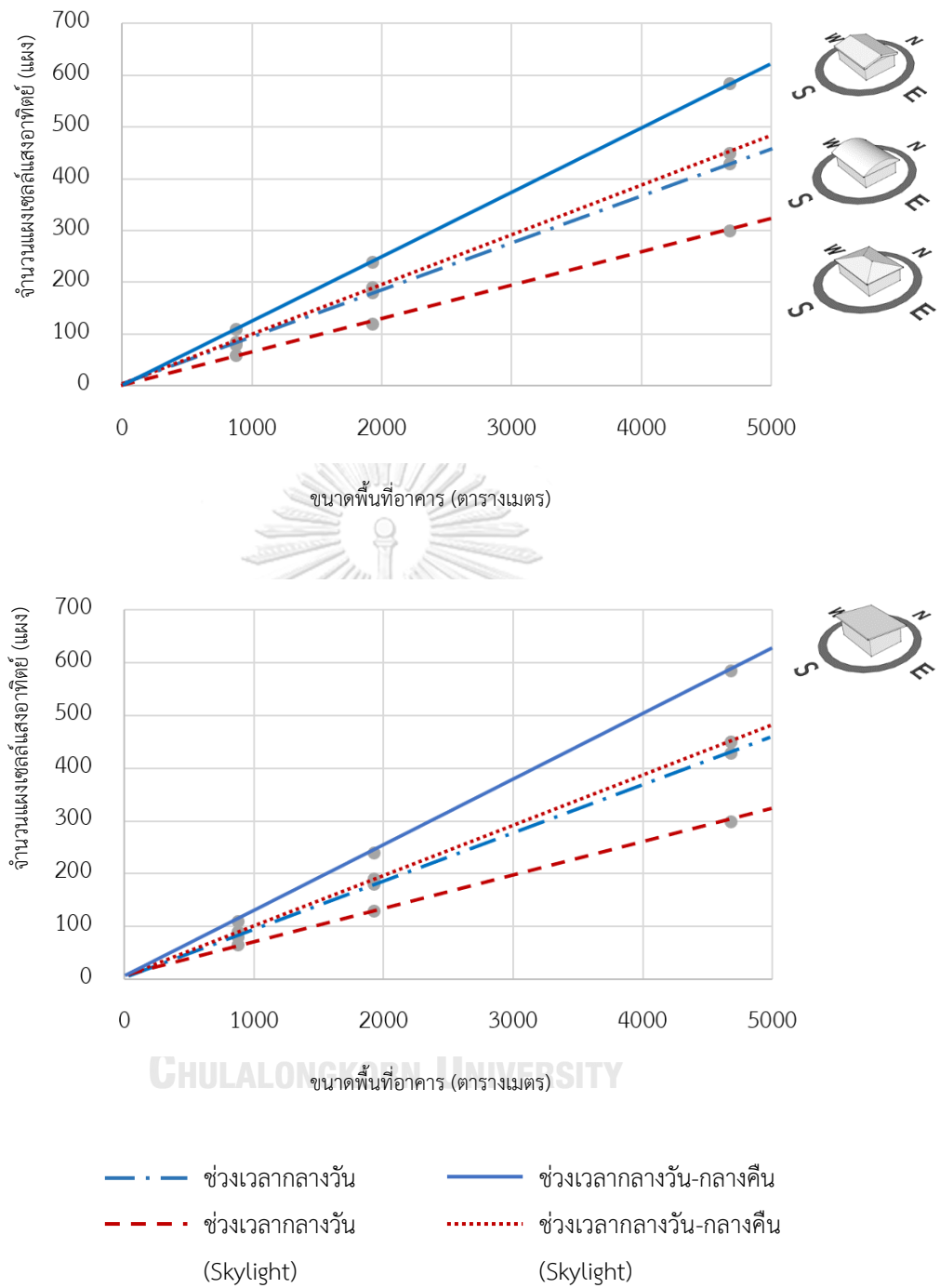
ตารางที่ 5.5 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight				ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight				
		จำนวน แผง (แผง)	กำลังการ ผลิต (kWp)	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ (kWh/ปี)	ค่า สมรรถ- นะ (%)	จำนวน แผง (แผง)	กำลังการ ผลิต (kWp)	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ (kWh/ปี)	ค่า สมรรถ- นะ (%)	
ใหญ่	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	430	146.2	189,418	76%	300	102	132,131	76%	
	2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	585	198.9	257,697	76%	450	153	198,196	76%	
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,350	459.00	594,656	76%	1140	387.60	502,903	76%	
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	2,700	918.00	1,146,298	76%	2,280	775.20	969,431	76%	
เล็ก	หลังคาทรงพิงหมาแหงน									
	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	80	27.2	35,289	76%	65	22.1	28,225	76%	
	2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	110	37.4	49,414	76%	90	30.6	38,829	76%	
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	234	79.56	102,347	76%	182	61.88	81,157	76%	
กลาง	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	468	159.12	204,695	76%	364	123.76	162,315	76%	
	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	180	61.2	77,640	76%	130	44.2	56,475	76%	
	2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	240	81.6	105,866	76%	190	64.6	84,703	76%	
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	551	187.34	243,502	76%	418	142.12	183,506	76%	
ใหญ่	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	1,102	374.68	487,004	76%	836	284.24	367,011	76%	
	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	430	146.2	189,418	76%	300	102	132,131	76%	
	2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	585	198.9	257,697	76%	450	153	198,196	76%	
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,350	459.00	594,656	76%	1,140	387.60	502,903	76%	
ใหญ่	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	2,700	918.00	1,189,312	76%	2,280	775.20	1,005,806	76%	
	หลังคาทรงโค้ง									
	เล็ก	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	80	27.2	35,289	76%	60	20.4	24,707	76%
		2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	110	37.4	49,414	76%	85	28.9	38,829	76%
3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา		234	79.56	102,347	76%	182	61.88	81,157	76%	
4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา		468	159.12	197,294	76%	364	123.76	156,439	76%	
กลาง	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	180	61.2	77,640	76%	120	40.8	52,933	76%	
	2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	240	81.6	105,866	76%	190	64.6	84,703	76%	
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	551	187.34	243,502	76%	418	142.12	183,506	76%	
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็ม พื้นที่ของหลังคา	1,102	374.68	469,387	76%	836	284.24	353,734	76%	
ใหญ่	1) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน	430	146.2	189,418	76%	300	102	132,131	76%	
	2) พอลเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	585	198.9	257,697	76%	450	153	198,196	76%	
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,350	459.00	594,656	76%	1140	387.60	502,903	76%	

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight				ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีที่ 2 ติดตั้ง Skylight			
		จำนวน แผง (แผง)	กำลังการ ผลิต (kWp)	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ (kWh/ปี)	ค่า สมรรถ- นะ (%)	จำนวน แผง (แผง)	กำลังการ ผลิต (kWp)	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ (kWh/ปี)	ค่า สมรรถ- นะ (%)
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	2,700	918.00	1,146,298	76%	2,280	775.20	969,431	76%
หลังคาทรงปั้นหยา									
เล็ก	1) พอดีช่วงเวลากลางวัน	80	27.2	35,289	76%	60	20.4	24,707	76%
	2) พอดีช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	110	37.4	49,414	76%	85	28.9	38,829	76%
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	234	79.56	90,109	76%	182	61.88	69,114	76%
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	468	159.12	176,838	76%	364	123.76	135,993	76%
กลาง	1) พอดีช่วงเวลากลางวัน	180	61.2	77,640	76%	120	40.8	52,933	76%
	2) พอดีช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	240	81.6	105,866	76%	190	64.6	84,703	76%
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	551	187.34	222,170	76%	418	142.12	173,122	76%
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	1,102	374.68	435,243	76%	836	284.24	339,997	76%
ใหญ่	1) พอดีช่วงเวลากลางวัน	430	146.2	189,418	76%	300	102	132,131	76%
	2) พอดีช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	585	198.9	257,697	76%	450	153	198,196	76%
	3) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา	1,350	459.00	561,968	76%	1140	387.60	467,391	76%
	4) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา	2,700	918.00	1,101,772	76%	2,280	775.20	918,058	76%

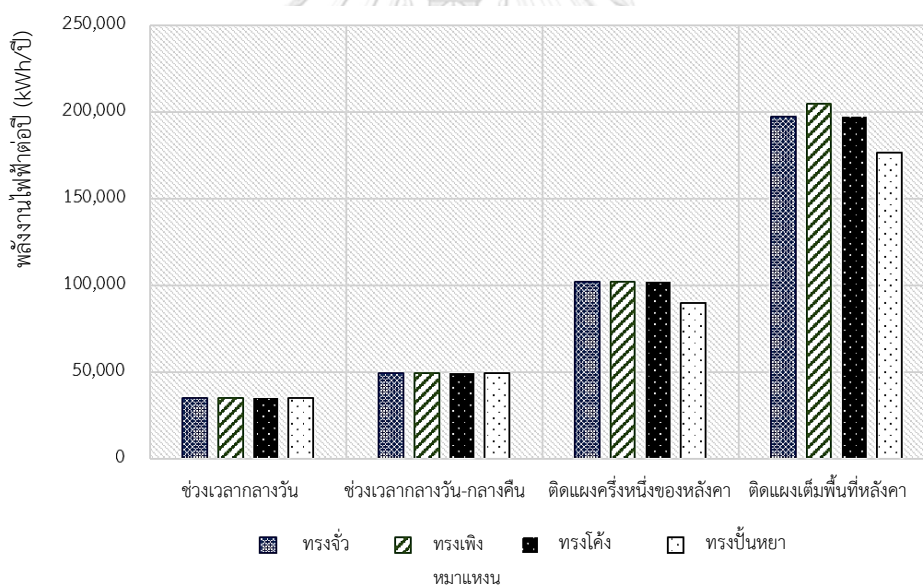
จากผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model 2018.11.11 สามารถทำนายจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 5.6 จากภาพที่ 5.6 พบว่า จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้ง Skylight จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดจากกรณีที่ 2 ที่มีการติดตั้ง Skylight ส่งผลให้ความต้องการพลังงานในอาคารน้อยกว่าส่งผลให้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่า



ภาพที่ 5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแสงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารหลังคาทรงจั่ว ทรงโค้ง ทรงปั้นหย่า (บน) และอาคารหลังคาทรงเพิงหมาแหงน (ล่าง)

จากการเทียบผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มากที่สุดของอาคารแต่ละรูปทรง หลังคา สามารถสรุปได้ดังแสดงในภาพที่ 5.7 ดังนี้

- 1) การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ช่วงเวลากลางวันสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากัน
- 2) การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ช่วงเวลากลางวัน-กลางคืนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากัน
- 3) การติดตั้งเครื่องหนึ่งของหลังคา หลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากัน ในส่วนหลังคาทรงปั้นหยาสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยที่สุด คิดเป็น 17% ของพลังงานที่ผลิตได้สูงสุด
- 4) การติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา หลังคาทรงเพิงหมาแหงนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด หลังคาทรงจั่วและทรงโค้ง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอันดับที่ 2 คิดเป็น 8% ของพลังงานที่ผลิตได้สูงสุด และหลังคาทรงปั้นหยาสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำที่สุด คิดเป็น 15% ของพลังงานที่ผลิตได้สูงสุด



ภาพที่ 5.7 ตัวอย่างผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงและ 4 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารขนาดเล็ก

5.2.3 ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งแต่ละระบบ พบว่า 1) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ประหยัดไฟฟ้าได้ 60-73% 2) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งช่องแสงธรรมชาติประหยัดไฟฟ้าได้ 60-75% 3) การติดตั้งช่องแสงธรรมชาติประหยัดไฟฟ้าได้ 20-32% 4) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

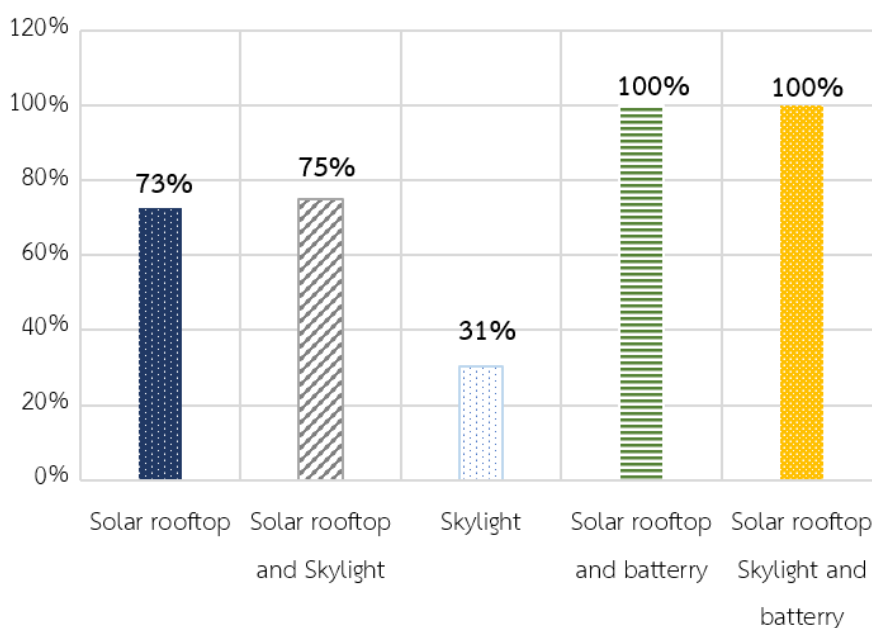


ร่วมกับแบตเตอรี่ประหยัดไฟฟ้าได้ 100% และ 5) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติและแบตเตอรี่ประหยัดไฟฟ้าได้ 100% ดังแสดงในตารางที่ 5.6

