การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ASESSMENT OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF ROOFTOP SOLAR SYSTEMS ON CHULALONGKORN UNIVERSITY'S BUILDINGS

Mr. Natthapong Suwanasang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นายณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร. โสภิตสุดา ทองโสภิต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร. โสภิตสุดา ทองโสภิต)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. วิวัฒน์ แสงเทียน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ : การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (AN ASESSMENT OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF ROOFTOP SOLAR SYSTEMS ON CHULALONGKORN UNIVERSITY'S BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร. โสภิตสุดา ทองโสภิต, หน้า.

แนวโน้มของการลดลงของต้นทุนระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทำให้เริ่มมีการนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ของการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคส่วนอาคารธุรกิจและโรงงาน สถาบันการศึกษาก็เป็นกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายไฟฟ้าสูงและมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น แต่ยังไม่มีการนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้คัดเลือกอาคาร 10 อาคารจากทั้งหมด 183 อาคารในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารที่ได้รับคัดเลือกผ่านเกณฑ์การคัดกรองทั้งทางด้านกายภาพและด้านภูมิศาสตร์ ทำให้ที่มีพื้นที่การติดตั้งที่เหมาะสมและการเข้าถึงความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ผลที่ได้ พบว่าผลรวมของศักยภาพเชิงเทคนิค จำนวน 10 อาคารที่ศึกษา อยู่ที่ 2,949.19 kWh/day และผลการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนลด 7.08% พบว่ามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 26,744,616.98 บาท ระยะเวลาการคืนทุน 7.41 ปี และผลตอบแทนภายใน 15% และเมื่อเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และความต้องการการใช้ไฟฟ้าของทุกอาคารที่ศึกษา พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 10.97% ในปีแรกและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปีต่อๆ ไป ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการลงทุนในระบบผลิตไฟฟ้าบนหลังคาของ 10 อาคารที่คัดเลือกในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีความคุ้มค่าการลงทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิและผลตอบแทนภายในมีค่าเชิงบวก และระยะการคืนทุนสั้น ทำให้การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเป็นทางเลือกในการช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่น่าสนใจสำหรับมหาวิทยาลัยแห่งนี้

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2557 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5687529020 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: ROOFTOP SOLAR SYSTEM / TECHNICAL POTENTIAL / ECONOMIC POTENTIAL / ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ / การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค / การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

NATTHAPONG SUWANASANG: AN ASESSMENT OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF ROOFTOP SOLAR SYSTEMS ON CHULALONGKORN UNIVERSITY'S BUILDINGS. ADVISOR: SOPITSUDA TONGSOPIT, Ph.D., pp.

Recent trend in the decline in the cost of solar photovoltaics modules has driven the use of solar technology for the purpose of energy cost reduction, especially in the commercial building and industrial sector. Academic institutions are a group of electric power users that have experienced high electricity costs and increasing electricity demand but the use of solar power is still limited in this group. This research hence analyzed the technical and economic potential of solar systems on the roofs of Chulalongkorn University's buildings. By screening the buildings based on their physical and geographical potential, ten buildings were selected from a total of 183 buildings; these ten buildings are well-situated in areas that have access to solar irradiation. The results show that the total technical potential of solar power on these 10 buildings are 2,949.19 kWh/day. The investment in solar power on these buildings is feasible, yielding an NPV of 26,744,616.98 Thai Baht, an IRR of 15%, and a payback period of 7.41 years. In comparison to the total electricity use of all the buildings, the solar systems can reduce electricity consumption by 10.97% in the first year and the saving increases in subsequent years. These findings show that the investment in solar systems for these 10 buildings is feasible and can be used as an energy saving option for this university.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature .....
Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ อาจารย์ ดร.โสภิตสุดา ทองโสภิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการศึกษาและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีพลังงานและการจัดการให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างสูงสุดต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์และการปฏิบัติงานในหน้าที่ต่อไป

ขอขอบพระคุณ กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายผู้ศึกษา ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุน และท้ายสุดผู้ศึกษาขอขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ซึ่งมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3. ขอบเขตการศึกษา 1
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 2
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 เอกสาร ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4
2.2 ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 5
2.3 ส่วนประกอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 6
2.4 แนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ 9
2.5 ทิศทางตำแหน่งหลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10
2.6 มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10
2.7 ความหมายการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ 11
2.8 การประเมินศักยภาพด้านกายภาพ 12
2.9 การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ 13
2.10 การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค 14
2.11 การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
2.13 สรุปงานวิจัย 21
บทที่ 3 วิธีการศึกษา 22
3.1 แนวทางการดำเนินการศึกษา 22
3.2 การประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ 23
3.3 การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ 25
3.4 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค 25
3.5 การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ 27
บทที่ 4 ผลการศึกษา 30
4.1 ผลการศึกษาการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ 30
4.2 ผลการประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ 32
4.3 ผลการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค 33
4.4 ผลการศึกษาการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ 36
4.5 การวิเคราห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) 37
4.5 เปรียบเทียบสัดส่วนระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง 38
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 40
5.1 สรุปผลการศึกษา 40
5.2 ข้อเสนอแนะ 41
..... 42
รายการอ้างอิง 42
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด 8
ตารางที่ 3.1 สมมติฐานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 25
ตารางที่ 3.2 สมมติฐานการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ 26
ตารางที่ 3.3 สมมติฐานการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 27
ตารางที่ 3.4 สมมติฐานในการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ 27
ตารางที่ 4.1 จำนวนอาคารในแต่ละเกณฑ์การประเมิน 30
ตารางที่ 4.2 อาคารที่ผ่านเกณฑ์การประเมิน จำนวน 10 อาคาร 30
ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณพื้นที่หลังคาโดยโปรแกรม Quantum GIS 31
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ปี 2557 31
ตารางที่ 4.5 ศักยภาพเชิงกายภาพ 32
ตารางที่ 4.6 ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ 33
ตารางที่ 4.7 ศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ 34
ตารางที่ 4.8 ศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 35
ตารางที่ 4.9 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ 36
ตารางที่ 4.10 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ที่ต้นทุน ลดลง 5% 37
ตารางที่ 4.11 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ทีอัตราส่วนลด 3.00% 38
ตารางที่ 4.12 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ในปีแรก 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4
รูปที่ 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 5
รูปที่ 2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายเพื่อขายไฟฟ้า 6
รูปที่ 2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 6
รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส(Amorphous) 7
รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์คริสตัลไลน์แบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) 7
รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์คริสตัลไลน์แบบผลึกผสม (Polycrystalline) 8
รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์แบบซูเปอร์อะมอร์ฟัส (Super Amorphous) 8
รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ 10
รูปที่ 2.10 หลังคาที่มีแนวสันอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก 10
รูปที่ 2.11 การวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 11
รูปที่ 2.12 มุมการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 11
รูปที่ 2.13 แสดงระยะห่างที่ต่ำสุดของแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15
รูปที่ 3.1 กรอบการศึกษา 23
รูปที่ 3.2 อาคารเชิงคุณค่าหรืออาคารทางด้านสถาปัตยกรรมการก่อสร้าง 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปี 2556 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า 80,385,941 kWh [1] ซึ่งเมื่อเทียบกับปี 2555 ลดลงเพียงร้อยละ 2 แต่ยังถือได้ว่าเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงตามที่กระทรวงพลังงานได้มีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน10 ปี (พ.ศ.2555-2564) [2] และได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 2,000 เมกะวัตต์ และเพิ่มเป็น3,000 เมกะวัตต์ และ 6,000 เมกะวัตต์ตามลำดับ โดยมีมาตรการส่งเสริมโครงการระบบขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งในระดับชุมชนและครัวเรือนรวมทั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar PV Rooftop ด้วยมาตรการ Feed-in Tariff ซึ่งระบบ Solar PV Rooftop ที่จะได้รับการสนับสนุนรวมถึงระบบที่ติดตั้งใน บ้านของประชาชนทั่วไป และชุมชน อาคารสำนักงาน และหลังคาโรงงานอุตสาหกรรม โครงการบ้านจัดสรร หรือ คอนโดมิเนียม

งานวิจัยนี้จึงเริ่มศึกษา การประเมินศักยภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตยบนพื้นที่หลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมหาวิทยาลัย มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงระยะเวลากลางวัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด นอกจากนี้ต้นทุนระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในอัตราร้อยละ 80 ในช่วงที่ผ่านมา (World Energy Council, 2013) [3] จึงเป็นระบบที่มีศักยภาพสูงในการช่วยลดรายจ่ายของมหาวิทยาลัยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาถึงศักยภาพเชิงกายภาพ เชิงภูมิศาสตร์ เชิงเทคนิค และเชิงเศรษฐศาสตร์ ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3. ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 พื้นที่ศึกษา ใช้พื้นที่หลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คัดเลือก 10 อาคารจากจำนวนประมาณ 180 อาคาร ที่มีหลังคาเป็นแนวระนาบ และการติดตั้งแผงโซล่าที่เหมาะสม

1.3.2 ใช้โปรแกรม Google Earth และโปรแกรม Quantum GIS สำหรับคำนวณพื้นที่การติดตั้ง

1.3.3 ศึกษาการประเมินศักยภาพด้านกายภาพ

1.3.4 ศึกษาการประเมินศักยภาพด้านภูมิศาสตร์ ซึ่งคำนึงถึงพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้จริง

1.3.5 ศึกษาการประเมินศักยภาพด้านเทคนิค ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยด้านประสิทธิภาพของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.6 ศึกษาการประเมินศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ระยะเวลาการคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

1.3.7 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในอดีต กับพลังงานที่ได้จากงานวิจัยโดยคัดเลือกอาคาร จำนวน 10 อาคาร จากประมาณ 180 อาคาร ที่มีศักยภาพในการเข้าถึงข้อมูล

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

สำหรับงานวิจัยนี้ จะประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าบนพื้นที่หลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดำเนินการดังนี้

1.4.1 คัดเลือกอาคารจำนวน 10 อาคารจากจำนวนอาคาร 180 อาคาร โดยคำนึงถึงพื้นที่หลังคาบนอาคาร เลือกเฉพาะหลังคาที่อยู่แนวระนาบ ศักยภาพการเข้าถึงข้อมูล และสร้างระดับชั้นของข้อมูล ที่เรียกว่า “Roof Area” ใช้หลักการที่เรียกว่า hand – digitized หรือการวาดภาพดิจิตอลบนภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจับภาพจาก Google Earth และคำนวณพื้นที่ด้วยโปรแกรม Quantum GIS นำพื้นที่ดังกล่าวมาประเมินศักยภาพด้านกายภาพ

1.4.2 สร้างระดับชั้นของข้อมูลที่เรียกว่า “Other Used Area” และใช้โปรแกรม Quantum GIS เพื่อทำการตัดพื้นที่ เหลือเพียงพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อนำพื้นที่มาประเมินศักยภาพด้านภูมิศาสตร์

1.4.3 ประเมินศักยภาพด้านเทคนิค ใช้ปัจจัยด้านประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาร่วมการคำนวณ โดยเลือกหนึ่งเทคโนโลยี เป็นต้นแบบในการคำนวณ

1.4.4 ประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ จะพิจารณาเฉพาะ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นทางเลือกในการจัดทำโครงการลดการใช้พลังงาน

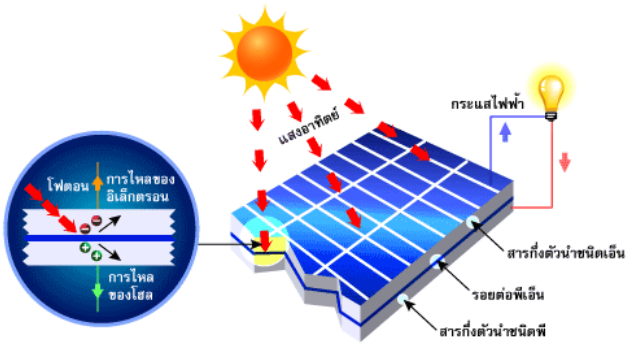
1.5.2 เป็นข้อมูล ให้ผู้บริหาร ในการตัดสินใจ ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสาร ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาศักยภาพด้านต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ศักยภาพเชิงกายภาพ ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ ศักยภาพเชิงเทคนิค และศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาจุดคุ้มทุนในการลงทุนและการลดการใช้พลังงาน จึงได้ศึกษาทฤษฎี งานวิจัย บทความ และเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ทำให้หลอดไฟสว่างได้ แต่เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ และหลอดไฟก็จะไม่สามารถสว่าง ดังรูปที่ 2.1



ที่มา : เวปลีโอนิคส์ (2014)[4]

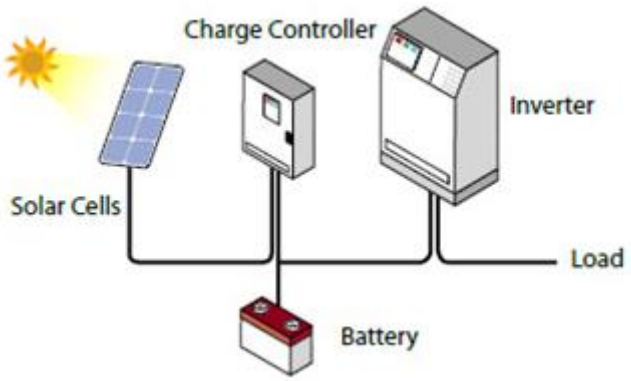
รูปที่ 2.1 การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.2 ประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการติดตั้งและการใช้งาน ดังนี้

2.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone System) หรือที่ทั่วไปเรียกว่า ระบบ Off-Grid เป็นระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองอย่างอิสระไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า มักใช้กับพื้นที่ชนบท ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ดังรูปที่ 2.2



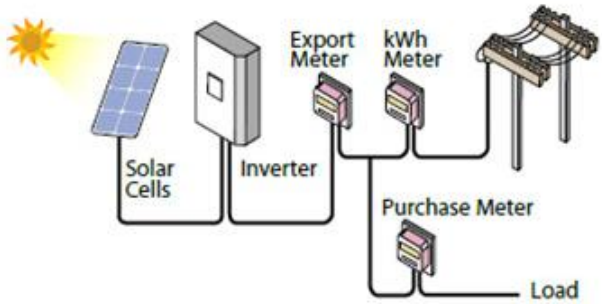
ที่มา : เวปบริษัท ทีทีดับปลิว จำกัด (มหาชน) (2555) [5]