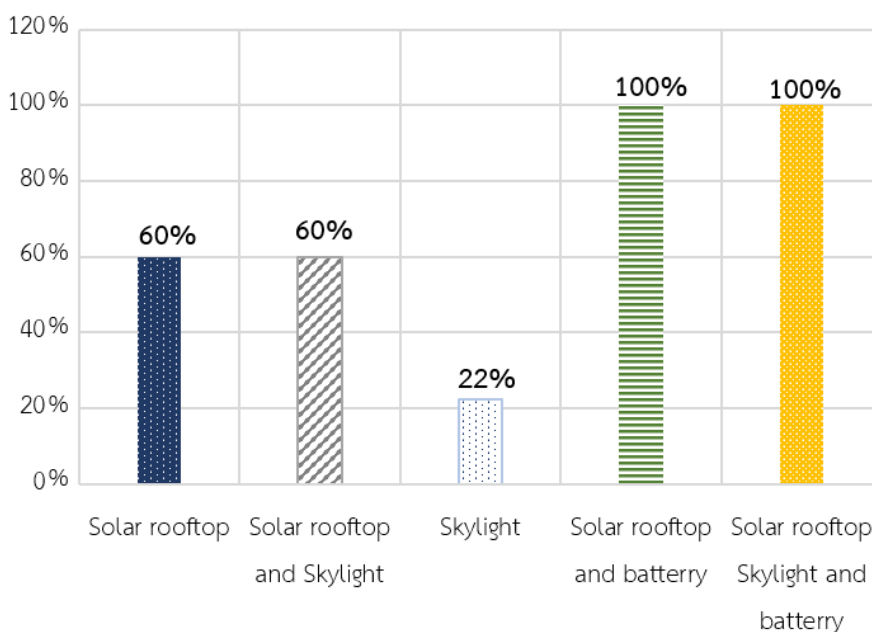
ตารางที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งแต่ละระบบในหนึ่งวัน

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (%)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (%)	ติดตั้ง Skylight (%)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (%)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (%)
หลังคาทรงจั่ว						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	24	100	100
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	24	100	100
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	23	100	100
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75	27	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	20	100	100
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75	28	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	20	100	100
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	23	100	100
หลังคาทรงโค้ง						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	24	100	100
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	24	100	100
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	23	100	100
หลังคาทรงปั้นหยา						
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	72	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	24	100	100
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	24	100	100
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	73	75	32	100	100
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	60	60	23	100	100

จากค่าเฉลี่ยการประหยัดพลังงานของการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวันและการใช้งานช่วงกลางวัน-กลางคืน ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคาและอาคารทั้ง 3 ขนาด พบว่า การใช้งานอาคารในช่วงเวลากลางวัน การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบแบตเตอรี่และช่องแสงธรรมชาติสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด 100% ต่อวัน และจากค่าเฉลี่ยการประหยัดพลังงานในช่วงกลางวันนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าช่วงเวลาการใช้งานอาคารแบบกลางวัน-กลางคืน ดังแสดงในภาพที่ 5.8 และ 5.9



ภาพที่ 5.8 แผนภูมิร้อยละค่าการประหยัดพลังงานของการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน



ภาพที่ 5.9 แผนภูมิร้อยละค่าการประหยัดพลังงานของการใช้งานอาคารช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน

## 5.2.4 ผลการเปรียบเทียบศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

5.2.4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา โดยแบ่งรูปแบบของระบบการติดตั้งเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ 2) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight 3) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และ 4) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight โดยมีผลการเปรียบเทียบของหลังคาทั้ง 4 รูปทรง และอาคารทั้ง 3 ขนาด ดังนี้ ลำดับที่ 1) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติ มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ลำดับที่ 2) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ลำดับที่ 3) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่ ลำดับที่ 4) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติและแบตเตอรี่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.7-5.8

ตารางที่ 5.7 ผลเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (ถ่านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (ถ่านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (ถ่านบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (ถ่านบาท)
หลังคาทรงจั่ว					
เล็ก	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.00	0.82	2.22	2.12
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.38	1.13	3.75	3.76
กลาง	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.26	1.66	4.93	4.25
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.01	2.53	8.23	8.21
ใหญ่	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	5.39	4.13	11.65	10.44
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.33	6.01	19.99	19.81
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน					
เล็ก	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.00	0.88	2.22	2.08
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.38	1.20	3.75	3.80
กลาง	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.26	1.78	4.93	4.41
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.01	2.53	8.23	8.57
ใหญ่	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	5.39	4.13	11.65	10.44
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.33	6.01	19.99	19.81
หลังคาทรงโค้ง					
เล็ก	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.13	0.92	2.35	2.22
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.55	1.27	3.92	3.90
กลาง	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.54	1.85	5.22	4.45
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.39	2.83	8.61	8.51
ใหญ่	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.07	4.60	12.33	10.91
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	8.26	6.72	20.92	20.52

ตารางที่ 5.7 ผลเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ต่อ)

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (ถ้ำบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (ถ้ำบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (ถ้ำบาท)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (ถ้ำบาท)
หลังคาทรงปั้นหย้า					
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	1.00	0.82	2.22	2.12
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	1.38	1.13	3.75	3.76
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	2.26	1.66	4.93	4.25
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	3.01	2.53	8.23	8.21
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	5.39	4.13	11.65	10.44
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.33	6.01	19.99	19.81

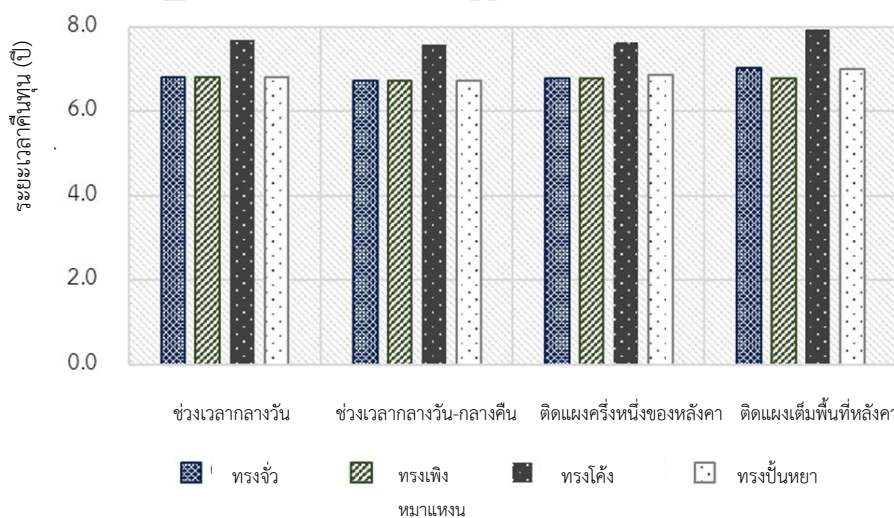
ตารางที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการคืนทุนระบบจากทิศทางที่ผลิตพลังงานได้สูงสุด

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (ปี)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (ปี)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (ปี)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (ปี)
หลังคาทรงจั่ว					
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.7	5.6	14.9	14.5
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.6	5.5	18	18.3
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.9	5.1	15.1	15.1
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.7	5.6	18.5	18.3
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.8	5.3	14.6	14.6
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.8	5.7	18.4	18.7
หลังคาทรงเพิงหมาแหงน					
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.7	5.7	14.9	13.4
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.6	6.0	18.0	19.0
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.9	5.6	15.1	13.9
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.7	5.8	18.5	19.6
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.8	5.3	14.6	13.3
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.8	5.7	18.4	18.7
หลังคาทรงโค้ง					
เล็ก	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	7.6	6.3	15.8	15.0
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.5	6.2	18.8	18.9
กลาง	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	7.8	5.9	16.0	16.0
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	7.6	6.3	19.3	18.9
ใหญ่	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน	7.6	5.9	15.5	15.5
	พอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.3	6.3	19.3	19.4

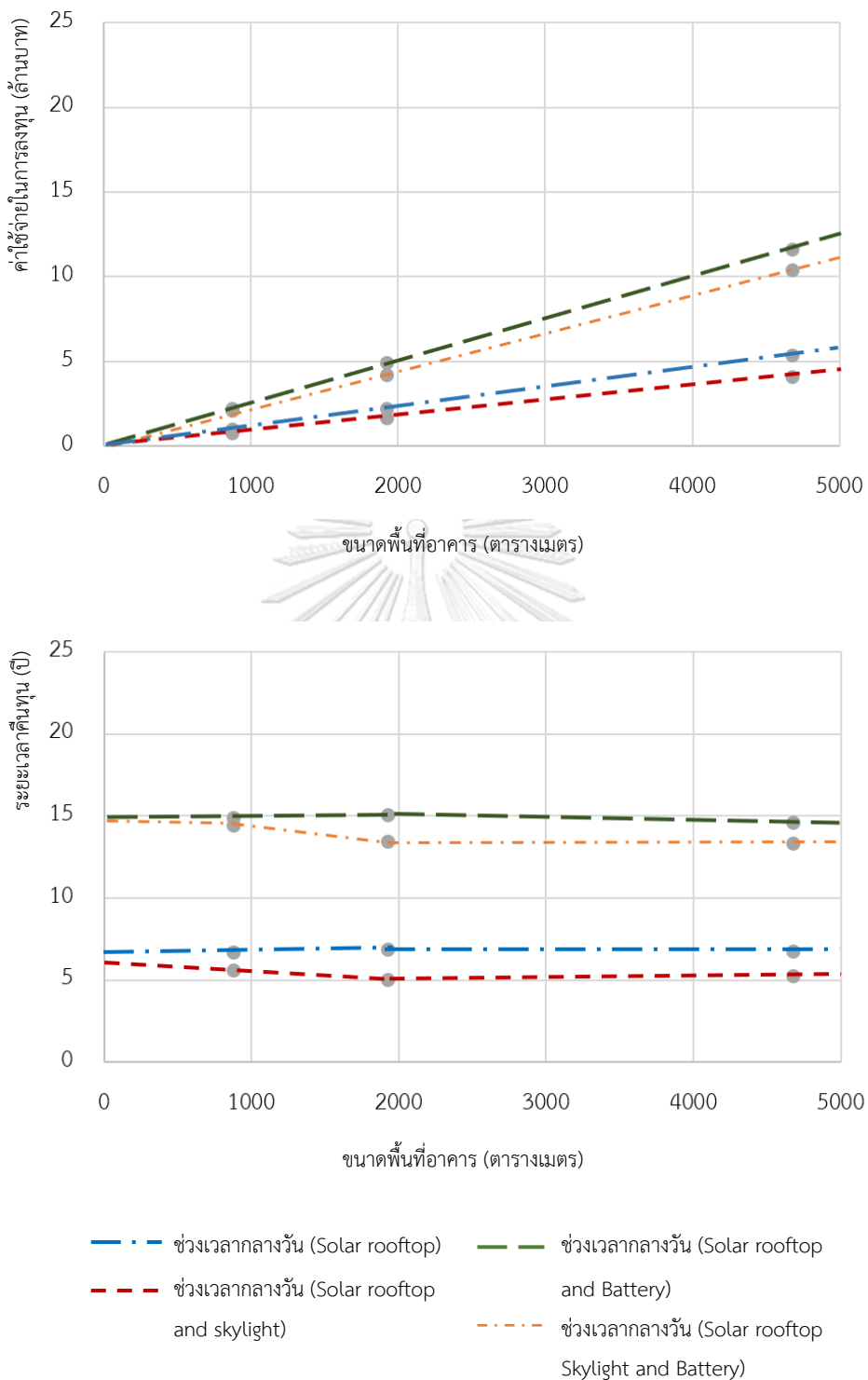
ตารางที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการคืนทุนระบบจากทิศทางที่ผลิตพลังงานได้สูงสุด(ต่อ)