รูปที่ 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

2.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) หรือที่ทั่วไปเรียกว่า ระบบ On-Grid เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่าย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.2.1 การติดตั้งเพื่อขายไฟฟ้า เป็นการติดตั้งมิเตอร์แยกจากกันระหว่าง มิเตอร์ซื้อไฟฟ้า และมิเตอร์ขายไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้จะถูกส่งเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า และสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายได้ การติดตั้งประเภทนี้จะต้องได้รับสิทธิ์ในการติดตั้ง ดังรูปที่ 2.3



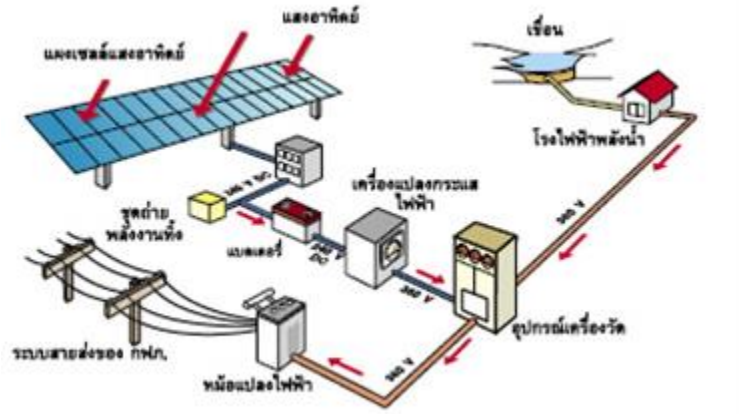
ที่มา : เวปบริษัท ทีทีดับปลิว จำกัด (มหาชน) (2555) [5]

รูปที่ 2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายเพื่อขายไฟฟ้า

2.2.2.2 การติดตั้งเพื่อลดค่าไฟฟ้า เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในกับโหลดภายในอาคารเพื่อลดการนำเข้าไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย ส่วนที่ผลิตเกินจะส่งเข้าระบบจำหน่าย

2.2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

เป็นระบบที่ถูกออกแบบให้ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ร่วมกับระบบลม ระบบพลังน้ำ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4



ที่มา : เวปบริษัท ทีทีดับปลิว จำกัด (มหาชน) (2555)[5]

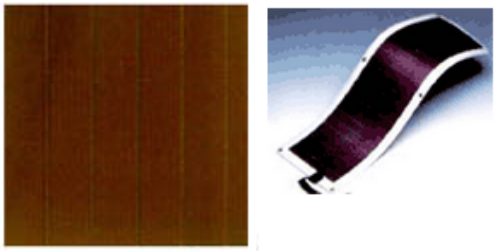
รูปที่ 2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.3 ส่วนประกอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในการศึกษานี้ จะศึกษาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย ประเภทการติดตั้งเพื่อลดค่าไฟเท่านั้น ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

2.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Panel) ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทย [6] ได้แก่

2.3.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวแสงมากที่สุด สามารถรับแสงที่อ่อน ๆ ได้ รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่างๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองมีฝนตกชุก สามารถทำงานได้ภายอุณหภูมิสูงได้ดี แต่มีผลเสียคือประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มาก นิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกา หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.5



ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [7]

รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส(Amorphous)

2.3.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์ (Crystalline) เป็นแผงเซลล์อาทิตย์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผ่นฟิล์มชั้นๆ บาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) ดังรูปที่ 2.6 และแบบผลึกผสม (Polycrystalline) หรืออาจมีชื่ออีกอย่างอื่น เช่น Single Crystalline และ Multicrystalline ดังรูปที่ 2.7 เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานมากที่สุด แผงแบบผลึกเดี่ยวจะมีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาแพงกว่าแบบแบบผลึกผสมเล็กน้อย ซึ่งทั้งสองชนิดมีข้อดีคือหาอุปกรณ์การต่อพ่วงได้ง่าย มีราคาถูก อายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี ทนทานใช้พื้นที่น้อยกว่ามีน้ำหนักเบาแต่มีข้อจำกัด คือประสิทธิภาพการทำงานลดลง เมื่อทำงานในสภาพอุณหภูมิสูง

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [7]

รูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์คริสตัลไลน์แบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline)

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [7]

รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์คริสตัลไลน์แบบผลึกผสม (Polycrystalline)

2.3.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบซูเปอร์อะมอร์ฟัส (Super Amorphous) หรืออาจเรียกว่าเป็นแบบ Amorphous Triple Junction แผงเซลล์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีของทั้งอะมอร์ฟัสและ คริสตัลไลน์มาไว้ด้วยกัน โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอะมอร์ฟัส และสามารถใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับแบบคริสตัลไลน์ บางชนิดยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบิดตัวม้วนได้ เนื่องจากการปลูกเซลล์ทำบนฐานรองประเภทพลาสติก ทำให้มีน้ำหนักเบาการขนส่งสะดวกสามารถติดตั้งตามพื้นที่ผิวของวัสดุต่างๆ ได้หลากหลายแต่มีข้อเสียคือมีราคาแพงกว่าชนิดอื่นๆ ดังรูปที่ 2.8

ที่มา : เวปบริษัท นอร์ทเทอร์น ซันไซน์ จำกัด (2558)[8]

รูปที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์แบบซูเปอร์อะมอร์ฟัส (Super Amorphous)

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์สามประเภทที่กล่าวถึงข้างต้น มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันดังเปรียบเทียบในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ชนิด	ชื่อย่อ	ประสิทธิภาพ (%)
Thin Film	Amorphous Silicon (a-Si)	4-9
	Cadmium Telluride (CdTe)	6-9

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ชนิด	ประเภทวัสดุ	ประสิทธิภาพ (%)
Thin Film	Copper Indium Gallium Selenide (Cis or CIGS)	9-10.5
Monocrystalline Si	Sc-Si, mono-Si	10-16
Multicrystalline Si หรือ Polycrystalline Si	mc-Si, poly-Si	10-14.5

ที่มา: กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2014) [6]

2.3.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรง ให้เป็นกระแสสลับ สามารถแบ่งออกเป็น 2 คือ

2.3.2.1 อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Standalone inverter) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

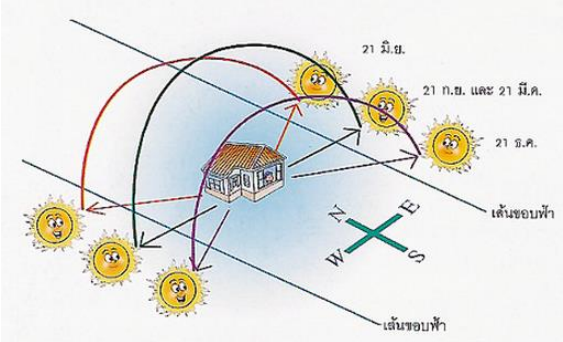
2.3.2.2 อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบระบบจำหน่าย (Grid-tied inverter) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเชื่อมต่อเข้าระบบ

2.4 แนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ประเทศไทยตำแหน่งโดยประมาณอยู่ที่ ละติจูด 15 องศาเหนือ ในแต่ละวันดวงอาทิตย์จะขึ้นและตก ในตำแหน่งที่ไม่เหมือนกัน การที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ครบหนึ่งปี ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่

Vernal Equinox	ตรงกับวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์ขึ้น-ตกตรงกับทิศพอดี
Summer Solstice	ตรงกับวันที่ 21 มิถุนายนดวงอาทิตย์ขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด
Autumnal Equinox	ตรงกับวันที่ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์ขึ้น-ตกตรงกับทิศพอดี
Winter Solstice	ตรงกับวันที่ 21 ธันวาคม ดวงอาทิตย์ขึ้นลงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

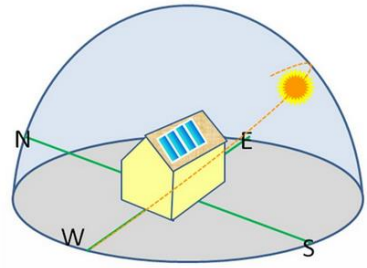


ที่มา เวปดาราศาสตร์ศึกษา(2014) [9]

รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

2.5 ทิศทางตำแหน่งหลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทิศทางตำแหน่งหลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีแนวสันอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งสามารถรับแสงตลอดทั้งวัน ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด ใช้ระยะเวลาคืนทุนสั้น ต่างจากหลังคาที่มีสันอยู่ในแนวทิศหนือ-ใต้ สามารถรับแสงได้ครึ่งวัน ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าได้ครึ่งเดียว ใช้ระยะเวลาคืนทุนนาน ดังรูปที่ 2.10



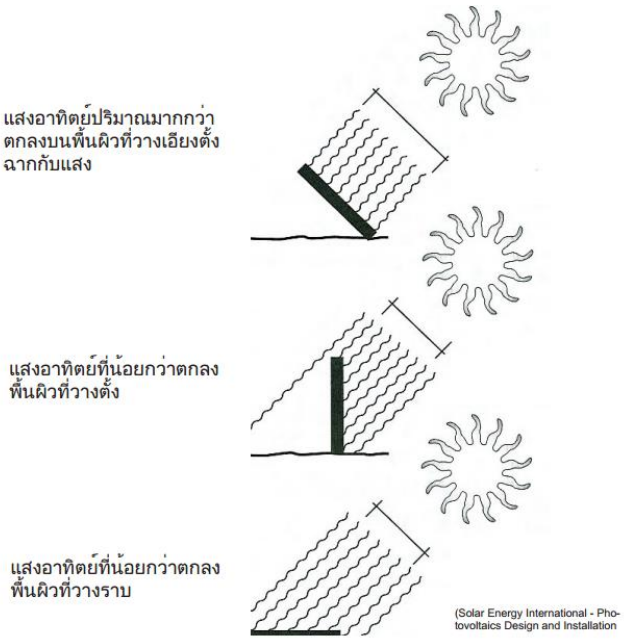
ที่มา เวปไทยโซลาร์ฟิวเจอร์(2014) [10]

รูปที่ 2.10 หลังคาที่มีแนวสันอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก

2.6 มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

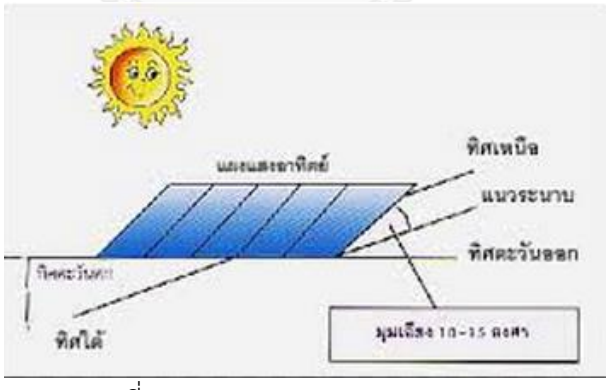
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อวางแผงตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.11 ถึงแม้ว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ตลอดทั้งวัน แต่ว่าในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะเคลื่อนแผงเพื่อให้วางตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา โดยทั่วๆ ไป ตำแหน่งเฉลี่ยดีที่สุดสำหรับการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือให้วางเอียงหันหน้าไปยังเส้นศูนย์สูตรโดยทำมุมเอียงกับพื้นราบโดยประมาณเท่ากับละติจูดของพื้นที่นั้น ดังนั้น สำหรับพื้นที่ที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตร มุมที่เหมาะสมที่สุดคือวางราบกับพื้น

แต่ในทางปฏิบัติ ควรเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์เล็กน้อยเพื่อให้น้ำฝนสามารถล้างสิ่งสกปรกออกไปได้ สำหรับประเทศไทย การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียงกับพื้นราบ 15 องศา ดังรูปที่ 2.12



ที่มา เวปไทยเพาเวอร์เทค (2014) [11]

รูปที่ 2.11 การวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน



ที่มา เวปเนคเทค (2014) [12]

รูปที่ 2.12 มุมการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.7 ความหมายการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมิน [13] คือ การนำลักษณะของสิ่งต่างๆ มาพยายามตีค่าเป็นตัวเลขให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมขณะนั้น โดยใช้สภาวะต่างๆ กันเป็นเกณฑ์

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่ง [14] หมายถึงปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น ในช่วงเวลาหนึ่งๆ (solar insolation หรือ solar irradiation หน่วย: kWh/m^2/day โดยเป็นพลังงานที่สามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานทดแทนได้ สำหรับประเทศไทย มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 5.0 kWh/m^2/day [15] จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับหลายๆประเทศ ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้ประโยชน์และพัฒนา

การประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ [16] ได้แบ่งการประเมินศักยภาพเป็นหลายระดับ คือ ศักยภาพเชิงกายภาพ ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ ศักยภาพเชิงเทคนิค ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ และศักยภาพเชิงสังคม สำหรับงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์และไม่พิจารณาศักยภาพเชิงสังคม

2.8 การประเมินศักยภาพด้านกายภาพ

การประเมินศักยภาพด้านกายภาพ เป็นการประเมินศักยภาพพื้นที่บนอาคารทั้งหมด กับปัจจัยด้านความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ศักยภาพจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยสถานที่ที่ใดที่รังสีอาทิตย์มากจะส่งผลให้มีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็น ไปตามพื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (air mass) ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลกและผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งสามารถหาได้สมการที่ (1)

$$P = I.A \tag{1}$$

เมื่อ

P คือ ศักยภาพเชิงกายภาพ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day)

I คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh/m^2)

Area คือ พื้นที่ทั้งหมด ตารางเมตร (m^2)

โดยที่ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [17] สามารถหาได้จาก สมการ (2)

$$I = \eta_t . \eta_d . \eta_s . I_r \quad (2)$$

เมื่อ I คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh/m^2/day)

ηt คือ ประสิทธิภาพจากมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์ (%)

ηd คือ ประสิทธิภาพจากทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์ (%)

ηs คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ได้รับแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์ (%)

Ir คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปี กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/Year)

2.9 การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์

การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ เป็นการประเมินศักยภาพจากพื้นที่ที่สามารถติดตั้งได้จริง ตัดพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้ง เช่น เสาโทรคมนาคมสูง ระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ ดังสมการที่ (3)

$$G = I . A_{use} \quad (3)$$

เมื่อ

G คือ ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day)

I คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2/Year)

$Area_{use}$ คือ พื้นที่ที่เหมาะสม ตารางเมตร (m^2)

โดยที่ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากสมการ (2) และการคำนวณหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบ สามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$A_{use} = A_{All} - A_{nonuse} \quad (4)$$

เมื่อ A use คือ พื้นที่ที่เหมาะสม ตารางเมตร (m^2)
A All คือ พื้นที่ทั้งหมด ตารางเมตร (m^2)
A nonuse คือ พื้นที่อื่นๆ ตารางเมตร (m^2) เช่น พื้นที่ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ พื้นที่ระบบโทรคมนาคม เป็นต้น

2.10 การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค

2.10.1 การประเมินเชิงศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค [18] เป็นการนำผลที่ได้จากศักยภาพด้านภูมิศาสตร์โดยคำนึงถึงความสูญเสียในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถเขียนดังสมการ (5) ได้เป็น

$$E = G.\eta.pr \quad (5)$$

เมื่อ E คือ ศักยภาพด้านเทคนิค กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day)
G คือ ศักยภาพด้านภูมิศาสตร์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day)
η คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์ (%)
pr คือ สมรรถนะของอัตราส่วนระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

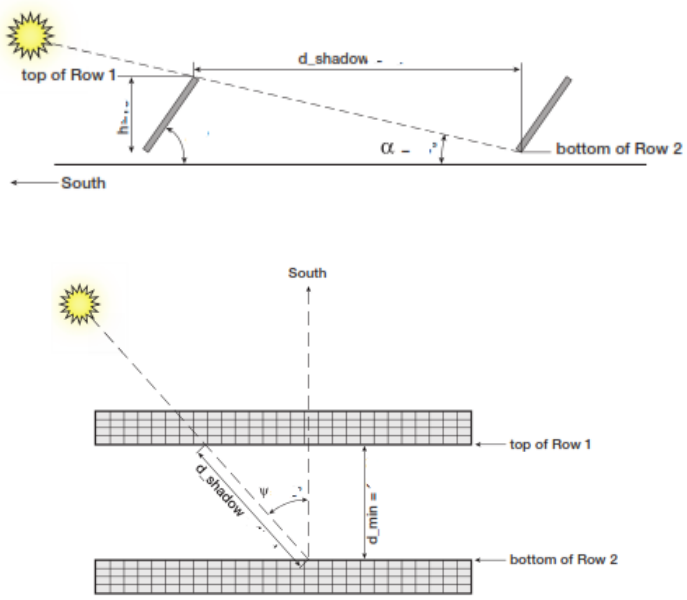
2.10.2 การคำนวณระยะห่างระหว่างแถวของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหลีกเลี่ยงเงาของแต่ละแถวที่จะพาดผ่านเงาของแถวด้านหลัง จึงต้องเว้นระยะห่างระหว่างแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยหาระยะห่างต่ำที่สุด ดังสมการที่ (6) และ (7) และหาศักยภาพดังสมการที่ (8)

$$d_{shadow} = \frac{h}{\tan\propto} \quad (6)$$

$$d_{min} = d_{shadow}.\cos\varphi \quad (7)$$

เมื่อ dmin = ระยะห่างระหว่างแถวต่ำสุด มิลลิเมตร (mm.)
dshadow = ระยะแสงเงา มิลลิเมตร (mm.)

φ = มุม Azimuth องศา



ที่มา : Ken Gardner (2009) [19]

รูปที่ 2.13 แสดงระยะห่างที่ต่ำสุดของแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$E = W.n.PSH \quad (8)$$

เมื่อ E คือ ศักยภาพด้านเทคนิค กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day)

W คือ จำนวนวัตต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วัตต์ (W)

n คือ จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง แผง

PSH คือ จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานจริง ชั่วโมง (Hrs)

2.11 การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Potential) [20] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน จากดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์ทั่วไป ได้แก่ ระยะเวลาการคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

2.11.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับเงินที่ลงทุนไปเป็นเครื่องมือที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นจะมีสภาพคล่องสูงและความเสี่ยงต่ำ โดยสามารถคำนวณหาค่าระยะเวลาการคืนทุน [21] ได้จากสมการที่ (8)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{กระแสเงินสดส่วนที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินสดทั้งปี}} \quad (8)$$

2.11.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value:NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินลงทุนของโครงการ โดยสามารถคำนวณหา NPV ได้จากสมการ (9)

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{ES_t}}{(1+i)^t} - \mathrm{I_0} \qquad (9)$$

เมื่อ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ บาท

I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก บาท

ES_t คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละปี บาท

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n ปี

n คือ จำนวนงวดดอกเบี้ย งวด

i คือ อัตราดอกเบี้ย

2.11.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดของอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก หรืออัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ ได้จากสมการ (10)

$$-\mathrm{I_0} + \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{ES_t}}{(1+\mathrm{IRR})^t} = 0 \qquad (10)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อ I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก บาท

Est คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละปี บาท

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n ปี

n คือ จำนวนงวดดอกเบี้ย หรือจำนวนปี

IRR คือ อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราผลตอบแทน

2.11.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกำไร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ เช่น ความผันแปรของต้นทุนรวม ความผันแปรของราคา และความผันแปรของความเข้มแสง เป็นต้น ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ในภายหลัง ดังนั้นการวิเคราะห์ความไวจึงเป็นขั้นตอนที่ช่วยในการตัดสินใจได้ดีขึ้น

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 Monique Hoogwijk, 1974 [18] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการประเมินศักยภาพด้านกายภาพ ด้านภูมิศาสตร์ ด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์ เทคนิค ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ใช้แนวคิดเซลล์ของกริดหรือจุดภาพ ผลการประเมินพบว่าศักยภาพด้านเทคนิคทั่วโลกประมาณ 370 PWh/year ที่ระดับต้นทุนการผลิตต่ำกว่า $2/kWh หรือเท่ากับ 23 เท่าของการใช้ไฟฟ้าทั่วโลก วิธิการคือ การได้มาซึ่งศักยภาพด้านกายภาพ โดยใช้ข้อมูลของรังสีแสงอาทิตย์จากงานวิจัย Climate และนำค่าดังกล่าว คำนวณหาศักยภาพด้านภูมิศาสตร์ ซึ่งคำนึงถือพื้นที่ที่เหมาะสม โดยแบ่งการติดตั้งเป็น 2 แบบคือ Centralized และ decentralized ซึ่งแบบ Centralized จะติดตั้งบนพื้นดิน มีความจำเป็นในการใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ผลการประเมินอยู่ประมาณ 1.7% ของพื้นที่ดินบนโลก สำหรับแบบ decentralized เหมาะสำหรับการติดตั้งในส่วนที่พักอาศัย ใช้ GDP มาพิจารณาร่วม ผลที่ได้ อยู่ประมาณ 0.11% ของพื้นที่ดินบนโลก การประเมินด้านเทคนิค คำนวณจากประสิทธิภาพบนประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการประเมินศักยภาพด้านเทคนิค ในระบบ Centralized เป็น 366 PWh/year และ decentralized เป็น 6 PWh/year สำหรับการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์นั้น จะพิจารณาข้อมูลจำกัดอยู่บนเส้นโค้ง Cost Supply ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะใช้เปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและเทคโนโลยีการใช้พลังงานสิ้นเปลือง การใช้ไฟฟ้าที่ผลิตโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ต้นทุนอยู่ในช่วง 0.44 – 0.46 $/kWh และมีความเป็นไปได้ว่าการใช้ไฟฟ้าทั่วโลกที่ต้นทุน 0.06 $/kWh เมื่อคำนวณในระยะยาว

2.12.2 L.K. Winginton, H.T. Nguyen and J.M. Pearce (2010) [22] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพเชิงเทคนิคของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ในพื้นที่หนึ่งของจังหวัดออนตาริโอ ประเทศแคนาดา มีพื้นที่ดินรวม 48,000 ตารางกิโลเมตร และประชากรรวม 1.9 ล้านคน การวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่หลังคา ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้ ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการแบ่งภูมิภาคไปยังหน่วยภูมิศาสตร์เล็กๆ การบริหารการจัดการอยู่ในขอบเขตของ census subdivision (CSDs) ที่ซึ่งเป็นตัวแทนของเทศบาล, เขตสงวนอินเดียน อินเดียนเซ็ตเติลเมนท์ และอาจปรับแต่งให้เหมาะสมตามภูมิภาคพลังงานทดแทนนั้นๆ CSD ถูกเลือกเพราะ พื้นดิน ประชากร และข้อมูลอื่นๆ ดังนั้น CSD อยู่ภายใต้พื้นที่ที่สนใจ และเป็นที่ที่ไม่ทับซ้อน ขั้นตอนที่สอง เป็นการสุ่มโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างประชากรและพื้นที่หลังคา สุ่ม จำนวน 10 CSDs จาก 109 CSDs เขตการปกครองที่เป็นกลุ่มตัวอย่างเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างประชากรและพื้นที่หลังคา โดยใช้โปรแกรม Feature Analyst Extraction Software ขั้นตอนที่สาม Extrapolation เพื่อสร้างความสัมพันธ์พื้นที่ของตัวอย่าง CSDs พื้นที่หลังคาของแต่ละ CSDs จะถูกพล็อตกับจำนวนประชากร

ผลที่ได้จะเห็นความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่นอาคารและความหนาแน่นจำนวนประชากร ซึ่งสามารถนำมาประเมินค่าพื้นที่หลังคาต่อคน ร่วมกับจำนวนประชากร ทำให้ได้พื้นที่หลังคาขั้นต้น ขั้นตอนที่สี่ จึงนำพื้นที่ดังกล่าวมาปรับลด โดยคำนึงถึง ลักษณะอาคารว่าเป็นหลังคาระนาบ (flat) หลังคาที่มียอด(peak) ทิศทางของอาคาร และแสงเงา อุปกรณ์อื่นๆที่ติดตั้งบนหลังคา จากการคำนวณในการศึกษาทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดอยู่ที่ 0.19 ซึ่งนำค่าดังกล่าวคำนวณร่วมกับพื้นที่หลังคาต่อคน ทำให้ได้หลังคาสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อคน หากต้องการพื้นที่ที่ใช้สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด นำจำนวนประชากรทั้งหมดมาคำนวณร่วม และขั้นตอนสุดท้ายคือ Conversion เป็นการประเมินศักยภาพโดยคำนึงความแตกต่างของชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการวิเคราะห์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด crystalline silicon, multicrystalline silicon, amorphous silicon multi junction, thin-film polycrystalline silicon เพื่อคำนวณค่าศักยภาพด้านกำลัง และการผลิตพลังงานต่อปี

ผลการวิจัยพบ จากการเลือกจำนวน 10 CSDs ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หลังคา มีค่า R2 อยู่ที่ 0.993 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์สูง ดังนั้นผลพื้นที่หลังคารวมเท่ากับ 70 m2/capita +/- 6.2% ศักยภาพกำลังสูงสุดสำหรับการผลิตไฟฟ้า เป็น 5.4 GW (157% ของความต้องการในภูมิภาค) และศักยภาพพลังงานที่ผลิตได้ต่อปี เป็น 6909 GWh/Year (5% ของผลรวมความต้องการประจำปีในรัฐ Ontario)

2.12.3 Jinqing Peng and Lin Lu (2013) [23] งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการตรวจสอบการพัฒนาศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาในฮ่องกง ใช้หลักการที่เรียกว่า Rules of Thumb เพื่อหาขนาดพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม ในกาศึกษานี้จะใช้ค่าอัตราส่วน Gross roof area ต่อ ground floor area อยู่ที่ 1.2 แฟคเตอร์ความเหมาะสมด้านสถาปัตยกรรม มีค่า 0.7 และแฟคเตอร์ความเหมาะสมของโซล่า อยู่ที่ 0.55 และศึกษาค่าความเหมาะสมของมุมของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้โปรแกรม FORTRAN ซึ่งถูกพัฒนาด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับหาค่ามุมที่เหมาะสมดังกล่าว และได้ศึกษาศักยภาพการติดตั้งของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ได้ค่าพลังงานที่ผลิตได้ (energy output) มากที่สุดภายใต้ข้อจำกัดความเหมาะสมของพื้นที่หลังคา โดยคำนึงถึงผลรวมของรังสีแสงอาทิตย์ประจำปี และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้เลือก monocrystalline PV module

ในการศึกษามีเป้าหมายเพื่อวัดระบบการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปแบบความยั่งยืน โดยใช้ LCA แสดงค่า Energy payback time (EPBT), Greenhouse gases payback time (GPBT), Energy yield ratio(EYR) และการปลดปล่อย Greenhouse-gas (GHG) รวมถึงชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น monocrystalline, multicrystalline, amorphous silicon, CdTe thin film และ CIGS thin film

ผลงานวิจัยนี้พบว่า ฮ่องกงมีขนาดพื้นที่ 117 ตารางกโลเมตร ใช้หลักการของ Rules of Thumb จะได้พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประมาณ 54 ตารางกิโลเมตร มุมที่เหมาะสมอยู่ที่ 23 องศา ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดของรังสี 1,333 kWh/m2 ในระยะเวลา 10 ปี ขนาดศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าบนหลังคาเป็น 5.97 GWp และศักยภาพพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีจากการพยากรณ์ 5981 GWh ผลผลิตพลังงานต่อปีเท่ากับ 14.2% ของผลรวมการใช้ไฟฟ้าในฮ่องกงในปี 2011 และผลการศึกษาพบว่าประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม ค่าของ EPBT อยู่ที่ 1.9 – 3.0 ปี และ GPBT อยู่ที่ 1.4 - 2.1 ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระบบที่มีอายุการใช้งานถึง 30 ปี Energy yield ratio (EYR) จากการศึกษาทั้ง 5 ชนิด อยู่ที่ 10.0 – 15.8 ซึ่งแสดงว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้อย่างน้อย 10 เท่า ของพลังงานที่ต้องการ ในช่วงอายุการใช้งาน

2.12.4 Samba Sowe et al (2015) [24] งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการประเมินทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการจ่ายไฟฟ้าให้ชนบทในแกมเบีย ขอบเขตการการศึกษาจะแบ่งเป็น 2 ระดับคือ ระดับที่หนึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลของการประเมินสถานที่และการชี้บ่งความเหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่บนปัจจัยพื้นฐานของความเข้มของแสงอาทิตย์ อัตราค่าไฟฟ้าต่ำที่สุด สัดส่วนประชากรสูง และอัตราการย้ายถิ่นฐาน จากชนบทสู่ชุมชนเมือง ระดับที่สองการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในแกมเบีย โดยมุ่งเน้นการประเมินทางด้านเทคนิคบนการสำรวจสถานที่ ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระยะเวลาการคืนทุน(PBP) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และอัตราต้นทุนประโยชน์ (BCR)