ขนาดอาคาร	รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (ปี)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight (ปี)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (ปี)	ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และติดตั้ง Skylight (ปี)
หลังคาทรงปั้นหยา					
เล็ก	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.7	5.6	14.9	14.5
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.6	5.5	18	18.3
กลาง	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.9	5.1	15.1	15.1
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.7	5.6	18.5	18.3
ใหญ่	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน	6.8	5.3	14.6	14.6
	พอลิเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน	6.8	5.7	18.4	18.7

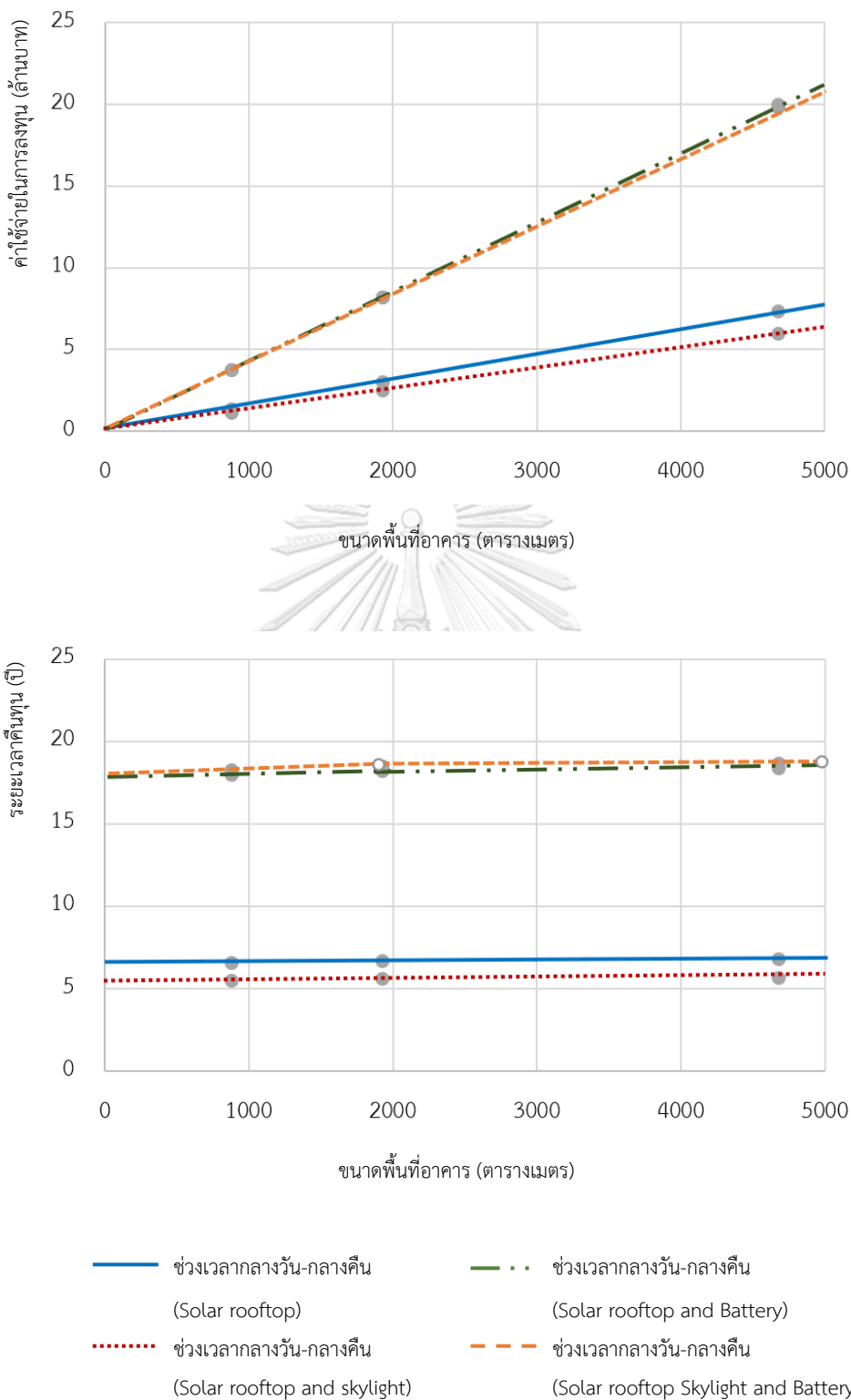
จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคาและ 4 รูปแบบการติดตั้งพบว่า 1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบช่วงเวลากลางวัน หลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงนทรงปั้นหยา มีระยะเวลาคืนทุนที่เท่ากัน ส่วนหลังคาทรงโค้งมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด 2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน หลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงนทรงปั้นหยา มีระยะเวลาคืนทุนที่เท่ากัน ส่วนหลังคาทรงโค้งมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด 3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครึ่งหนึ่งของหลังคา หลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงนทรงปั้นหยา มีระยะเวลาคืนทุนที่เท่ากัน ส่วนทรงโค้งมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด และ 4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่ของหลังคา หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ลำดับที่ 2 คือ หลังคาทรงจั่ว และทรงปั้นหยา ลำดับที่ 3 คือ หลังคาทรงโค้ง ดังแสดงในภาพที่ 5.10



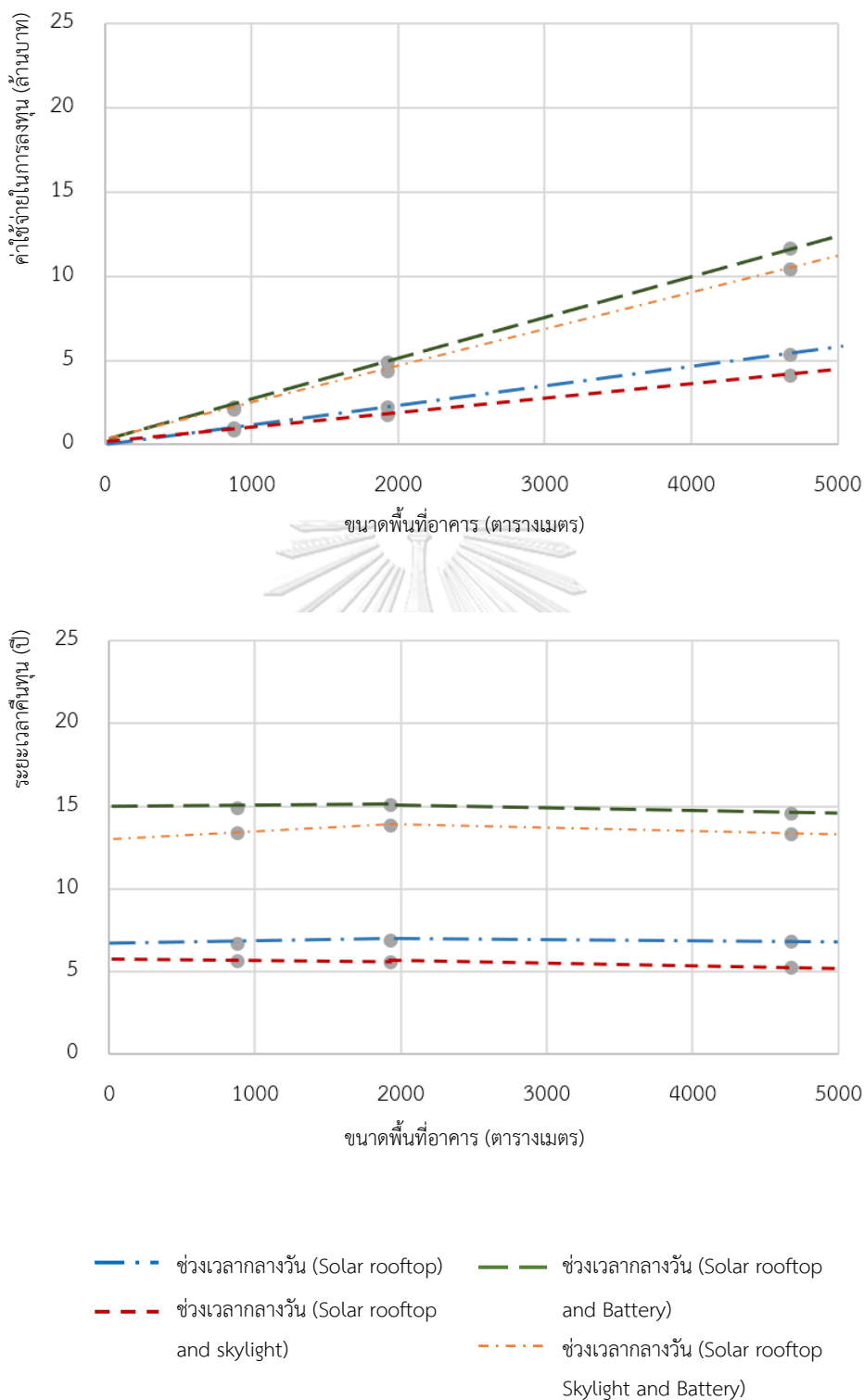
ภาพที่ 5.10 ระยะเวลาคืนทุนของอาคารทั้ง 4 รูปทรงหลังคา และ 4 รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 5.11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน

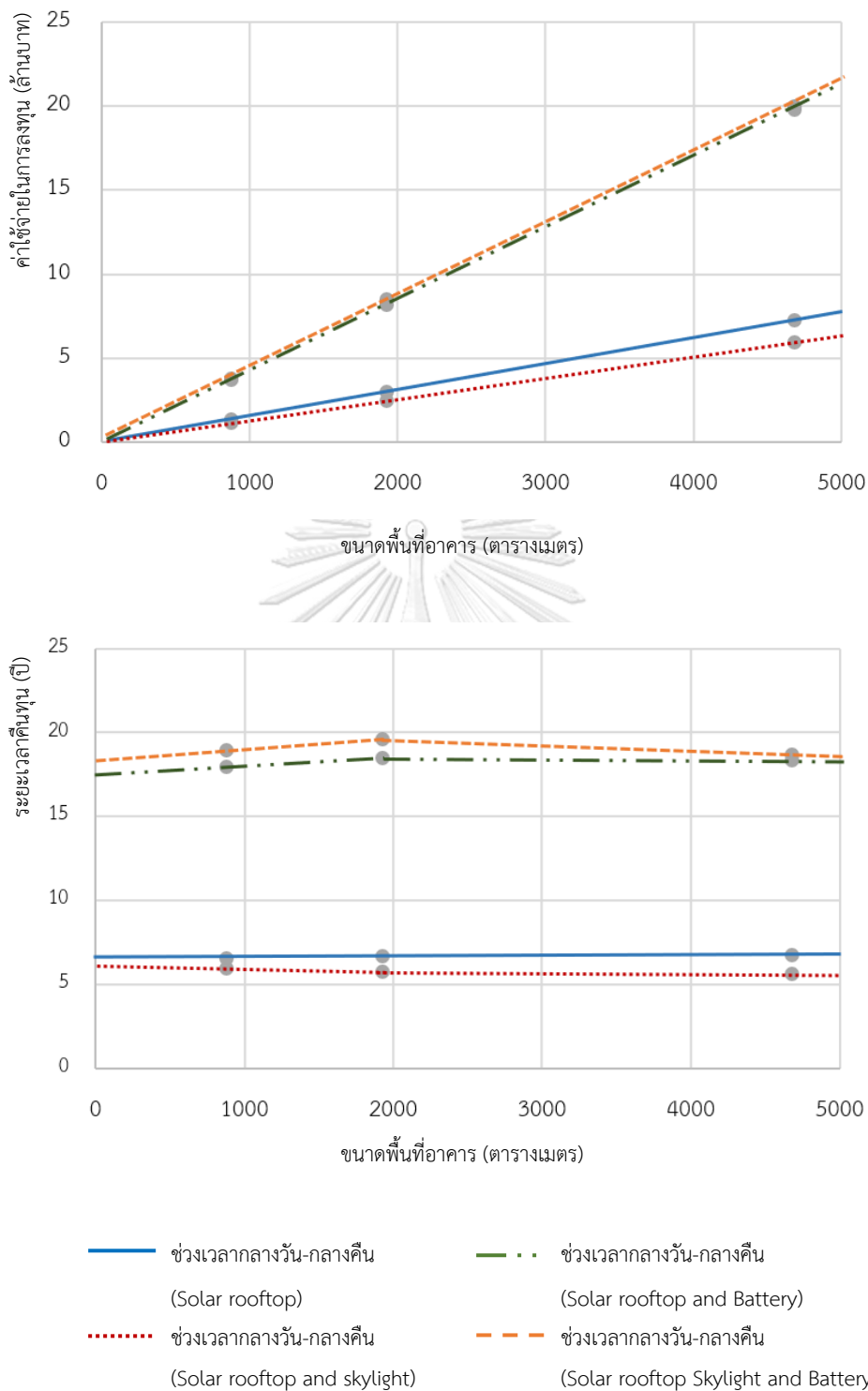


ภาพที่ 5.12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน

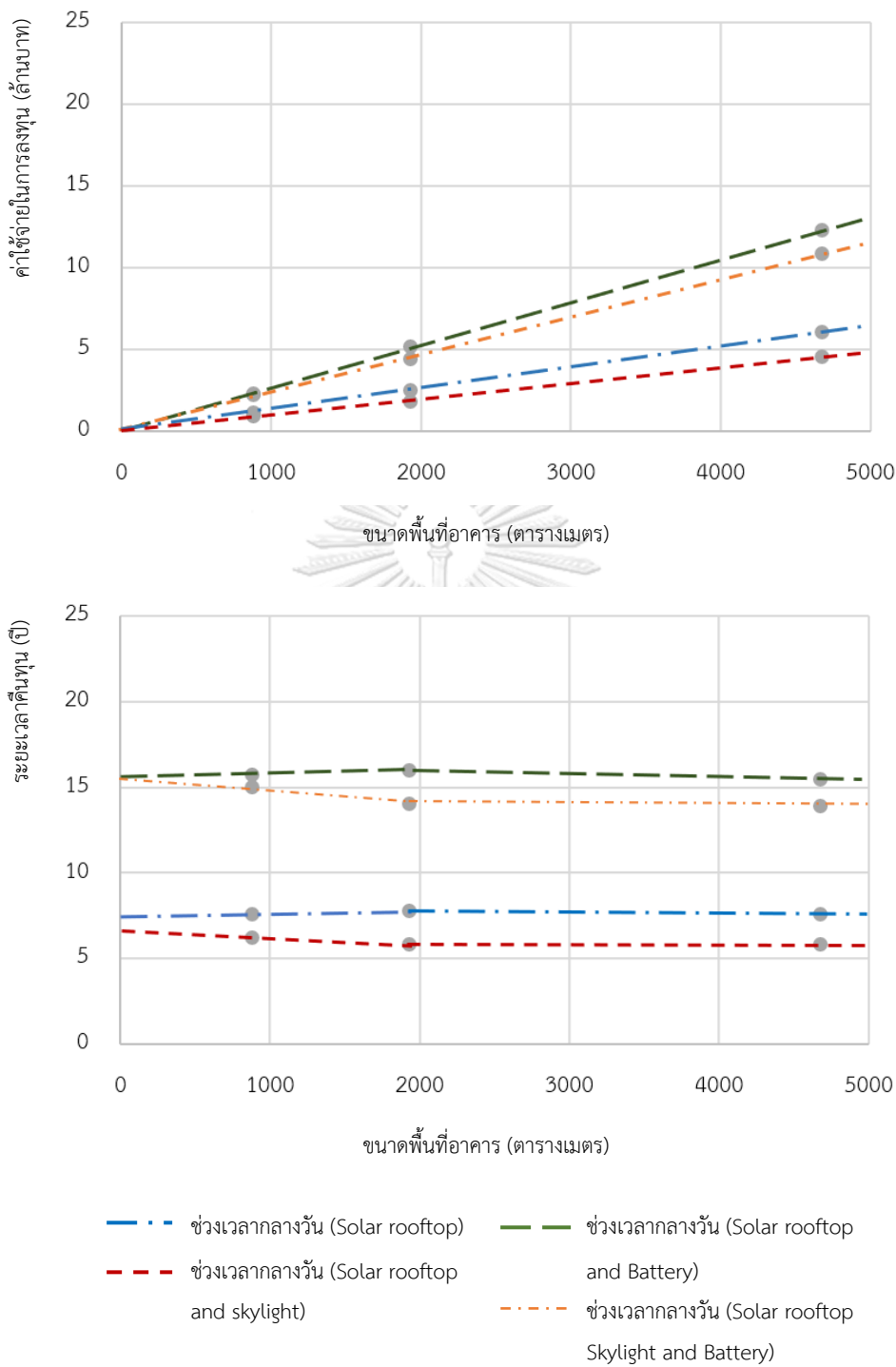


ภาพที่ 5.13 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงเพิงหมาแหงนที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน

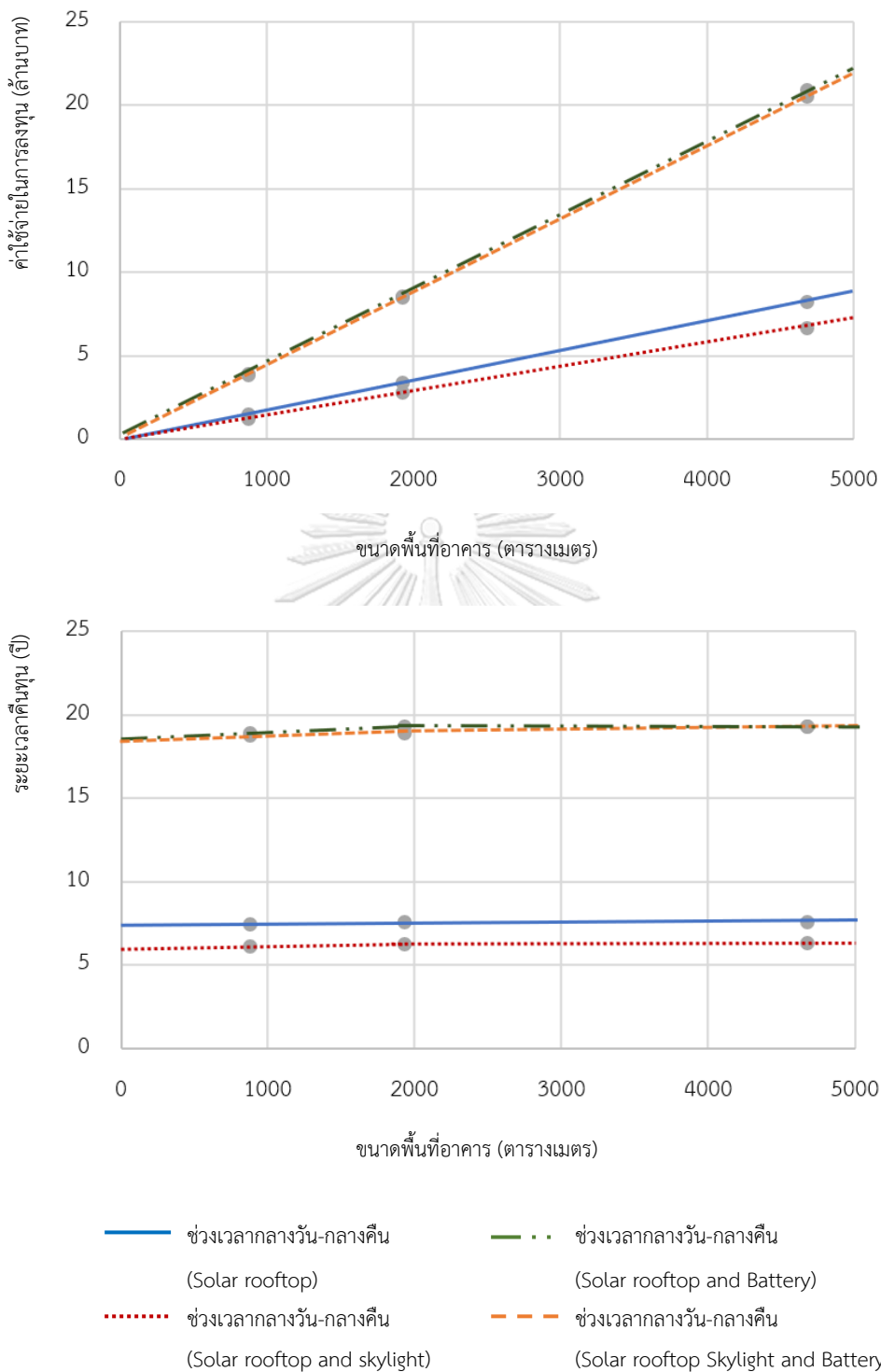




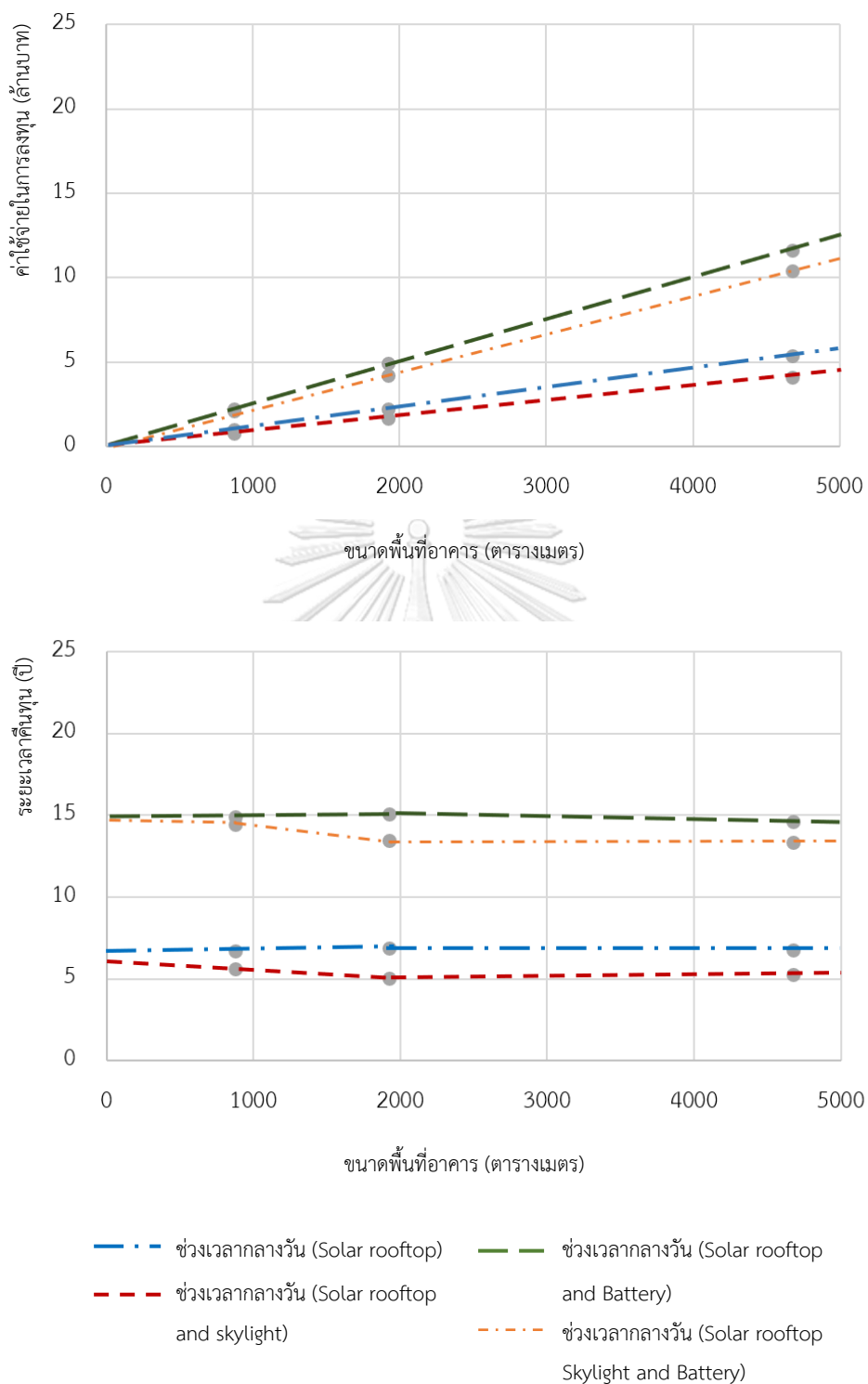
ภาพที่ 5.14 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงเพิงหมาแหงนที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน



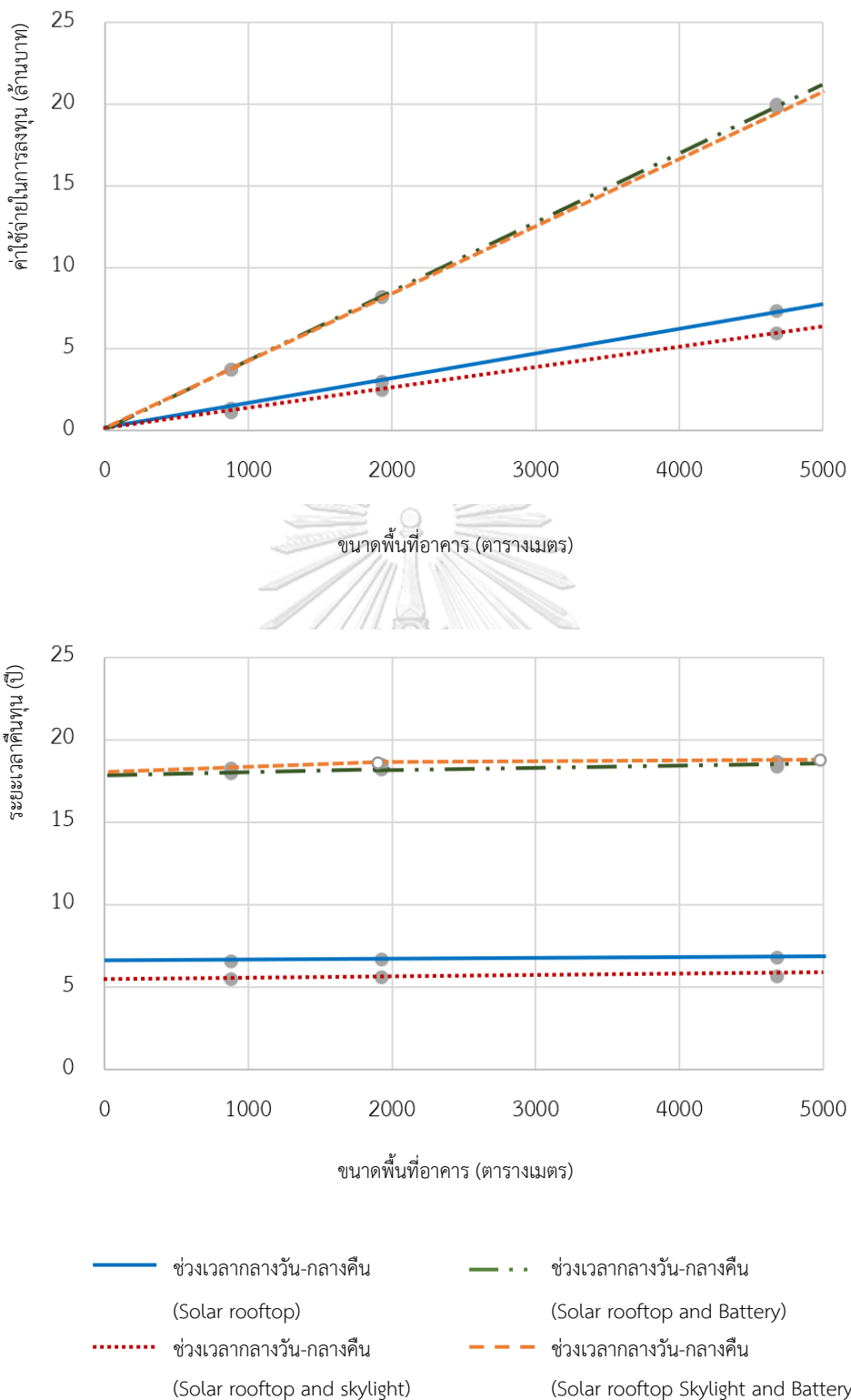
ภาพที่ 5.15 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงโค้งที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน



ภาพที่ 5.16 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงโค้งที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน



ภาพที่ 5.17 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงปั้นหยาที่ติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน



ภาพที่ 5.18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บน) และระยะเวลาในการคืนทุน (ล่าง) ของหลังคาทรงปั้นหยาที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน

### 5.3 สรุปผลและนำเสนอแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

จากการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารจากทิศทางหลังคาและมุมเอียงหลังคาที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดและระยะเวลาคืนทุนนั้นหลังคาที่ติดตั้ง Skylight มีระยะคืนทุนที่เร็วกว่าแบบไม่ติดตั้ง Skylight โดยสามารถแบ่งเป็นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 รูปแบบ ดังนี้

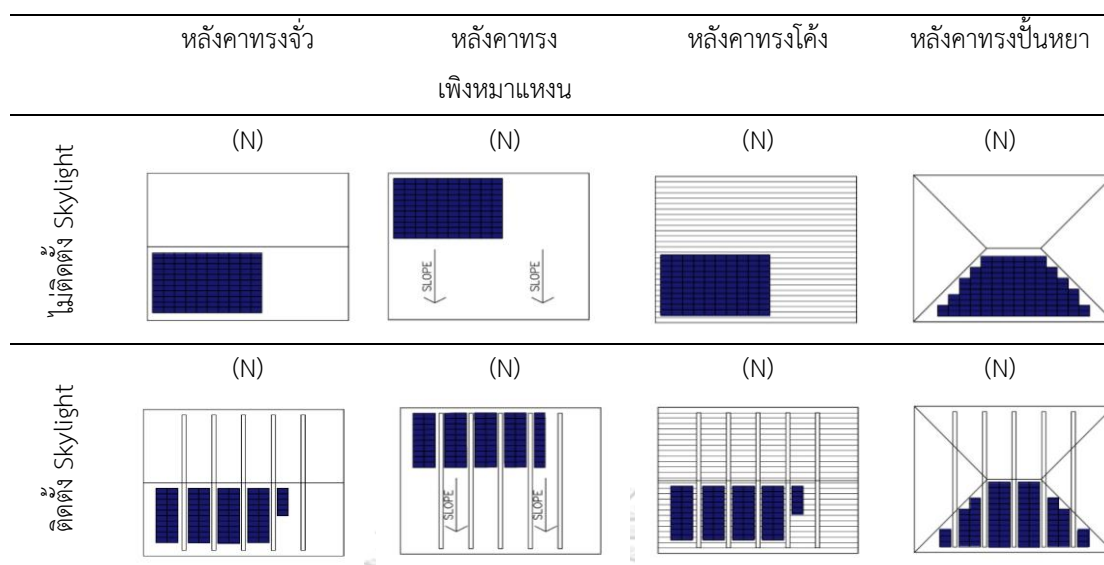
1) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวันของอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้งและทรงปั้นหย่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้เท่ากัน โดยทิศที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ทิศใต้ มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา ดังแสดงตัวอย่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 5.9 ส่วนระยะเวลาคืนทุนของหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงปั้นหย่า มีระยะคืนทุนที่เท่ากัน แต่หลังคาทรงโค้งมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด

ตารางที่ 5.9 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน

	หลังคาทรงจั่ว	หลังคาทรงเพิงหมาแหงน	หลังคาทรงโค้ง	หลังคาทรงปั้นหย่า
ไม่ติดตั้ง Skylight	(N)	(N)	(N)	(N)
ติดตั้ง Skylight	(N)	(N)	(N)	(N)

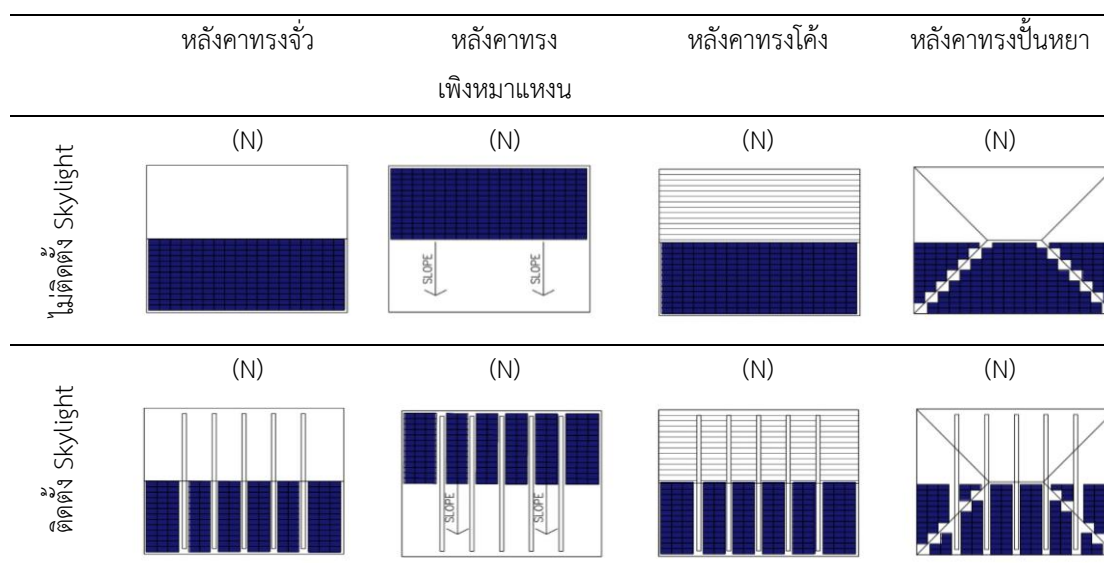
2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน ของอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงโค้งและทรงปั้นหย่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้เท่ากัน โดยทิศที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ทิศใต้ มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา ดังแสดงตัวอย่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 5.10 ส่วนระยะเวลาคืนทุนของหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน ทรงปั้นหย่า มีระยะคืนทุนที่เท่ากัน แต่หลังคาทรงโค้งมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด

ตารางที่ 5.10 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน



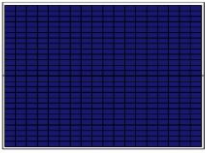
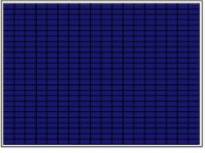
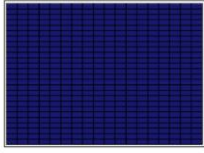
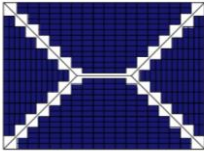
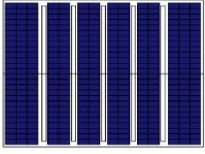
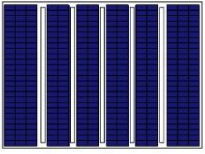
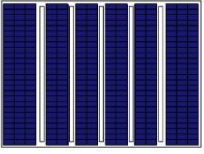
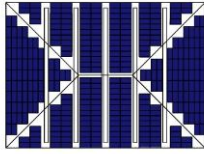
3) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา ของอาคารสนามกีฬาในร่ม หลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงน หลังคาทรงโค้ง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้เท่ากัน โดยทิศทางที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ทิศใต้ มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา ส่วนหลังคาทรงปั้นหยาสสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้น้อยที่สุด โดยทิศทางที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ด้านยาวของอาคารทางด้านทิศใต้ ด้านกว้างของอาคารทางทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ดังแสดงตัวอย่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 5.11 ส่วนระยะเวลาคืนทุนของหลังคาทรงจั่ว ทรงเพิงหมาแหงนทรงปั้นหยามีระยะเวลาคืนทุนที่เท่ากัน ส่วนทรงโค้งมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุด

ตารางที่ 5.11 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา



4) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา อาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงเพิงหมาแหงนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุดเป็นอันดับที่ 1 โดยทิศที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ทิศใต้ มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุด อาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงจั่วและทรงโค้งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุดเป็นอันดับที่ 2 โดยทิศที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ทิศเหนือ-ทิศใต้ มุมเอียงของหลังคาที่ 5 องศา และอาคารสนามกีฬาในร่มหลังคาทรงปั้นหยาสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้สูงที่สุดเป็นอันดับที่ 3 โดยทิศที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ด้านยาวของอาคารทางด้านทิศเหนือ-ทิศใต้ และด้านกว้างของอาคารทางทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก มุมเอียงของหลังคาที่ 5 องศา ดังแสดงตัวอย่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 5.12 ส่วนระยะเวลาคืนทุนหลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงนมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ลำดับที่ 2 คือ หลังคาทรงจั่วและทรงปั้นหยา ลำดับที่ 3 คือ หลังคาทรงโค้ง

ตารางที่ 5.12 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเต็มพื้นที่ของหลังคา

	หลังคาทรงจั่ว	หลังคาทรงเพิงหมาแหงน	หลังคาทรงโค้ง	หลังคาทรงปั้นหยา
ไม่ติดตั้ง Skylight	(N) 	(N) 	(N) 	(N) 
ติดตั้ง Skylight	(N) 	(N) 	(N) 	(N) 

จากผลการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร ผลการวิจัย พบว่า 1) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 60-73% 2) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ร่วมกับการติดตั้งช่องแสงธรรมชาติสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 60-75% 3) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 100% และ 4) การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติและแบตเตอรี่สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 100% ในส่วนของผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์



ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติมีศักยภาพในการลงทุนที่สุด เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5.1-7.8 ปี งานวิจัยชิ้นนี้สามารถสรุปได้ว่า หลังคาที่เหมาะสมในการลงทุนมากที่สุดคือหลังคาทรงเพิงหมาแหงน และรูปแบบที่เหมาะสมในการลงทุนมากที่สุด คือ การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับติดตั้งช่องแสงธรรมชาติ เนื่องจาก การใช้ช่องแสงธรรมชาติสามารถครอบคลุมการใช้งานได้ถึง 6-7 ชั่วโมงต่อวัน อีกทั้งค่าใช้จ่ายทางด้านการลงทุนที่มีค่าน้อยกว่าการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 5.13

**ตารางที่ 5.13** สรุปผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนของระบบ

ระบบ	การประหยัดพลังงาน (%)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
1. การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์	60-73%	6.6-8.6 ปี
2. การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งช่องแสงธรรมชาติ	60-75%	5.1-7.8 ปี
3. การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่	100%	14.6-21.6 ปี
4. การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งช่องแสงธรรมชาติและแบตเตอรี่	100%	13.3-21.5 ปี

### การแนะนำการใช้งานการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม

จากการเลือกการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม โดยคาดการณ์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร จำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าใช้จ่ายในการลงทุน ในการศึกษานี้ได้ทำการอ้างอิงขนาดพื้นที่ทั้งหมดของอาคารสนามกีฬาในร่มที่มีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 875 ตารางเมตร – 4,675 ตารางเมตร โดยมีพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ได้แก่ 1) พื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์ มีขนาดพื้นที่ 75% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด และ 2) พื้นที่อื่นๆ ประกอบไปด้วย สำนักงาน ห้องน้ำ ห้องแต่งตัว ห้องพยาบาล ห้องเก็บของ และอื่นๆ มีขนาดพื้นที่ 25% ของพื้นที่อาคารทั้งหมด อาคารมีความสูงที่ 1 ชั้น โดยกำหนดความสูงของอาคารจากพื้นชั้นที่ 1 ถึง บริเวณปลายชายคาของหลังคาอาคารที่ระยะความสูง 7 เมตร กำหนดภายในพื้นที่สนามกีฬาและอัฒจันทร์ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ กำหนดการติดตั้ง Skylight ที่มีขนาดพื้นที่ 15% ของหลังคาอาคารส่วนบริเวณสนามกีฬาและอัฒจันทร์ ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานระดับค่าความส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษาของ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2559) โดยค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6

ทั้งนี้ในการใช้งานการแนะนำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มจะแนะนำในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ มุมเอียงของหลังคาที่ 15 องศา จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดและคืนทุนเร็วที่สุด ในการแนะนำการใช้งานการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มนั้นจะต้องพิจารณาถึง

- ขนาดพื้นที่ทั้งหมดของอาคารสนามกีฬาในร่ม
- รูปทรงของหลังคาอาคาร 4 รูปทรงหลังคา ได้แก่ หลังคาอาคารทรงจั่ว หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน หลังคาอาคารทรงโค้ง และหลังคาอาคารทรงปั้นหย้า
- ช่วงเวลาที่ใช้งานของอาคารสนามกีฬาในร่ม สามารถแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงกลางวัน 07:00 น.-18:00 น. และช่วงกลางวัน-กลางคืน 07:00 น.-22:00 น.
- รูปแบบของระบบที่เลือกใช้งาน ประกอบไปด้วย 4 แบบ ได้แก่ 1) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ 2) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight 3) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ และ 4) ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และการติดตั้ง Skylight

#### ตัวอย่างการนำแผนภูมิไปใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกภาพที่ 5.1 แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารตามรูปทรงหลังคาที่ใช้และช่วงเวลาการใช้งานของอาคาร

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกภาพที่ 5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารตามรูปทรงหลังคาที่ใช้และช่วงเวลาการใช้งานของอาคาร

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกภาพที่ 5.11-5.18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนของอาคารตามรูปทรงหลังคาที่ใช้และช่วงเวลาการใช้งานของอาคาร

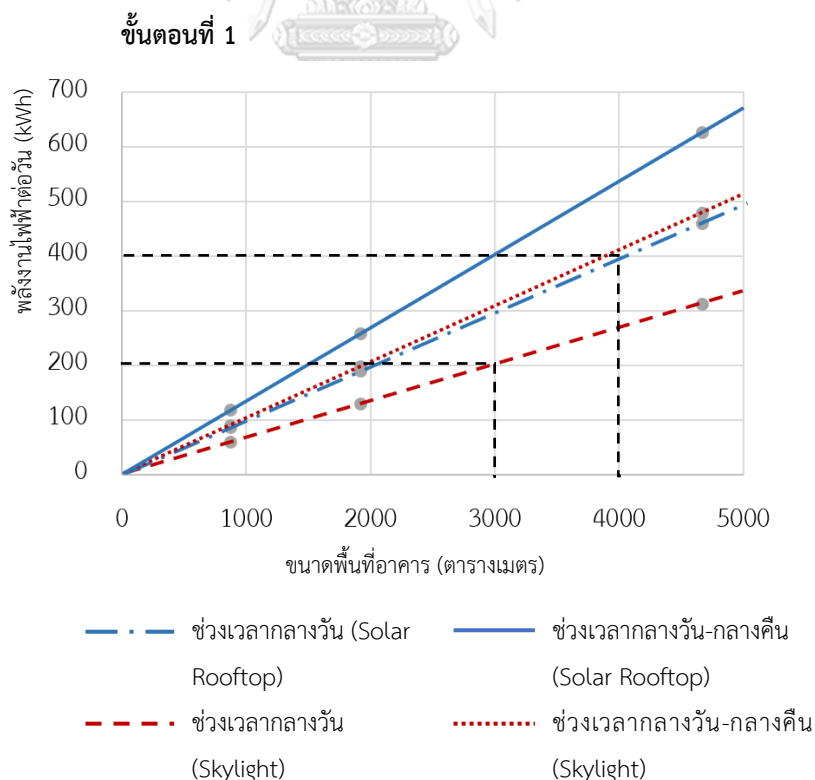
**ตัวอย่างที่ 1** การนำข้อมูลไปใช้งานกรณีผู้ใช้งานเลือกรูปแบบทรงของหลังคาอาคารทรงจั่ว และเลือกรูปแบบของระบบอาคารเป็นช่วงเวลากลางวัน โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight ขนาดอาคารมีพื้นที่ทั้งหมด 3,000 ตารางเมตร โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกภาพที่ 5.1 แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารหลังคาทรงจั่ว ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกภาพที่ 5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารหลังคาทรงจั่ว และขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกภาพที่ 5.11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้ภายในช่วงเวลากลางวัน จากนั้นเลือกขนาดอาคารที่มีพื้นที่ 3,000 ตารางเมตร เลือกการใช้งานและรูปแบบของระบบ

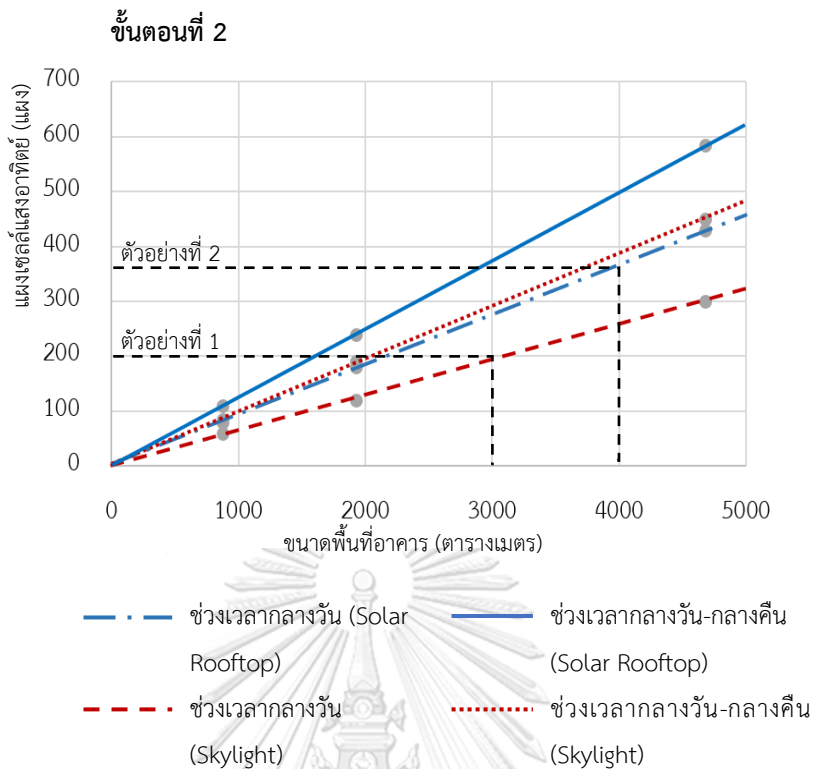
อาคารเป็นช่วงเวลากลางวัน ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และติดตั้ง Skylight ผลที่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.19-5.21 มีผลดังนี้ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารเท่ากับ 200 kWh/วัน จำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 200 แผง และค่าใช้จ่ายในการลงทุนประมาณ 3.5 ล้านบาท

**ตัวอย่างที่ 2** การนำข้อมูลไปใช้งานกรณีผู้ใช้งานเลือกรูปแบบทรงของหลังคาอาคารทรงจั่ว และเลือกรูปแบบของระบบอาคารเป็นช่วงเวลากลางวัน โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ขนาดอาคารมีพื้นที่ทั้งหมด 4,000 ตารางเมตร โดยมีขั้นตอนดังนี้

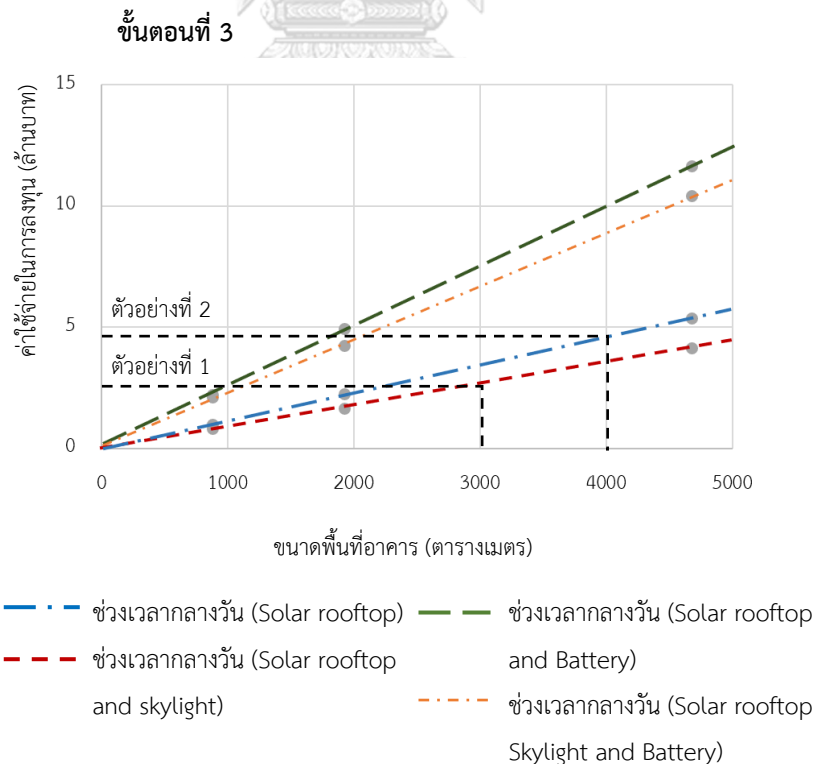
ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือก ภาพที่ 5.1 แผนภูมิเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคารหลังคาทรงจั่ว ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกภาพที่ 5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารหลังคาทรงจั่ว และขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกภาพที่ 5.11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน จากนั้นเลือกขนาดอาคารที่มีพื้นที่ 4,000 ตารางเมตร เลือกการใช้งานและรูปแบบของระบบอาคารเป็นช่วงเวลากลางวัน ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ผลที่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.19-5.21 มีผลดังนี้ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารเท่ากับ 400 kWh/วัน จำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 380 แผง และค่าใช้จ่ายในการลงทุนประมาณ 4.8 ล้านบาท



ภาพที่ 5.19 แผนภูมิการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของอาคาร



ภาพที่ 5.20 แผนภูมิเปรียบเทียบจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารหลังคาทรงจั่ว



ภาพที่ 5.21 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหลังคาทรงจั่วที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่ใช้งานในช่วงเวลากลางวัน

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปสำหรับการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม ได้แก่

5.4.1 งานวิจัยนี้ศึกษาการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารกำหนดความส่องสว่างที่ผ่านเกณฑ์เฉพาะอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มภายในสถานศึกษา ตามค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 300 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.6 เท่านั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มในเกณฑ์อาคารสนามกีฬาในร่มสำหรับการแข่งขันระดับประเทศ ซึ่งมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยขั้นต่ำที่ 500 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ 0.7 จะช่วยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.4.2 งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการประเมินการนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารผ่านช่องแสงบนหลังคาเฉพาะความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง เท่านั้น ไม่ได้พิจารณาด้านความร้อนที่มาจากช่องแสง Skylight เนื่องจากกำหนดให้พื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอัฒจันทร์ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มปัจจัยด้านความร้อนในกรณีติดตั้งเครื่องปรับอากาศบริเวณสนามกีฬาและอัฒจันทร์

5.4.3 งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์เป็นรูปแบบการจ่ายเงินลงทุนของตนเอง ยังไม่ได้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในรูปแบบของการผ่อนจ่ายเงินต้นพร้อมดอกเบี้ย

## บรรณานุกรม

- Bilir, L., & Yildirim, N. (2017). Photovoltaic system assessment for a school building. International journal of hydrogen energy, 42(28), 17856-17868.
- Byrne, J., Nyangon, J., Hegedus, S., Chajes, M., Taminiau, J., Ahmed, N., and Xu, J. . (2019). Feasibility Study of City-Scale Solar Power Plants Using Public Buildings: Case Studies of Newark and Wilmington Delaware. Retrieved: 7 September 2019 from: <https://www.researchgate.net/publication/331971767>
- DIALux. (2020). DIALux evo. Retrieved: 1 February 2020 from: <https://www.dial.de/en/dialux/>
- Laboratory, N. R. E. (2017). Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications: Second Edition. Retrieved: 1 January 2020 from: <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68886.pdf>
- Mukisa, N., Zamora, R., & Lie, T. T. (2019). Feasibility assessment of grid-tied rooftop solar photovoltaic systems for industrial sector application in Uganda. Sustainable Energy Technologies Assessments, 32, 83-91.
- National Renewable Energy Laboratory. (2018). System Advisor Model 2018.11.11 (SAM). Retrieved: 7 September 2019 from: <https://sam.nrel.gov/>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2563 เข้าถึงได้จาก <http://www2.dede.go.th/>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ปี 2560. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2563 เข้าถึงได้จาก [https://www.dede.go.th/article\\_attach/developed\\_solarmap60%20-%20Copy.pdf](https://www.dede.go.th/article_attach/developed_solarmap60%20-%20Copy.pdf)
- การกีฬาแห่งประเทศไทย. (2550). คู่มือมาตรฐานสนามแข่งขันและอุปกรณ์กีฬา. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2563 เข้าถึงได้จาก <https://www.yotathai.com/yotanews/standard-sport-field>

- ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2559). บทความปริทรรศน์: อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง, 13(2), 1-30.
- ฐิตาพร ชีวดีโสภณ. (2561). โครงสร้างพาดช่วงกว้างอาคารสนามกีฬาในร่ม สถาบันอุดมศึกษาในกำกับของรัฐ ในเขตกรุงเทพมหานคร. สารศาสตร์(2), 150-167.
- ณวิทย์ มีสาโท. (2554). แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงสว่างในอาคารพลศึกษา กรณีศึกษาอาคารพลศึกษาโรงเรียนสารคามพิทยาคม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์), สาขาวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์. (2557). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์), สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนาพล ต้นดีสัตยกุล พิรพล รัศมีธรรมโชติ และเมฆาพร อ๋อยสกุล. (2560). การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(6), 1083-1099.
- บริษัท ดี ดี เบสท์ จำกัด. (2562). ราคาแบตเตอรี่สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2562 เข้าถึงได้จาก <http://www.solarproduct.solar>
- ประไพพัทธ์ เทียงดาห์. (2554). ประสิทธิภาพทางด้านแสงธรรมชาติของ Skylight shutter สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์), สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา. (2559). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงาน. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 15(1), 183-200.
- ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2553). แสงสว่างในสถาปัตยกรรม. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2561). การปรับปรุงระบบแสงสว่าง ศูนย์อาหารและบริการ 1 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 17(1), 163-182.
- วันสต็อกโฮม. (2559). แผ่นโปร่งแสง ลอนเมทัลชีท. สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2563 เข้าถึงได้จาก <https://static-marketing-2.onestockhome.com/>
- ศรีเชียร ตั้งกมลสุข. (2556). ปัจจัยในการออกแบบช่องแสงและแผ่นสะท้อนแสงสำหรับอาคารกีฬาในร่ม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์), สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2560). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมิน

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2559). คู่มือแนวทางการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคาร

/ สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2563 เข้าถึงได้จาก

[http://www.tieathai.org/images/intro\\_1479229183/final.Guidelines\\_BW.pdf](http://www.tieathai.org/images/intro_1479229183/final.Guidelines_BW.pdf)

สัทธา ปัญญาแก้ว และชนิกานต์ ยิ้มประยูร. (2558). คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับอาคารในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกสยาม

ในพระบรมราชูปถัมภ์.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. (2559).

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ. 2560-2564. สืบค้นเมื่อ 28

พฤศจิกายน 2562 เข้าถึงได้จาก

[https://www.nesdc.go.th/ewt\\_w3c/ewt\\_dl\\_link.php?nid=6422](https://www.nesdc.go.th/ewt_w3c/ewt_dl_link.php?nid=6422)

สำนักงานและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. (2558). นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนแผนพลังงาน

ทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP). สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2562 เข้าถึงได้จาก

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

สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561). ข้อมูลค่าไฟฟ้า ปีงบประมาณ 2561

ของจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2562 เข้าถึงได้จาก

<http://www.electrical-prm.com/EReport111.htm>

เอสซีจี. (2559). แผ่นโปรงแสง เอสซีจี ลอนเมทัลชีท. สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2563 เข้าถึงได้จาก

<https://www.scgbuildingmaterials.com/>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ภาคผนวก ก

ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม

ตารางที่ ก-1 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	
1	โถงทางเข้า	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	32	31	992	
		พัดลมเพดาน	150	1	150	
	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	90	200	18,000	
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	110	31	3,410	
		พัดลมเจ็ท	8	105	840	
	ห้องพยาบาล	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186	
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	1	1,600	1,600	
	พื้นที่หน้าห้องน้ำ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124	
		พัดลมเพดาน	1	150	150	
		ตู้กักน้ำ	1	309	309	
	ห้องเปลี่ยนชุดและห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	16	31	496	
		พัดลมเพดาน	4	50	200	
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38	
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	2	1,600	3,200	
	ห้องเปลี่ยนชุดและห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	18	31	558	
		พัดลมเพดาน	4	50	200	
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38	
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	2	1,600	3,200	
	โถงบันได		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
	สำนักงาน	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124	
คอมพิวเตอร์		1	450	450		
เครื่องพิมพ์		1	200	200		
เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu		1	1,600	1,600		
ภายนอกอาคาร		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62	
2	ห้องควบคุม	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31	
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	1	1,600	1,600	
	ห้องเก็บของ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	22	31	682	
		กล่องวงจรปิด	15	15	225	
รวม					38,696	

ตารางที่ ก-2 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาใน  
ร่ม 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	128	31	3,968
		โคมไฟไฮเบย์ LED	24	200	4,800
		โทรทัศน์	1	180	180
		พัดลมตั้งพื้น	4	160	640
		เครื่องกดน้ำ	2	90	180
	ห้องประชุม	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
		หลอดไฟ downlight 18 W	8	18	144
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	1	1,600	1,600
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
		หลอดไฟ downlight 18 W	7	18	126
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	1	1,600	1,600
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
		หลอดไฟ downlight 18 W	4	18	72
		เครื่องปรับอากาศ 9,000 btu	1	800	800
		พัดลมดูดอากาศ	1	19	19
	ห้องรับรอง 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
		หลอดไฟ downlight 18 W	9	18	162
	ห้องรับรอง 02	หลอดไฟ downlight 18 W	6	18	108
		กล่องวงจรปิด	4	15	60
รวม					14,683

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารสนามกีฬาจันทน์  
หนียังยงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	โถงทางเข้า	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	20	31	620
	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	40	200	8,000
		พัดลมตั้งพื้น	2	160	320
		พัดลมระบายอากาศ	4	65	260
	ห้องน้ำ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	5	31	155
	ห้องน้ำ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	5	31	155
	ไฟภายนอก	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
รวม					9,634

ตารางที่ ก-4 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงเรียน  
กองทัพอากาศที่ 1

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	โถง	หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216
		โคมไฟไฮเบย์ LED	56	200	11,200
	สนามกีฬา	พัดลม	4	199	796
		พัดลมเพดาน	63	150	9,450
		พัดลมดูดอากาศ ติดผนัง	26	1,100	28,600
		สำนักงาน 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	สำนักงาน 01	เครื่องปรับอากาศ 18,500 btu	2	1,680	3,360
		ตู้เย็น	1	203	203
		คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	4	450	450
		เครื่องพิมพ์	1	200	200
		สำนักงาน 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	สำนักงาน 02	เครื่องปรับอากาศ 18,500 btu	2	1,680	3,360
		ตู้เย็น	1	203	203
		คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	4	450	450
		เครื่องพิมพ์	1	200	200
		ห้องเก็บของ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31
	ห้องเก็บของ	เครื่องปรับอากาศ 12,500 btu	1	1,047	1,047
		ห้องนํ้าหนักกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	ห้องนํ้าหนักกีฬา	เครื่องปรับอากาศ 12,500 btu	2	1,047	2,094
		ห้องออกกำลังกาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	16	31
	ห้องออกกำลังกาย	เครื่องปรับอากาศ 18,500 btu	1	1,680	1,680
		ห้องพักนักกีฬา 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	ห้องพักนักกีฬา 01	เครื่องปรับอากาศ 12,500 btu	2	1,047	2,094
		ห้องพักนักกีฬา 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	ห้องพักนักกีฬา 02	เครื่องปรับอากาศ 12,500 btu	2	1,047	2,094
		ห้องพักนักกีฬา 03	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	ห้องพักนักกีฬา 03	เครื่องปรับอากาศ 12,500 btu	2	1,047	2,094
		ห้องพักนักกีฬา 04	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31
	ห้องพักนักกีฬา 04	เครื่องปรับอากาศ 12,500 btu	2	1,047	2,094
		ห้องพักนักกีฬา 05	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	28	31

**ตารางที่ ก-4** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมโรงเรียน  
กองทัพอากาศที่ 1 (ต่อ)

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
		เครื่องปรับอากาศ 18,500 btu	4	1,680	6,720
	ห้องพักนักกีฬา 06	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	24	31	744
		เครื่องปรับอากาศ 18,500 btu	2	1,680	3,360
	ห้องน้ำชาย 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องน้ำหญิง 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องน้ำชาย 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องน้ำหญิง 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องน่านักกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	5	31	155
รวม					87,328

**ตารางที่ ก-5** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมโรงเรียน  
กองทัพอากาศที่ 2

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)	
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	32	200	6,400	
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124	
		พัดลมติดผนัง	12	64	768	
	ห้องน้ำชาย 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216	
		พัดลมดูดอากาศ	3	65	195	
	ห้องน้ำหญิง 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216	
		พัดลมดูดอากาศ	3	65	195	
	ห้องน้ำชาย 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216	
		พัดลมดูดอากาศ	3	65	195	
	ห้องน้ำหญิง 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216	
		พัดลมดูดอากาศ	3	65	195	
	รวม					9,308

ตารางที่ ก-6 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมเนเซียม 1 มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	โถงทางเข้า	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	16	31	496
	โถงทางเดิน	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	38	31	1,178
		พัดลมติดเพดาน	7	50	350
	สำนักงาน 1	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	สำนักงาน 2	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องพักนักกีฬา 1	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31	372
	ห้องนํ้านักกีฬา 2	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องนํ้าชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องพักนักกีฬา 2	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	12	31	372
	ห้องนํ้านักกีฬา 2	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องนํ้าหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องนํ้าผู้พิการ 01	หลอดไฟ ดาวนไลท์ 7W	1	7	7
	ห้องนํ้าผู้พิการ 02	หลอดไฟ ดาวนไลท์ 7W	1	7	7
	ห้องเก็บของ	หลอดไฟ ดาวนไลท์ 7W	1	7	7
	ห้องกรรมการ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องไฟฟ้า	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	สนามแข่งขันกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	62	200	12,400
		หลอดไฟ PAR 38 80 W	22	80	1,760
		หลอดไฟ PAR 38 2 80 W	14	80	1,120
		พัดลม	4	199	796
พัดลมแขวนผนัง		12	52	624	
โถงทางเดิน		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	10	31	310
2	ห้องรับรอง 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	42	31	1,302
		พัดลมไอเย็น	2	290	580
		พัดลม	3	199	597
		ตู้เย็น	1	203	203
		คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	1	450	450
	ห้องรับรอง 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	42	31	1,302
รวม					25,225