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยส่วนมากครัวเรือนในชนบทของแกมเบียไม่สามารถเข้าถึงพลังงานสมัยใหม่ อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าในเขตพื้นที่ Greater Banjul และจังหวัดอื่นๆ เฉลี่ยต่ำกว่า 30% (ยกเว้นใน Banjul ประมาณ 70%) สอดคล้องตามผลสำรวจก่อนหน้านี้ พลังงานในส่วนครัวเรือน ผู้ใช้ในเขตเมืองประมาณ 64% และผู้ใช้ในเขตชนบทประมาณ 11% เป็นการต่อในระบบกริด และเพียง 6 เมืองที่อยู่นอก GBA ยังคงใช้ไฟฟ้าที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงดีเซล ขนาดการติดตั้งรวม 1 MW โดยประมาณ ที่ซึ่งสามารถจ่ายเพียง 12-15 ชั่วโมงต่อวัน สำหรับลูกค้ารวม 2600 คน ในพื้นที่ชนบทเมือง Farafenni เป็นเมืองที่มีความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์สูงกว่าเมืองอื่นๆ ในแกมเบีย เป็นพื้นที่ทุ่งหญ้า ต้นไม้มีเล็กน้อย ดังนั้น แสงเงาจึงไม่มีนัยสำคัญสำหรับโรงไฟฟ้า มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ราคาที่ดินในชนบทราคาถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับชุมชนเมือง และดินยังทนต่อการพังทลายและน้ำซึมผ่านได้เร็วเมื่อฝนตก ไม่มีปัญหาน้ำท่วมขัง มีแม่น้ำใกล้ๆ ซึ่งมีน้ำตลอดปี มีมลพิษน้อย เมื่อเทียบกับชุมชนเมือง ซึ่งเหมาะสำหรับใช้น้ำในการทำความสะอาดโรงไฟฟ้าและเพียงพอต่อการใช้งาน จึงเป็นเมืองที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ในการศึกษา เลือกพื้นที่จำนวน 10 ตารางกิโลเมตร ห่างจากแม่น้ำ 100 เมตร ใกล้ถนนเข้าถึงได้ ระบบกริดไฟฟ้าอยู่ห่าง 300 เมตร หน้า

แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 13-14 องศา สอดคล้องตามละติจูด ลองจิจูด ของเมือง Farafenni เลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด c-SI และ CdTd ในการประเมิน

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ การพิจารณาการจัดหาเงินทุนสำหรับโครงการกรณีปกติของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่า 25 ปี โครงสร้างผู้ถือหุ้นกำหนดไว้ที่ 50% และอัตราดอกเบี้ยคงที่ 6% สำหรับภาษีเงินได้และภาษีมูลค่าเพิ่มได้รับการยกเว้นเนื่องจากเป็นพลังงานทดแทน ต้นทุนไฟฟ้า การบำรุงรักษา และผลประโยชน์สิ่งแวดล้อมเป็นต้นทุนคงที่ ที่มีค่าคงที่ในทุกๆปี

ผลงานวิจัยนี้ พบว่าในแกมเบียมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง ประมาณ 4.5-7 kWh/m2/day เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ของเมือง Farafenni ซึ่งมีค่าประมาณ 5.9 4.5-7 kWh/m2/day ซึ่งสูงกว่าเมืองอื่นๆ ในแกมเบีย และด้วยหลายๆ ปัจจัย ทั้งฤดูกาล อุณหภูมิ เมือง Farafenni จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสม ในการส่งเสริมและถูกเลือกในการศึกษาการประเมินด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW โดยการเปรียบเทียบระหว่างโรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ crystaline Si(c-Si) และ Thin film (CdTe) เมื่อคำนวณ Feed-in tariffs ที่ 0.24 US$/kWh ซึ่งเป็นค่าปัจจุบัน ผลที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CdTd จะมีค่า NPV(2,053,869 US$), IRR (7%), BCR(1.60), PBP(9.85 ปี) และชนิด c-Si มีค่า NPV(1,189,576 US$), IRR(4%) BCR(1.30) และ PBP (11.68 ปี) และหากเปลี่ยนค่า Feed-in tariffs ค่า NPV,IRR,BCR และPBP จะแปรผันตาม จากผลการประเมินค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CdTe เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสำหรับการจ่ายไฟในพื้นที่ชนบทในแกมเบีย

2.12.5 Sanjeevi Prasad.S. Dineskumar.k and Madha Suresh (2014) [25] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปในการสร้างสวนพลังงานแสงอาทิตย์ ใน ทามิล นาดุ ในประเทศอินเดียบนการวิเคราะห์ GIS โดยใช้แนวคิด 3 ขบวนการ คือ ขบวนการที่หนึ่ง Pre-screening นำมาใช้สำหรับความต้องการพลังงาน ขบวนการที่สอง Site-Screening ความเหมาะสมบนพื้นฐานคุณสมบัติกายภาพของพื้นที่ และขบวนการที่สาม Financial-Screening เป็นการพิจารณาทางนโยบาย วิธีการเริ่มจากการสำรวจของแผนที่ในประเทศอินเดีย บนขนาด 1:50000 ภาพถ่ายทางอากาศสำหรับตคัดเลือกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินสำหรับระบุที่ดินสูญเปล่า การวิคราะห์ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ การพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ และการวิเคราะห์สถานีที่ใกล้ที่สุด และความต้องการของลูกค้าในที่ศึกษา โดยซอฟต์แวร์ที่ใช้ Arc GIS, ERDAS Imagine และ QGIS สำหรับเครื่องมือที่ใช้แผนที่อินเดีย ภาพถ่าย IRS/LISS, SRTM, ASTER และ Google earth ผลที่ได้จากงานวิจัยพบว่าพื้นที่ทั้งหมด 17 ตารางกิโลเมตร มีความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ย 170 MW

2.13 สรุปงานวิจัย

จากงานวิจัยข้างต้น กล่าวถึงการประเมินศักยภาพระบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มต้นด้วยการประเมินหาพื้นที่ที่เหมาะสม เช่น ใช้หลักการคิดพื้นที่ต่อจำนวนประชากร, หลักการ Rule Thumb หลักการภาพถ่ายทางอากาศ IRS/LISS, SRTM, ASTER และ Google earth ประมวลผลร่วมกับซอฟต์แวร์ Arc GIS, ERDAS Imagine และ QGIS หรือหลักการประเมินด้านกายภาพของสถานที่, ขั้นตอนที่สองนำพื้นที่เหมาะสมคำนวณหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ระบบการติดตั้ง ทิศทางการติดตั้ง, ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนที่สาม เป็นการประเมินศักยภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้บนค่าที่ได้จากขั้นตอนที่สองโดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงเช่น ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ระยะเวลาการคืนทุน(PBP) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และอัตราต้นทุนประโยชน์ (BCR) สำหรับงานวิจัยนี้ ในการหาพื้นที่ที่เหมาะสมจะแตกต่างจากหลักการงานวิจัยอื่นๆ คือ จะใช้หลักการภาพถ่ายทางอากาศ (google earth) ประยุกต์ร่วมกับโปรแกรม QGIS เพื่อประเมินหาพื้นที่หลังคาอาคารที่เหมาะสม และพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ในการติดตั้ง ซึ่งอาจจะมาจากมีระบบประปรับอากาศเป็นต้น หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งสองมาคำนวณพื้นที่ที่สามารถติดตั้งได้จริง ขั้นตอนถัดมาประเมินศักยภาพที่ผลิตได้จากพื้นที่ที่ได้จากขั้นตอนแรก โดยคำนึงชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมการติดตั้ง สมรรถนะระบบการติดตั้ง ขั้นตอนสุดท้าย ประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ คำนวณหาค่า PBP NPV และ IRR

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยผลลัพธ์ของการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในความคุ้มค่าการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แนวทางการดำเนินการศึกษา

จากระเบียบวิธีการศึกษาในบทที่ 1 ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ดังนี้ (ดังรูปที่ 3.1)

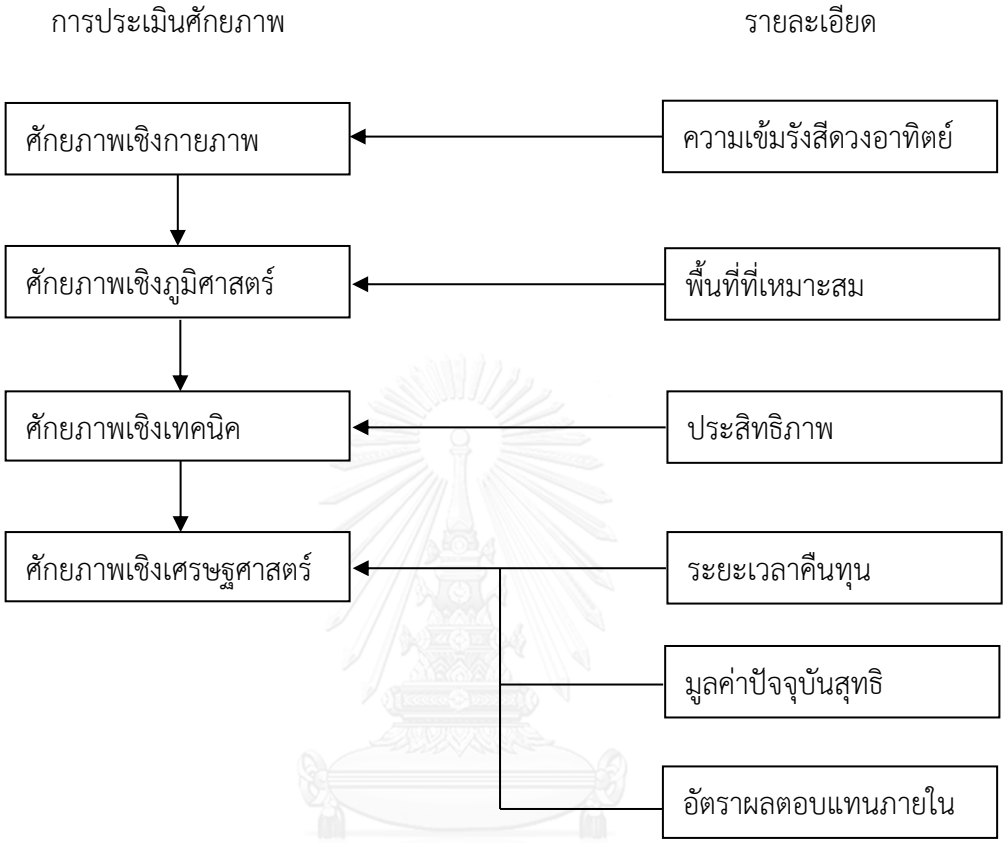
3.1.1 คัดเลือกอาคารจำนวน 10 อาคารจากจำนวนอาคาร 180 อาคาร โดยคำนึงถึงพื้นที่หลังคาบนอาคาร เลือกเฉพาะหลังคาที่อยู่แนวระนาบ ศักยภาพการเข้าถึงข้อมูล และสร้างระดับชั้นของข้อมูล ที่เรียกว่า “Roof Area” ใช้หลักการที่เรียกว่า hand – digitized หรือการวาดภาพดิจิตอลบนภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจับภาพจาก Google Earth และคำนวณพื้นที่ด้วยโปรแกรม Quantum GIS นำพื้นที่ดังกล่าวในการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ

3.1.2 สร้างระดับชั้นของข้อมูลที่เรียกว่า “Other Used Area” และใช้โปรแกรม Quantum GIS เพื่อทำการตัดพื้นที่ เหลือเพียงพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อนำพื้นที่มาประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์

3.1.3 ประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค ใช้ปัจจัยด้านประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาร่วมการคำนวณ โดยเลือกหนึ่งเทคโนโลยี เป็นต้นแบบในการ

3.1.4 ประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ จะพิจารณาเฉพาะ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.1 กรอบการศึกษา

3.2 การประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ

3.2.1 คัดเลือกอาคาร

เพื่อศึกษาพื้นที่ที่สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้จริง ในงานวิจัยนี้ ได้รวบรวมข้อมูลอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจากภาพถ่ายทางอากาศและการสำรวจพื้นที่และคัดเลือกจำนวน 10 อาคาร จากอาคารทั้งหมดเป็นตัวแทน และหลักเกณฑ์ในการคัดเลือก ใช้หลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

3.2.1.1 ทิศทางอาคาร จะพิจารณาคัดเฉพาะอาคารที่มีทิศทางอาคารหันด้านทิศใต้เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุด

3.2.1.2 ลักษณะรูปแบบอาคาร จะพิจารณาคัดเลือกเฉพาะอาคารที่ไม่เป็นอาคารเชิงคุณค่าหรืออาคารทางด้านสถาปัตยกรรมการก่อสร้าง ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 อาคารเชิงคุณค่าหรืออาคารทางด้านสถาปัตยกรรมการก่อสร้าง

3.2.1.3 พื้นที่การติดตั้ง จะพิจารณาคัดเลือกพื้นที่หลังคาอาคารที่เป็นดาดฟ้าเป็นอันดับแรก เพื่อลดปัจจัยด้านมุมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1.4 การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังของแต่ละอาคาร

3.2.2 การคำนวณพื้นที่

สร้างชั้นข้อมูลของพื้นที่อาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Google Earth และ Quantum GIS ในการคำนวณพื้นที่ทั้งหมดบนหลังคาอาคาร โดยขั้นตอนการคำนวณพื้นที่จะแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข

3.2.3 ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ความเข้มรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ข้อมูลจากกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งใช้วิธีการตรวจวัดจากเครื่องไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ในการรับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ปัจจุบันมีสถานีในการตรวจวัดจำนวน 37 สถานี ทั่วประเทศ และเพื่อให้ได้ข้อมูลใกล้เคียงกับสถานที่ในการศึกษา ได้เลือกข้อมูลที่วัดจากสถานีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เขตปทุมวัน โดย ใช้ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ของปี 2557 ในหน่วย เมกกะจูลต่อตารางเมตร [1] และหาค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปีที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการที่ (2) โดยมีสมมติฐานดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมมติฐานการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ข้อมูล	สมมติฐาน	แหล่งอ้างอิง
- ประสิทธิภาพจากมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ηt)	100%	กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่ 15 องศา
- ประสิทธิภาพจากทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ηd)	100%	กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันด้านทิศใต้
- อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ได้รับแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ηs)	100%	กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเต็มพื้นที่
- ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปี	4.98 kWh/m^2/day	อ้างอิงข้อมูลที่วัดจากสถานีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เขตปทุมวัน [1]

ประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ ตามสมการการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ ดังสมการที่ (3)

3.3 การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์

คำนวณพื้นที่ที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Google Earth และ Quantum GIS โดยสร้างระดับชั้นของพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เช่น ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ พื้นที่ติดตั้งระบบสื่อสาร พื้นที่ปลูกต้นไม้ พื้นที่เรือนเพาะชำ เป็นต้น เพื่อตัดข้อมูลจากพื้นที่คำนวณได้ทั้งหมด ขั้นตอนการคำนวณพื้นที่ ดังภาคผนวก ข

เมื่อได้ขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมและค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้จากขั้นตอนการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ นำค่าดังกล่าวประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ ตามสมการที่ (3)

3.4 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค

3.4.1 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่

ประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ ใช้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพของระบบส่งผลต่อศักยภาพการผลิตไฟฟ้า

3.4.1.1 ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการศึกษานี้ เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Polycrystalline Silicon เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพสูง ประหยัดเนื้อที่ ในการติดตั้งเมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Thin film ภายใต้กำลังวัตต์ที่เท่ากัน โดยค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้ มีค่าประสิทธิภาพ 14.64% ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบโดยการติดตั้งจริงและใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline Silicon โดยเก็บข้อมูลทุก 10 นาที ในช่วงเวลา ตั้งแต่ 9.00 – 17.00 จำนวน 4 วัน [26]

3.4.1.2 ปัจจัยสมรรถนะของระบบ IEA (2014) ให้ค่าสมรรถนะระบบ 80 – 90% ประกอบด้วยความสูญเสียประสิทธิภาพจาก ความไม่เข้ากันของระบบ ความแปรปรวนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ผุ่น ความต้านทานสาย การแปลงค่าของอินเวอร์เตอร์ เกิดจากความสูญเสียในระบบ เช่น ความสูญเสียอินเวอร์เตอร์ ความสูญเสียการเชื่อมต่อ ความสูญเสียในสาย สำหรับงานวิจัยนี้เลือกค่าเฉลี่ยที่ 85%

ดังนั้นการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค สามารถคำนวณได้จากสมการ (5)

ตารางที่ 3.2 สมมติฐานการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่

ข้อมูล	สมมติฐาน	แหล่งอ้างอิง
ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14.64%	อ้างอิง จิระศักดิ์ และ บุญเลิศ [26]
สมรรถนะระบบ	0.85	IEA (2014) [27]

3.4.2 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค เว้นระยะห่างระหว่างแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.2.1 คำนวณหาค่ามุม Solar Elevation และมุม Azimuth เพื่อหาค่าระยะที่ต่ำที่สุดในการเว้นระยยะห่างระหว่างแถวเซลล์แผงอาทิตย์

3.4.2.2 วางบล็อกแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระยะระหว่างแถวที่คำนวณได้ ในขนาดพื้นที่จริง เพื่อคำนวณค่าจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งจริง

3.4.2.3 คำนวณจำนวนเครื่องอินเวอร์เตอร์ โดยคำนวณจากกำลังการผลิตที่ผลิตได้ โดยใช้วิธีมากกว่า 0.5 เครื่อง จะปัดขึ้น และน้อยกว่า 0.5 เครื่องปัดลง เช่น หากคำนวณได้ 2.7 เครื่อง จะใช้จำนวน 3 เครื่อง เป็นต้น

3.4.2.4 โดยค่า Peak Sun Hours (PSH) 4.36 ชั่วโมงต่อวัน [28] ได้จากข้อมูลการวัดสถานที่จริง ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Polycrystalline วัดในช่วงปี 2557 เวลา 7.00 – 17.00 น.

3.4.2.5 ประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค จากสมการที่ (8)

ตารางที่ 3.3 สมมติฐานการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูล	สมมติฐาน	แหล่งอ้างอิง
แผงเซลล์แสงอาทิตย์		
ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Poly Crystalline	
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้	310 วัตต์ต่อแผ่น	อ้างอิงรายละเอียดคุณลักษณะ (Specification) แผงเซลล์แสงอาทิตย์
ขนาดแผง	992 x 1956 มิลลิเมตร	
มุมเอียงในการติดตั้ง	15 องศา	สอดคล้องตามละติจูด ลองจิจูดของประเทศไทย
Peak Sun Hours	4.36 ชั่วโมงต่อวัน	อ้างอิง อนุชา(2554) [28]

3.5 การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์มูลค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ อาศัยตัวชี้วัดต่างๆ คือ ระยะเวลาการคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายใน สำหรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการลงทุนในการติดตั้งพร้อมกันทั้งหมด ทำให้ต้นทุนในการติดตั้งแต่ละอาคารระบบพลังแสงอาทิตย์เท่ากันที่ 50 บาทต่อวัตต์ โดยโครงการมีอายุ 20 ปี อัตราค่าไฟฟ้าในปีแรกคิดอัตราเดียวกับการไฟฟ้านครหลวง ดังภาคผนวก ง และในปีถัดไปใช้อัตราค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยอัตราการเติบโตของค่าไฟฟ้าย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี 2546 – 2555

Balance of System จะประกอบไปด้วย ค่าแรงการติดตั้ง ค่าอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการติดตั้งทั้งหมด ค่าทดสอบระบบ

ตารางที่ 3.4 สมมติฐานในการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ข้อมูล	สมมติฐาน	แหล่งอ้างอิง
ต้นทุนทั้งระบบ	50 บาทต่อวัตต์	จากใบเสนอราคา เดือน มิ.ย. 58
ค่าบำรุงรักษา	0.5% ต่อวัตต์	จากการสอบถาม

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) สมมติฐานในการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ข้อมูล	สมมติฐาน	แหล่งอ้างอิง
แผงเซลล์แสงอาทิตย์		
อายุการใช้งาน	20 ปี	อายุโครงการ
ต้นทุน	30 บาทต่อวัตต์	จากใบเสนอราคา เดือน มิ.ย. 58
อัตราการเสื่อมสภาพ	0.5% ต่อปี	จากผลการศึกษาของ National Renewable Energy Laboratory (NREL) (NREL,2012) [29]
อินเวอร์เตอร์		
อายุการใช้งาน	10 ปี	ตามระยะการประกันของอุปกรณ์
ต้นทุน	8.07 บาทต่อวัตต์ คิดเป็น 14.11% ของระบบ	จากใบเสนอราคา เดือน มิ.ย. 58
Balance of System	คิดอัตราส่วนเหลือจากการคำนวณ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และค่ามิเตอร์ไฟฟ้า	จากใบเสนอราคา เดือน มิ.ย. 58
อัตราค่าไฟฟ้า ในระบบTOU 4.2.2 ขนาด 12-24 กิโลโวลต์		
On-Peak + FT	4.1757 บาทต่อหน่วย	ประกาศการไฟฟ้านครหลวง เริ่มใช้เมือเดือนมิถุนายน 2555
Off-Peak + FT	2.6721 บาทต่อหน่วย	ประกาศการไฟฟ้านครหลวง เริ่มใช้เมือเดือนมิถุนายน 2555
Peak Demand	132.93 บาทต่อหน่วย	ประกาศการไฟฟ้านครหลวง เริ่มใช้เมือเดือนมิถุนายน 2555
สัดส่วนจำนวนวัน On-Peak : Off-Peak	68% : 32%	จากการคำนวณสัดส่วนจำนวนวันในปี 2557 ใช้ไฟเต็มที่ช่วง Off-Peak

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) สมมติฐานในการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ข้อมูล	สมมติฐาน	แหล่งอ้างอิง
อัตราค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น	3.5% ต่อปี	ค่าเฉลี่ยค่าไฟฟ้ารวมค่า FTทุกประเภทผู้ใช้ไฟเฉพาะที่เป็นลูกค้าโดยคิดอัตราการเติบโตค่าไฟฟ้าย้อนหลังสิบปี ตั้งแต่ 2546 – 2555 เป็นฐาน
อัตราส่วนลด	7.08%	Minimum Loan Rate (MLR) ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย ณ วันที่ 17 มิถุนายน 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ

4.1.1 ผลการคัดเลือกอาคาร

ผลการคัดเลือกอาคารตามเกณฑ์การประเมินอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจำนวน 183 อาคาร เพื่อเลือกอาคารที่เหมาะสม จำนวน 10 อาคาร ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนอาคารในแต่ละเกณฑ์การประเมิน

เกณฑ์การประเมิน	จำนวนอาคาร
ทิศทางอาคาร	128
ลักษณะรูปแบบอาคาร	97
พื้นที่การติดตั้ง	26
การเข้าถึงข้อมูล	10

ผลที่เข้าข่ายเกณฑ์การประเมินเหลือ จำนวน 26 อาคาร หลังจากนั้นเลือกอาคารที่เหมาะสม เช่นการเข้าถึงข้อมูลการใช้พลังงาน ให้เหลือจำนวน 10 อาคาร ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อาคารที่ผ่านเกณฑ์การประเมิน จำนวน 10 อาคาร

ลำดับที่	หน่วยงาน	ชื่ออาคาร
1	คณะครุศาสตร์	ครุศาสตร์3
2	คณะนิติศาสตร์	เทพทวาราวดี
3	สถาบัน	มหาธีรราชานุสรณ์
4	สถาบัน	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5	สถาบัน	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
6	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี8
7	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8	สำนักงานมหาวิทยาลัย	พินิตประชานาถ
9	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์
10	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา

4.1.2 ผลการคำนวณพื้นที่

จากการนำโปรแกรม และ Google Earth คำนวณพื้นที่บนหลังคาที่ใช้เป็นตัวแทนการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณพื้นที่หลังคาโดยโปรแกรม Quantum GIS

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	พื้นที่ (ตารางเมตร)
1	ครุศาสตร์3	1,772
2	เทพทวาราวดี	2,162
3	มหาธีรราชานุสรณ์	1,551
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	996
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	904
6	จามจุรี8	837
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	738
8	พินิตประชานาถ	661
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	1,402
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	228

และได้ทวนสอบการวัดสถานที่จริง โดยได้สุ่มวัดที่อาคารจามจุรี 8 พบว่ามีพื้นประมาณ 889.42 ตารางเมตร มีค่าใกล้เคียงกับประเมินกับระบบ Quantum GIS ซึ่งมีค่า 837 ตารางเมตร

4.1.3 ผลการศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

จากการศึกษาข้อมูลที่วัดได้จริงจากกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเขตพื้นที่ปทุมวัน มีค่า 17.93 เมกกะจูลต่อตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ปี 2557

ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ = 17.93 $MJ/m^2/day$					
มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
17.38	19.07	20.01	20.29	18.64	18.20
กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
17.39	17.00	16.86	16.76	16.89	16.65

ที่มา ข้อมูลการวัดจริงจากกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ผลการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ โดยไม่คำนึงถึงพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้ง พบว่าศักยภาพเชิงกายภาพรวม 10 อาคาร ได้ 56,029.98 kWh/day รายละเอียด ดังตารางที่ 4.5 และการประเมินพื้นที่ในการติดตั้ง ดังภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.5 ศักยภาพเชิงกายภาพ

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (kWh/m2/day)	ศักยภาพเชิงกายภาพ (kWh/day)
1	ครุศาสตร์3	1,772	4.98	8,824.56
2	เทพทวาราวดี	2,162	4.98	10,766.76
3	มหาธีรราชานุสรณ์	1,551	4.98	7,723.98
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	996	4.98	4,960.08
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	904	4.98	4,501.92
6	จามจุรี8	837	4.98	4,168.26
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	738	4.98	3,675.24
8	พินิตประชานาถ	661	4.98	3,291.78
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	1,402	4.98	6,981.96
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	228	4.98	1,135.44
รวม				56,029.98

4.2 ผลการประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์

ผลการประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ พบว่าศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์รวม 10 อาคาร ได้ 42,138.38 kWh/day รายละเอียด ดังตารางที่ 4.6 และการประเมินพื้นที่ในการติดตั้ง ดังภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.6 ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (kWh/m^2/day)	ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ (kWh/day)
1	ครุศาสตร์3	1,008	4.98	5,019.84
2	เทพทวาราวดี	1,235	4.98	6,150.3
3	มหาธีรราชานุสรณ์	1,551	4.98	7,723.98
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	996	4.98	4,960.63
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	904	4.98	4,502.42
6	จามจุรี8	767	4.98	3,820.09
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	732	4.98	3,645.77
8	พินิตประชานาถ	661	4.98	3,292.15
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	387	4.98	1,927.48
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	220	4.98	1,095.72
รวม				42,138.38

4.3 ผลการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค

4.3.1 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่

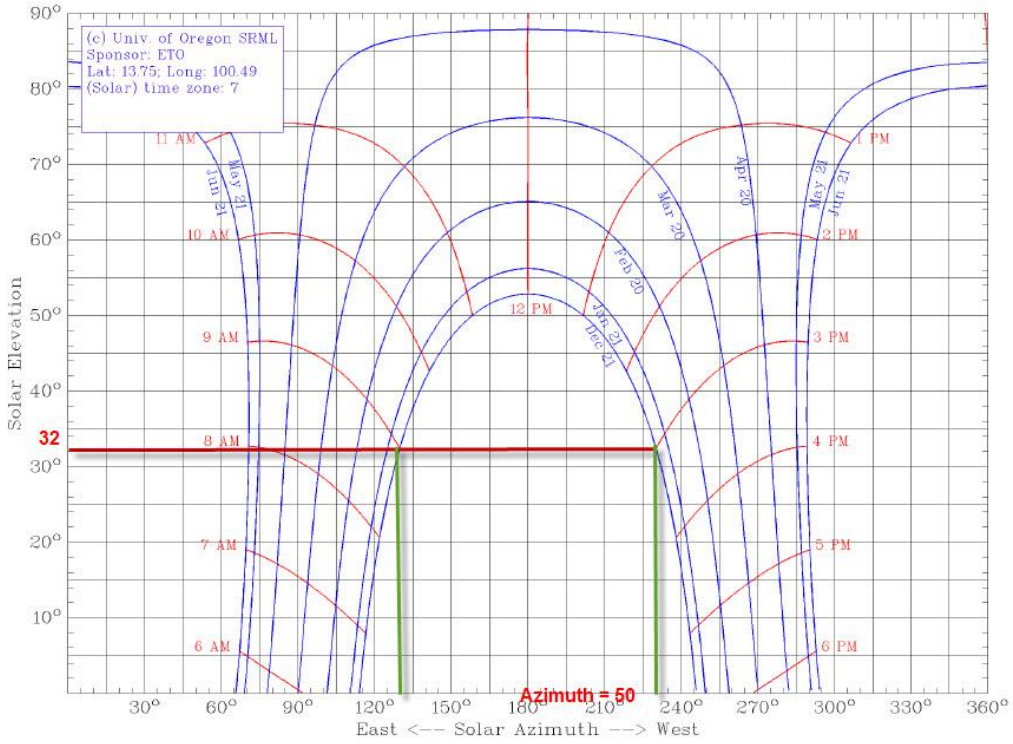
ผลการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ พบว่าศักยภาพรวม 10 อาคาร ได้ 5,297.00 kWh/day รายละเอียด ดังตารางที่ 4.7

4.3.2 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการคำนวณพบว่าระยะต่ำสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ที่ 520.76 มิลลิเมตร ที่ค่ามุมของแสงอาทิตย์อยู่ที่ 32 องศา และมุม Azimuth 50 องศา ตามรูปที่ 4.1 และผลการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค เว้นระยะห่างระหว่างแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าศักยภาพรวม 10 อาคาร ได้ 2,949.19 รายละเอียด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ (kWh)	ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	สมรรถนะระบบ	ศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ (kWh/day)
1	ครุศาสตร์3	1,008	14.64	0.85	624.67
2	เทพทวาราวดี	1,235	14.64	0.85	765.34
3	มหาธีรราชานุสรณ์	1,551	14.64	0.85	961.17
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	996	14.64	0.85	617.30
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	904	14.64	0.85	613.58
6	จามจุรี8	767	14.64	0.85	475.37
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	732	14.64	0.85	453.68
8	พินิตประชานาถ	661	14.64	0.85	409.67
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	387	14.64	0.85	239.85
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	220	14.64	0.85	136.35
รวม					5,297.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ที่มา : เวบ solardat.uoregon.edu (2015)[30]

รูปที่ 4.1 การหาค่า มุมแสงอาทิตย์และมุม Azimuth

และค่าศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4.8 ศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ศักยภาพเชิงเทคนิค (kWh/day)
1	ครุศาสตร์3	31	41.89
2	เทพทวาราวดี	122	164.89
3	มหาธีรราชานุสรณ์	503	679.85
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	388	524.42
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	387	523.06
6	จามจุรี8	268	362.22
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	266	359.52
8	พินิตประชานาถ	90	121.64

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ศักยภาพเชิงเทคนิคเว้นระยะห่างระหว่างแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ศักยภาพเชิงเทคนิค
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	85	114.88
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	42	56.76
รวม			2,949.19

4.4 ผลการศึกษาการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าศักยภาพเศรษฐศาสตร์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) รวม 10 อาคาร 20 ปี ได้ 26,744,616.98 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนภาย(IRR) 15% ระยะเวลาการคืนทุน(PB) จำนวน 7-8 ปี

เหตุผลที่ค่า IRR และค่า PB เท่ากันทุกอาคาร เนื่องจากสมมติฐานการลงทุนคำนวณจากฐานเดียวกัน คือ 50 บาทต่อวัตต์ในทุกๆ อาคาร และค่าบำรุงรักษาอ้างอิงจากวัตต์ต่อบาทเช่นกัน

รายละเอียด ดังตารางที่ 4.9 และรายละเอียดการคำนวณ ดังภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.9 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	NPV (บาท)	IRR (%)	PB (ปี)
1	ครุศาสตร์3	368,008.67	15%	7.41
2	เทพทวาราวดี	1,483,650.88	15%	7.41
3	มหาธีรราชานุสรณ์	6,137,298.65	15%	7.41
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	4,748,238.84	15%	7.41
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	4,734,725.83	15%	7.41
6	จามจุรี8	3,291,613.98	15%	7.41
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	3,264,587.96	15%	7.41

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	NPV (บาท)	IRR (%)	PB(ปี)
8	พินิตประชานาถ	1,133,702.72	15%	7.41
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	1,066,137.67	15%	7.41
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	516,651.78	15%	7.41
รวม		26,744,616.98		

4.5 การวิเคราห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

4.5.1 ปัจจัยในแง่ต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เนื่องจากปัจจุบันการพัฒนาและการแข่งขันเทคโนโลยีในตลาดสูง ทำให้ต้นทุนของระบบมีแนวโน้มต่ำลง โดยกำหนดต้นทุนลดลงร้อยละ 5 พบว่า ระยะเวลาคืนทุนอยู่ระหว่าง 7 – 8 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิรวม 10 อาคาร 20 ปี ได้ 28,572,705.46 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 16% ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ที่ต้นทุน ลดลง 5%

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	NPV (บาท)	IRR (%)	PB (ปี)
1	ครุศาสตร์3	394,578.40	16%	7.11
2	เทพทวาราวดี	1,586,447.69	16%	7.11
3	มหาธีรราชานุสรณ์	6,560,110.91	16%	7.11
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	5,073,679.28	16%	7.11
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	5,059,391.28	16%	7.11
6	จามจุรี8	3,515,807.61	16%	7.11
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	3,487,231.59	16%	7.11
8	พินิตประชานาถ	1,207,576.12	16%	7.11
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	1,136,136.07	16%	7.11
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	551,746.51	16%	7.11
รวม		28,572,705.46		

4.5.2 ปัจจัยในแง่เปลี่ยนแปลงอัตราดอกเบี้ย

อัตราส่วนลด(Discount Rate) 7.08% จาก MLR ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย ณ วันที่ 17 มิถุนายน 2558 เมื่อคำนวณอัตราส่วนลดที่ 3.00 % พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ รวม 10 อาคาร 20 ปี ได้ เท่ากับ 54,419,547.67 ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ทีอัตราส่วนลด 3.00%

ลำดับที่	ชื่ออาคาร	NPV (บาท)
1	ครุศาสตร์3	754,817.94
2	เทพทวาราวดี	3,024,778.71
3	มหาธีรราชานุสรณ์	12,502,101.67
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	9,665,383.47
5	วิทยาลัยปิโตรเลียม และปิโตรเคมี	9,638,517.69
6	จามจุรี8	6,694,336.34
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	6,640,604.76
8	พินิตประชานาถ	2,291,497.21
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	2,157,168.27
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	1,050,341.61
รวม		54,419,547.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.5 เปรียบเทียบสัดส่วนระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง

เป็นเปรียบเทียบสัดส่วนระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงต่อปี พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวม 10 อาคาร ได้ถึง 10.97% ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ในปีแรก

ลำดับที่	อาคาร	ระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ (kWh/year)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (kWh)	สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ %
1	ครุศาสตร์3	15,293	684,000	2.24
2	เทพทวาราวดี	60,187	1,142,000	5.27
3	มหาธีรราชานุสรณ์	248,147	2,060,000	12.05

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ในปีแรก

ลำดับที่	อาคาร	ระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ (kWh/year)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (kWh)	สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ %
4	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	191,414	1,132,000	16.91
5	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	190,920	1,487,000	12.84
6	จามจุรี8	132,214	242,000	54.63
7	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	131,227	572,000	22.94
8	พินิตประชานาถ	44,400	394,000	11.27
9	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	41,933	1,946,000	2.15
10	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	20,720	155,842	13.30
รวม		1,076,455.00	9,814,842.00	10.97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ ศึกษาถึงศักยภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเลือกอาคารในการศึกษาจำนวน 10 อาคาร จาก 183 อาคาร ที่คาดว่าจะให้ค่าศักยภาพสูงสุด ใช้เกณฑ์ ทิศทาง รูปแบบอาคาร และลักษณะหลังคาในการคัดเลือก พบว่าสามารถเลือกอาคารได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 10 อาคาร สำหรับการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ อาศัยข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเขตพื้นที่ปทุมวันเท่ากับ 17.93 MJ/m^2 หรือ 4.98 $kWh/m^2/day$ พบว่าศักยภาพเชิงกายภาพมีศักยภาพ 56,029.98 kWh/day การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ คำนวณจากพื้นที่ที่เหมาะสมสามารถติดตั้งระบบได้จริง กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หันด้านทิศใต้ ทำมุม 15 องศา และพื้นที่รับแสงเต็มพื้นที่ พบว่าศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์มีศักยภาพเท่ากับ 42,138.38 kWh/day การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคแบบเต็มพื้นที่ ใช้ปัจจัยประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 14.64% และประสิทธิภาพระบบ 0.85 เข้ามาเกี่ยวข้อง พบว่าศักยภาพเชิงเทคนิคมีศักยภาพเท่ากับ 5,296.98 kWh/day และการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคแบบเว้นช่องว่างระหว่างแถว พบว่าศักยภาพเชิงเทคนิคมีศักยภาพเท่ากับ 2,949.19 kWh/day การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) รวม 10 อาคาร 20 ปี ได้ 26,744,616.98 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนภาย(IRR) 15% ระยะเวลาการคืนทุน จำนวน 7-8 ปี และเมื่อพิจารณาความไวในปัจจัยแง่ต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดต้นทุนลดลงร้อยละ 5 พบว่า ระยะเวลาคืนทุนอยู่ระหว่าง 7 – 8 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิรวม 10 อาคาร 20 ปี ได้ 28,572,705.46 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 16% และปัจจัยในแง่เปลี่ยนแปลงอัตราดอกเบี้ยเมื่อคำนวณอัตราส่วนลดที่ 3.00 % พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ รวม 10 อาคาร 20 ปี ได้เท่ากับ 54,419,547.67 สัดส่วนการลดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้กับระบบไฟฟ้าที่ใช้จริง สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 10.97% ในปีแรก

การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ มีความคุ้มทุนในการลงทุน มีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก อัตราค่าผลตอบแทนภายในมีค่าเชิงบวก ระยะการคืนทุนสั้น ด้วยเหตุนี้ เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มต้นทุนราคาแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับตลาดในประเทศไทยมีการขยายตัวและการแข่งขันที่เพิ่มขึ้น ทำให้การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคามีแนวโน้มที่จะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าเทียบได้กับอุปกรณ์ประหยัดพลังงานในอาคาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการประเมินศักยภาพใช้ภาพถ่ายทางอากาศจาก Google Earth และโปรแกรม QGIS ในการคำนวณพื้นที่ ซึ่งความถูกต้องของพื้นที่ไม่ละเอียดเท่าที่ควร เป็นเพียงการคำนวณพื้นที่คร่าวๆ เท่านั้น ซึ่งก่อนจะติดตั้งควรที่จะยืนยันด้วยการวัดพื้นที่จริงเพื่อยืนยันข้อมูลความถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กลุ่มภารกิจโครงสร้างพื้นฐาน. ตารางแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานทั้งหมดของมหาวิทยาลัย ตามปีงบประมาณ 2556. 2556

2. กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) 2555 [cited 2557 20 ตุลาคม]. Available from: http://www.thaitap.com/ewtadmin85/ewt/thaitap_web/ewt_news.php?nid=703&filename=index.

3. World Energy Council. World Energy Council. 2013.

4. เวปลีโอนิคส์. ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ 2014 [cited 2014 20 ตุลาคม]. Available from: http://www.leonics.co.th /html/th/aboutpower/solar_knowledge.php.

5. เวปบริษัท ทีทีดับปลิว จำกัด (มหาชน). ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2555 [cited 2558 23 มิถุนายน]. Available from: http://www.thaitap.com/ewtadmin85/ewt/thaitap_web/ewt_news.php?nid=703&filename=index.

6. กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์.

7. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เวปการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [cited 2558 23 มิถุนายน 2558]. Available from: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm.

8. บริษัท นอร์ทเทอร์น ซันไซน์ จำกัด. เวปบริษัท นอร์ทเทอร์น ซันไซน์ จำกัด [23 มิถุนายน 2558]. Available from: http://www.nsthai.com/howtobuy_solar.htm.

9. เวปดาราศาสตร์ศึกษา. ดาราศาสตร์กับสถาปัตยกรรมและการก่อสร้างที่พักอาศัยสำหรับคนไทย 2014 [cited 2014 20 ตุลาคม 2557]. Available from: http://www.astroeducation.com/content/context/astronomy-andarchitecture-in-thailand.

10. เวปไทยโซลาร์ฟิวเจอร์. รายละเอียดด้านเทคนิคของโซลาร์รูฟ (ระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา) [cited 2014 20 ตุลาคม 2557]. Available from: http://www.thaisolarfuture.com/solarroof.php?cat=13.

11. เวปไทยเพาเวอร์เทค. ห้องเรียน โซล่าเซลล์ ตอนที่ 1 2014 [20 ตุลาคม 2557]. Available from: http://www.thaipowertech.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539493908&Ntype=8.

12. เวปเนคเทค. การติดตั้งและการทำงานของระบบ 2014 [20 ตุลาคม 2557]. Available from: http://www.elearning.nectec.or.th/learnsquare/courses/58/ch3_2.htm.

13. ยุวดี เปรมวิชัยม, และน.อ.หญิง ผศม. (ม.ป.ป). การประเมิน (Assessment). วารสารโรงเรียนนายเรือ.ปีที่ 7(ฉบับที่ 1).

14. ณรัล ลือวรศิริกุล. ศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. (ม.ท.ป). มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2550.

15. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ. In: กระทรวงพลังงาน กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, editor. 2558.

16. Salvador Izquierdo, Marcos Rodrigues, and Norberto Fueyo. A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. Solar Energy. 2008;82:10.

17. นครินทร์ รินพล. คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2ed2558 เมษายน 2558. 156 p.

18. Monique hoogwijk. On the global anf regional potential of renewable energy sources 22 November 1974.

19. Ken Gardner. Calculating Inter-Row Spacing. Solarpro. December/January 2009. p. 16-8.

20. พิมลมาศ วรรณคนาพล, เอนก สุวรรณชัยสกุล, ปาริณี ศรีสุวรรณ์, และเฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์. ประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา. . Jars.9-2:13.

21. Michael C. Ehrhardt, and Eugene F. Brigham. Financial management 13, editor. 1152 p.

22. L.K. Winginton, H.T. Nguyen, and J.M. Pearce. Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. Computers, Environment and Urban System. 2010;34:12.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

23. Jinqing Peng, and Lin Lu. Investigation on the development potential of rooftop PV system in Hong Kong and its environmental benefits Renewable and Sustainable. Energy Reviews. 2013;52:23.

24. Samba Sowe, Nipon Ketjoy, Prapita Thanarak, and Tawat Suriwong. Technical and economic viability assessment of PV power plant for rural electrification in the gambia. Energy Procedia. 2015;52:10.

25. Sanjeevi Prasad.S., Dineskumar.k, and Madha Suresh.V. Location of solar power park-geo-informatic approach-a case study of Madurai district, tamil nadu, india. African journal of geo-sciences research. 2014;2(1):5.

26. จิระศักดิ์ สินสุขอุดมชัย, และบุญเลิศ สื่อเฉย. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซล่าร์เซลล์แต่ละชนิด. โรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2557;1(1):37-45.

27. International Energy Agency. Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy. 2014.

28. อนุชา โพวัน. การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ติดตั้งในประเทศไทยด้วยการใช้โปรแกรมจำลอง: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2554.

29. Ananda Mani Paudel, and Hsueyin Sarper. Economic analysis of a grid-connected commercial photovoltaic system at Colorado State University-Pueblo. Procedia. 2556;52:17.

30. solardat.uoregon.edu. sun charts 2015. Available from: solardat.uoregon.edu

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

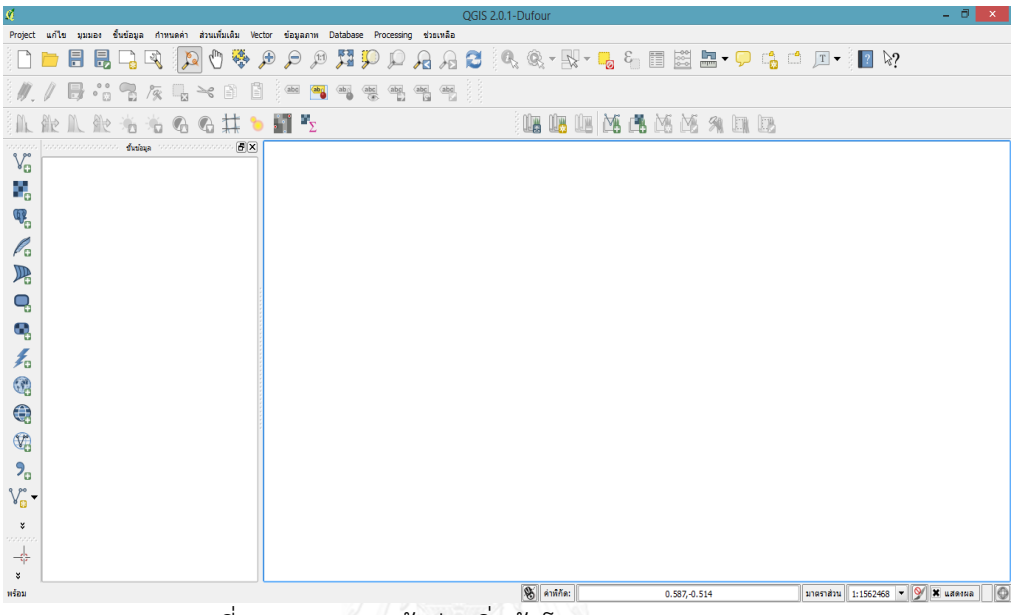
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
การติดตั้งโปรแกรม Quantum GIS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.1 โปรแกรม Quantum GIS

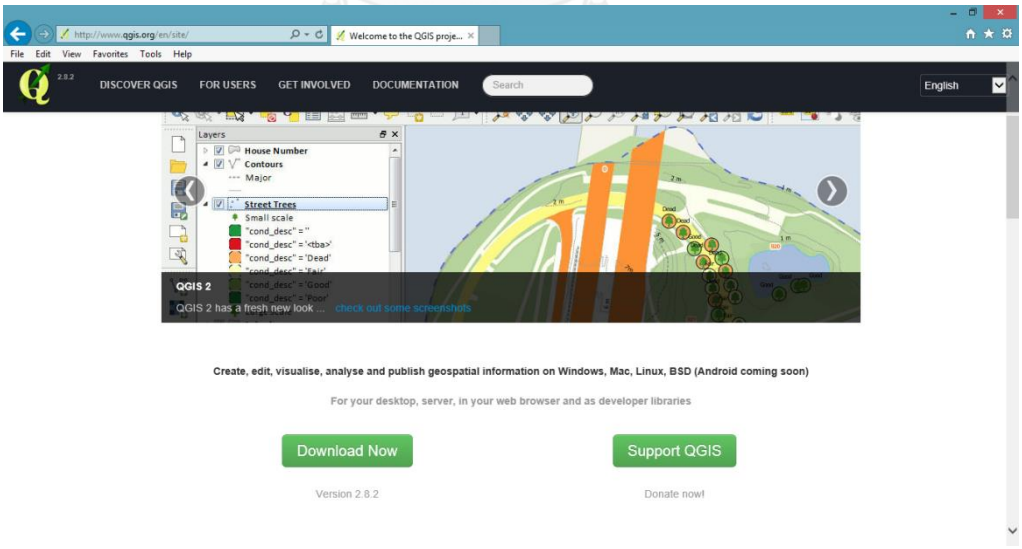
โปรแกรม Quantum GIS อยู่ในกลุ่มซอฟต์แวร์รหัสเปิด ใช้ในการแสดงข้อมูลเชิงตำแหน่งในรูปแบบแผนที่ การสร้าง และการแก้ไขข้อมูลเชิงตำแหน่ง สามารถใช้งานง่ายสามารถจัดการในรูปแบบแบบตาราง จัดการข้อมูล ลักษณะรูปแบบหน้าต่างโปรแกรม Quantum GIS ดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก.1 รูปแบบหน้าต่างเริ่มต้นโปรแกรม Quantum GIS

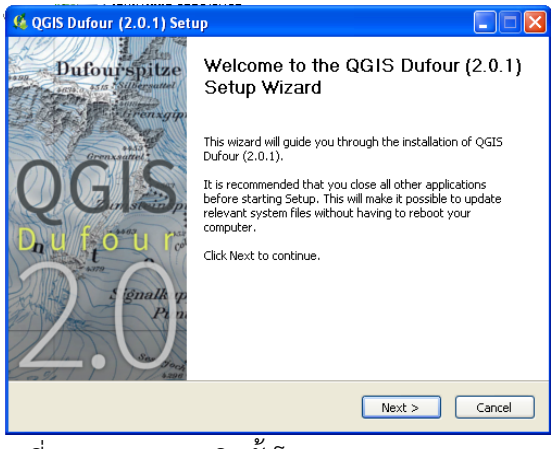
ก.2 การติดตั้งโปรแกรม Quantum GIS

ก.2.1 ดาวน์โหลดโปรแกรม Quantum GIS จาก URL: http://www.qgis.org/ ดังรูปที่ ก.2



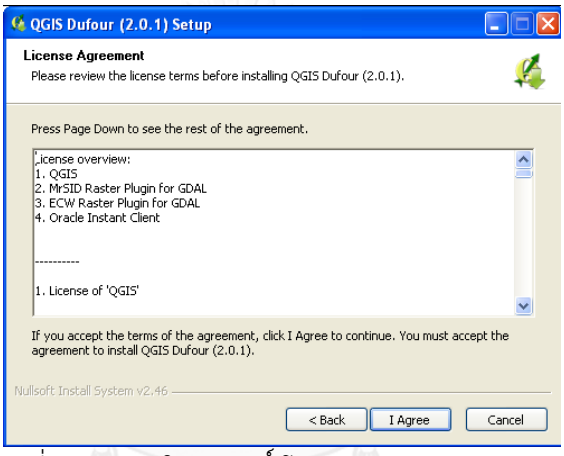
รูปที่ ก.2 หน้าเวบดาวน์โหลดโปรแกรม Quantum GIS

ก.2.2 หลังจากดาวน์โหลด ให้ดับเบิ้ลคลิกไฟล์ เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม จากนั้นคลิก Next



รูปที่ ก.3 ขบวนการติดตั้งโปรแกรม Quantum GIS

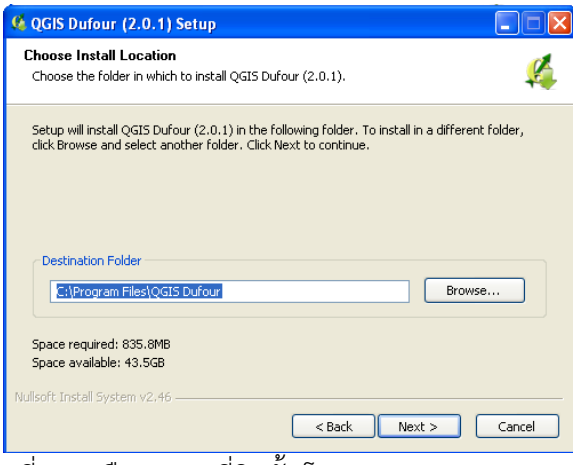
ก.2.3 คลิก I Agree เพื่อยอมรับลิขสิทธิ์ของโปรแกรม (license Agreement) คลิก I Agree



รูปที่ ก.4 ตกลงในลิขสิทธิ์ โปรแกรม Quantum GIS

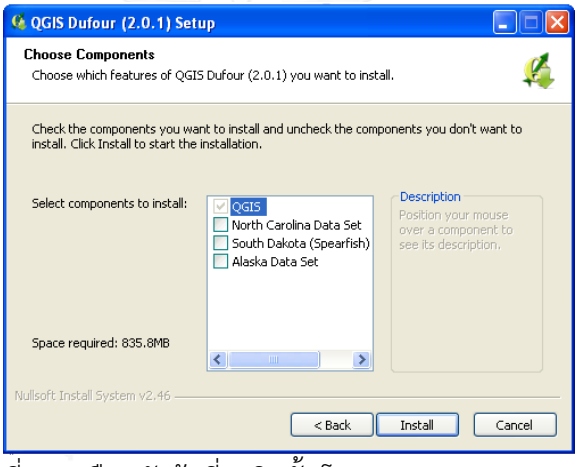
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.2.4 เลือกสถานที่การติดตั้งโปรแกรม จากนั้นคลิก Next



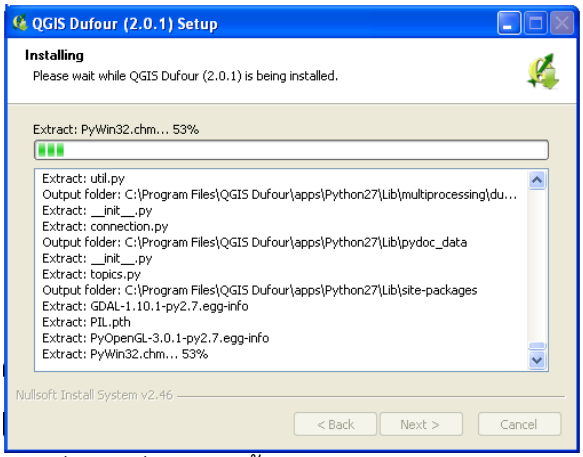
รูปที่ ก.5 เลือกสถานที่ติดตั้ง โปรแกรม Quantum GIS

ก.2.5 เลือกหัวข้อที่จะติดตั้ง จากนั้นคลิก Install



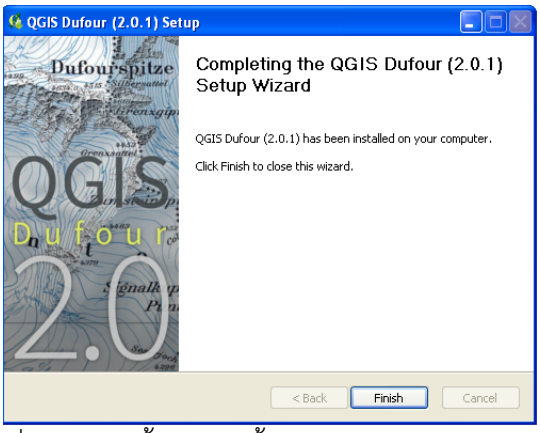
รูปที่ ก.6 เลือกหัวข้อที่จะติดตั้ง โปรแกรม Quantum GIS

ก.2.6 จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มการติดตั้งโปรแกรม Quantum GIS รอสักครู่



รูปที่ ก.7 เริ่มการติดตั้ง โปรแกรม Quantum GIS

ก.2.7 เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมเสร็จให้คลิกปุ่ม Finish



รูปที่ ก.8 เสร็จสิ้นการติดตั้ง โปรแกรม Quantum GIS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

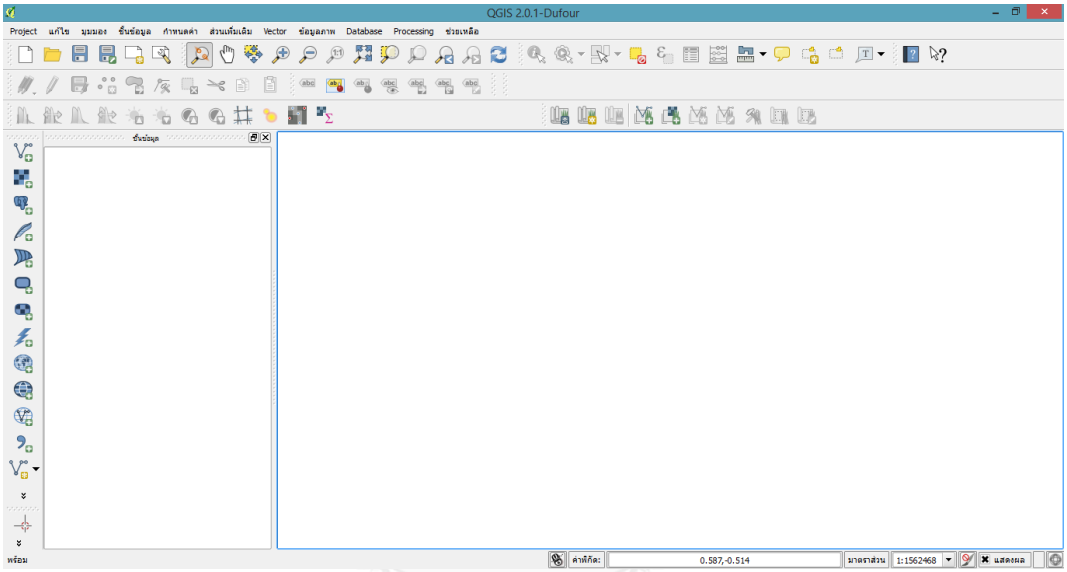
ภาคผนวก ข

การประเมินพื้นที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.1 เปิดโปรแกรม Quantum GIS ดับเบิลคลิก ไอคอน Q GIS Desktop ดังรูปที่ ข-1และจะได้หน้าต่างการใช้งานโปรแกรมดังรูป ข.2

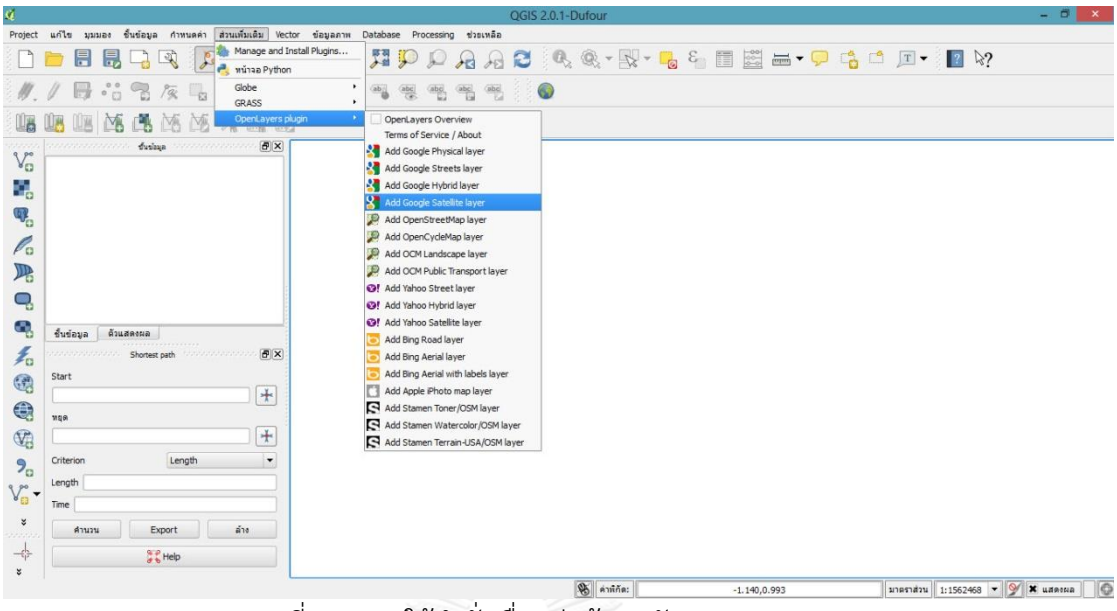
รูปที่ ข.1 ไอคอน โปรแกรม Quantum GIS



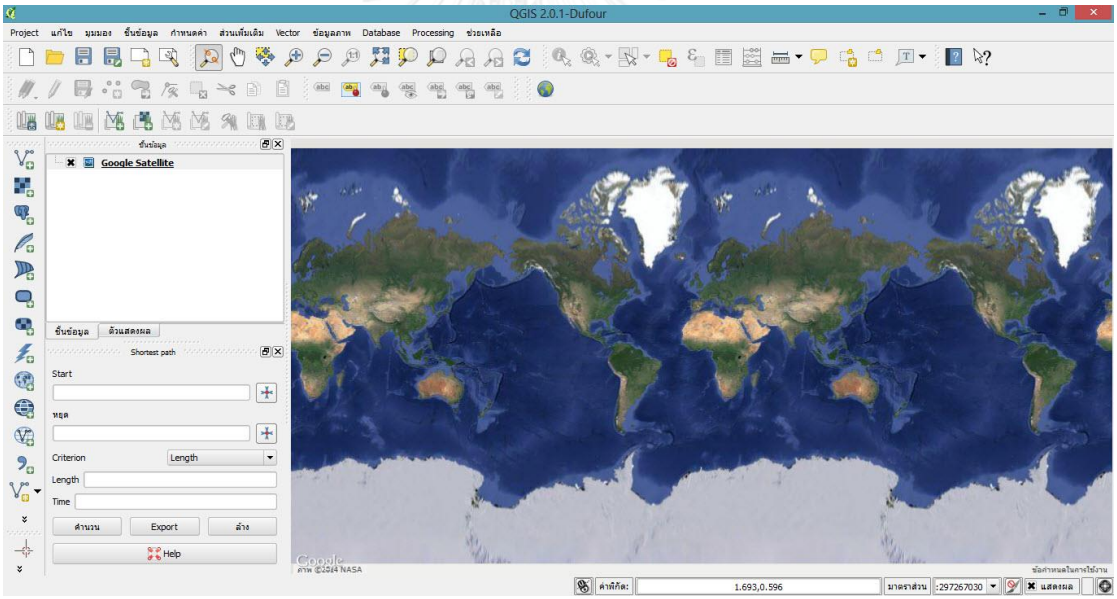
รูปที่ ข.2 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.2 คลิก ส่วนเพิ่มเติม / OpenLayers Plugin / Add google Satellite layer บนเมนูบาร์บาร์เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลกับ Google Earth ดังรูปที่ ข.3 และได้ดังรูปที่ ข.4

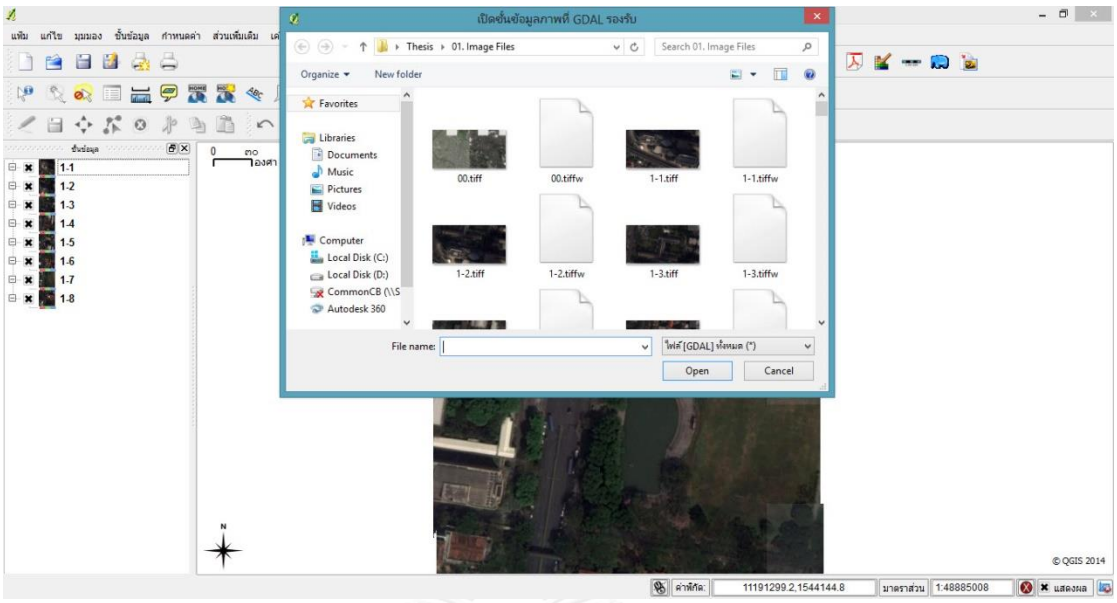


รูปที่ ข.3 การใช้คำสั่งเชื่อมต่อข้อมูลกับ Google Earth

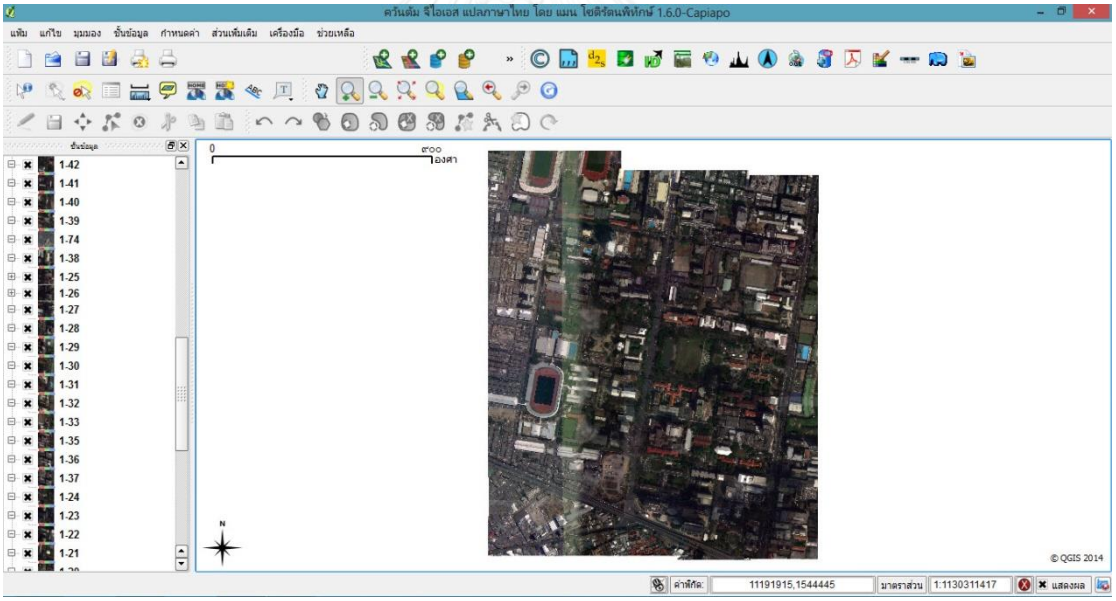


รูปที่ ข.4 ผลการเชื่อมต่อข้อมูลกับ Google Earth

ข.3 นำเข้าข้อมูลภาพพื้นที่ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้กำหนดค่าพิกัดแล้วจากฐานข้อมูล Google Earth จำนวน 76 ข้อมูลภาพ เข้าสู่โปรแกรม QGIS เพื่อสร้างภาพพื้นที่ภาพที่ดำเนินการศึกษา ดังรูปที่ ข.5 จะได้ดังรูปที่ ข.6

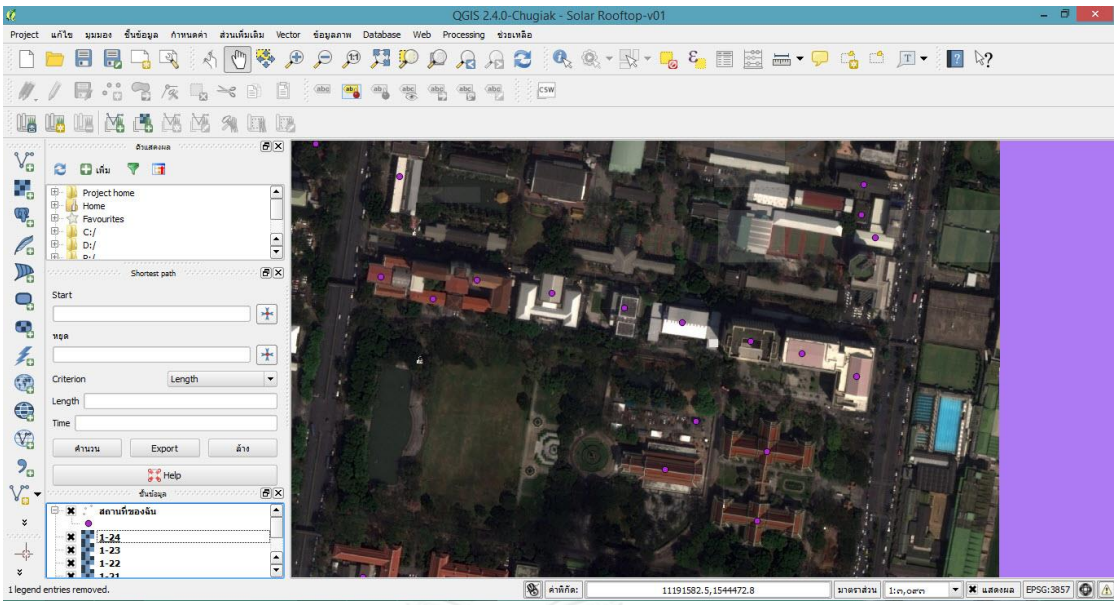


รูปที่ ข.5 วิธีการนำเข้าข้อมูลภาพ

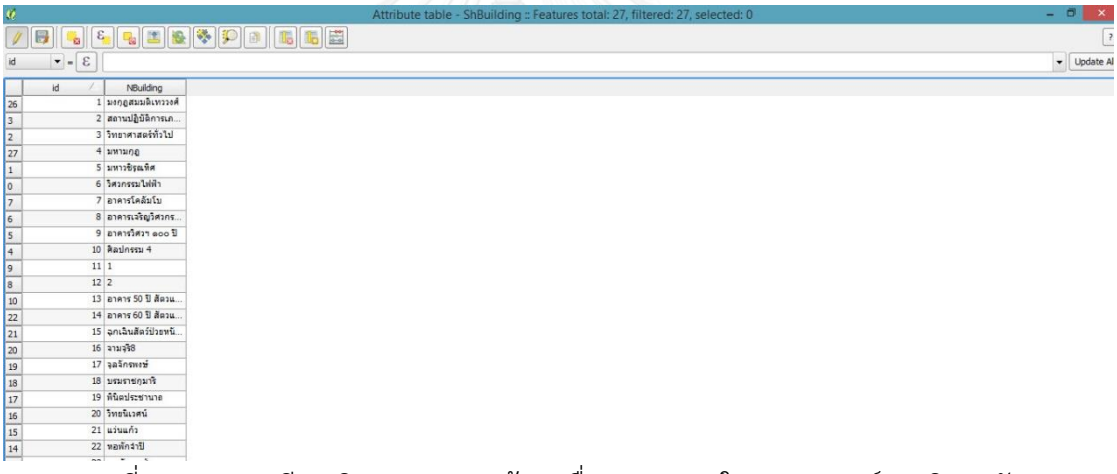


รูปที่ ข.6 ผลการนำเข้าข้อมูลภาพ

ข.4 กำหนดรายละเอียด ชื่ออาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ข้อมูลในรูปแบบจุด ดังรูปที่ ข.7 และแสดงลักษณะรายละเอียดข้อมูลเชิงบรรยายในรูปที ข.8