**ตารางที่ ก-7 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมเนเซียม 2 มหาวิทยาลัยรามคำแหง**

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	24	200	4,800
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
		พัดลมติดผนัง	8	50	400
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	14	31	434
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	14	31	434
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
	ห้องพักนักกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186
		เครื่องปรับอากาศ ขนาด 31,000 btu	2	2,552	5,104
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
รวม					11,596

**ตารางที่ ก-8 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมเนเซียม 4 มหาวิทยาลัยรามคำแหง**

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	24	200	4,800
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
		พัดลมติดผนัง	8	50	400
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	14	31	434
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	14	31	434
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
	ห้องพักนักกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186
		เครื่องปรับอากาศ ขนาด 31,000 btu	2	2,552	5,104
		พัดลมดูดอากาศ	2	19	38
รวม					11,596

ตารางที่ ก-9 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมเนเซียม 1  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	24	200	4,800
		พัดลมดูดอากาศ ติดผนัง	4	1,100	4,400
		ตู้กดน้ำ	1	309	309
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องเก็บอุปกรณ์กีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186
2	ห้องเก็บของ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186
	โถงบันได	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
<b>รวม</b>					10,098

ตารางที่ ก-10 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิมเนเซียม 2  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	51	200	10,200
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	320	31	9,920
		โคมไฟ LED Flood Light	6	240	1,440
		พัดลมติดผนัง	29	279	8,091
		คอมพิวเตอร์	1	450	450
		โทรทัศน์	1	180	180
		ตู้กดน้ำ	1	309	309
	โถงทางเดิน	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
		พัดลมติดผนัง	2	279	558
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
2	ห้องเก็บของ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	16	31	496
	โถงทางเดิน	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
		พัดลมติดผนัง	2	279	558
		พัดลมดูดอากาศ ติดผนัง	1	1,100	1,100
<b>รวม</b>					33,922



**ตารางที่ ก-11** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิม 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	96	31	2,976

**ตารางที่ ก-12** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงยิม 2

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	23	200	4,600
		พัดลมติดผนัง	8	64	512
		ตู้กดน้ำ	1	80	80
	โถงทางเดิน	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องน้ำ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
		หลอดไฟ downlight 18 W	3	18	54
		พัดลมเพดาน	1	65	65
	ห้องเทเบิลเทนนิส	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
	ห้องพักนักศึกษาหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
		พัดลมเพดาน	1	65	65
	ห้องพักนักศึกษาชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
		พัดลมเพดาน	1	65	65
	ห้องเก็บของ	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องพักอาจารย์	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
2	โถงบันได	หลอดไฟ downlight 18 W	2	18	36
	โถงทางเดิน	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186
	ห้องพักอาจารย์	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	16	31	496
		เครื่องปรับอากาศ 18,000 btu	4	1,600	6,400
		พัดลมเพดาน	3	65	195
		คอมพิวเตอร์	16	450	7,200
เครื่องพิมพ์	4	200	800		
<b>รวม</b>					<b>21,715</b>

**ตารางที่ ก-13** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนสาธิตมัธยมมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ LED High Bay	9	200	1,800
		สปอร์ตไลท์ LED	8	200	1,600
		พัดลมเพดานอุตสาหกรรม	1	760	760
<b>รวม</b>					4,160

**ตารางที่ ก-14** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนชติยะวงษา

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)	
1	สนามกีฬา	สปอร์ตไลท์ LED	5	200	1000	
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248	
		หลอดไฟ downlight 18 W	8	18	144	
		พัดลมติดผนัง	3	65	195	
		ลำโพง	12	180	2160	
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62	
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62	
	ห้องแต่งตัวชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31	
	ห้องแต่งตัวหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31	
	ห้องเก็บของ 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
	ห้องเก็บของ 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
	ห้องพักครู	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186	
		พัดลมเพดาน	4	65	260	
	2	ห้องควบคุม	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
			เครื่องควบคุมเสียง	1	730	730
<b>รวม</b>					5,326	

**ตารางที่ ก-15** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการร้อยเอ็ด

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ LED ขนาดใหญ่	32	105	3,360
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216
		ลำโพง	8	180	1,440
		เครื่องควบคุมเสียง	1	730	730
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
<b>รวม</b>					6,118

**ตารางที่ ก-16** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนเสลภูมิ

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)	
1	สนามกีฬา	สปอร์ตไลท์ LED	6	200	1,200	
		หลอดไฟ LED High Bay	2	200	400	
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	6	31	186	
		หลอดไฟ downlight 18 W	8	18	144	
		พัดลมติดผนัง	14	65	910	
		ลำโพง	6	180	1,080	
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62	
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62	
	ห้องแต่งตัวชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31	
	ห้องแต่งตัวหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31	
	ห้องเก็บของ 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
	ห้องเก็บของ 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93	
	2	ห้องควบคุม	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
			เครื่องควบคุมเสียง	1	730	730
	<b>รวม</b>					5,053

**ตารางที่ ก-17** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนราชบุรีวิทยาคม

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	สปอร์ตไลท์ LED	4	200	800
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
		ลำโพง	4	180	720
		เครื่องควบคุมเสียง	1	730	730
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62	
<b>รวม</b>					2,622

**ตารางที่ ก-18** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ LED High Bay	10	200	2,000
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	60	31	1,860
		ลำโพง	4	180	720
<b>รวม</b>					4,580

**ตารางที่ ก-19** ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนกีฬา 1

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	48	31	1,488
		พัดลม	4	199	796
		ลำโพง	4	180	720
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องแต่งตัวชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
	ห้องแต่งตัวหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
	ห้องเก็บของ 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องเก็บของ 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
<b>รวม</b>					3,376

ตารางที่ ก-20 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนกีฬา 2

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ LED High Bay	20	200	4,000
		พัดลมเพดาน	14	150	2,100
		ลำโพง	4	180	720
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องแต่งตัวชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
	ห้องแต่งตัวหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	1	31	31
	ห้องเก็บของ 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
	ห้องเก็บของ 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
<b>รวม</b>					7,192

ตารางที่ ก-21 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในศูนย์เยาวชนจตุจักร

ชั้น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	โคมไฟไฮเบย์ LED	30	200	12,000
		พัดลมไอเย็น	4	290	1,160
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	3	31	93
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216
	ห้องเก็บของ 01	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	4	31	124
2	สนามเทเบิลเทนนิส	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	20	31	620
	ห้องเก็บของ 02	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	16	31	496
<b>รวม</b>					15,018

ตารางที่ ก-22 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารพลศึกษา  
โรงเรียนสตรีศึกษา

ซี น	ห้อง	รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวม (W)
1	สนามกีฬา	หลอดไฟ LED High Bay	5	200	1,000
		หลอดไฟ LED ขนาดใหญ่	32	105	3,360
		หลอดไฟ fluorescent T5 28W	8	31	248
		หลอดไฟ downlight 18 W	12	18	216
		ลำโพง	8	180	1,440
		เครื่องควบคุมเสียง	1	730	730
	ห้องน้ำชาย	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
	ห้องน้ำหญิง	หลอดไฟ fluorescent T5 28W	2	31	62
รวม					7,118



## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอฒันจันทร์ในหนึ่ง ชั่วโมง

อาคารสนามกีฬาในร่ม	พื้นที่สนามกีฬา อฒัน- จันทร์ (ตร.ม.)	การใช้พลังงานไฟฟ้า (W)				การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m <sup>2</sup> )			
		ระบบ ไฟฟ้า แสง สว่าง	ระบบ ปรับ อา- ากาศ	ระบบ อื่นๆ	รวม	ระบบ ไฟฟ้า แสง สว่าง	ระบบ ปรับ อากาศ	ระบบ อื่นๆ	รวม
1. สนามกีฬาในร่ม 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	3,630	22,460	110	0	22,570	6	0	0	6
2. สนามกีฬาในร่ม 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	720	8,770	640	360	9,770	12	1	1	14
3. สนามกีฬาจันทนยิ่งยง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1,630	8,740	580	0	9,320	5	0	0	6
4. โรงยิมกองทัพอากาศที่ 1	1,730	11,420	38,850	0	50,260	7	22	0	29
5. โรงยิมกองทัพอากาศที่ 2	875	6,520	770	0	7,290	7	1	0	8
6. โรงยิมเนเซียม 1 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	1,400	18,570	1,420	0	19,990	13	1	0	14
7. โรงยิมเนเซียม 2 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	1,080	4,920	400	0	5,320	5	0	0	5
8. โรงยิมเนเซียม 4 มหาวิทยาลัยรามคำแหง	1,080	4,920	400	0	5,320	5	0	0	5
9. โรงยิมเนเซียม 1 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	875	4,800	4,400	310	9,510	5	5	0	11
10. โรงยิมเนเซียม 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	1,694	21,560	8,090	940	30,590	13	5	1	18
11. โรงยิม 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	1,008	2,980	0	0	2,980	3	0	0	3

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่บริเวณสนามกีฬาและอิมจันทร์  
ในหนึ่งชั่วโมง (ต่อ)

อาคารสนาม กีฬาในร่ม	พื้นที่ สนามกีฬา อิม- จันทร์ (ตร.ม.)	การใช้พลังงานไฟฟ้า (W)				การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m <sup>2</sup> )			
		ระบบ ไฟฟ้า แสง สว่าง	ระบบ ปรับ อา- ากาศ	ระบบ อื่นๆ	รวม	ระบบ ไฟฟ้า แสง สว่าง	ระบบ ปรับ อากาศ	ระบบ อื่นๆ	รวม
12. โรงยิม 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏ พระนครศรีอยุธยา	800	4,690	510	80	5,290	6	1	0	7
13. อาคารพลศึกษา โรงเรียนสาธิต มัธยม มหาวิทยาลัยราชภัฏ พระนครศรีอยุธยา	700	3,400	760	0	4,160	5	1	0	6
14. อาคารพลศึกษา โรงเรียนชติยะวงษา	672	1,420	200	2,890	4,510	2	0	4	7
15. อาคารพลศึกษา โรงเรียน เตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ร้อยเอ็ด	672	3,820	0	2,170	5,990	6	0	3	9
16. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเสล ภูมิ	672	1,930	910	1,810	4,650	3	1	3	7
17. อาคารพลศึกษา โรงเรียนธวัช บุรีวิทยาคม	672	1,050	0	1,450	2,500	2	0	2	4
18. อาคารพลศึกษา โรงเรียน เตรียมอุดมศึกษา	857	3,860	0	720	4,580	5	0	1	5
19. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 1	1,230	1,490	800	720	3,000	1	1	1	2
20. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 2	1,010	4,000	2,100	720	6,820	4	2	1	7
21. ศูนย์เยาวชนจตุจักร	1,176	12,620	1,160	0	13,780	11	1	0	12
22. อาคารพลศึกษา โรงเรียนสตรี ศึกษา	672	4,820	0	2,170	6,990	7	0	3	10





ตารางที่ ข-2 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อื่นๆในหนึ่งชั่วโมง (ต่อ)

อาคารสนามกีฬาในร่ม	พื้นที่อื่นๆ (ตร.ม.)	การใช้พลังงานไฟฟ้า (W)				การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m <sup>2</sup> )			
		ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	ระบบอื่นๆ	รวม	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ระบบปรับอากาศ	ระบบอื่นๆ	รวม
12. โรงยิม 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	420	1,640	6,790	8,000	16,430	4	16	19	39
13. อาคารพลศึกษา โรงเรียนสาธิตมัธยม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14. อาคารพลศึกษา โรงเรียนชติยวงษา	208	560	260	0	820	3	1	0	4
15. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ร้อยเอ็ด	208	120	0	0	120	1	0	0	1
16. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเสลภูมิ	208	400	0	0	400	2	0	0	2
17. อาคารพลศึกษา โรงเรียนธวัชบุรีวิทยาคม	208	120	0	0	120	1	0	0	1
18. อาคารพลศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 1	270	370	0	0	370	1	0	0	1
20. อาคารพลศึกษา โรงเรียนกีฬา 2	270	370	0	0	370	1	0	0	1
21. ศูนย์เยาวชนจตุจักร	256.2	1,240	0	0	1,240	5	0	0	5
22. อาคารพลศึกษา โรงเรียนสตรีศึกษา	208	120	0	0	120	1	0	0	1

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นางสาว วรรณจิต จันทร์เสละ

วัน เดือน ปี เกิด

เกิดวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2534

วุฒิการศึกษา

- พ.ศ. 2558 สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เกียรตินิยมอันดับ 1 เหรียญทอง)  
- พ.ศ. 2561 เข้าศึกษาหลักสูตร สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา  
เทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY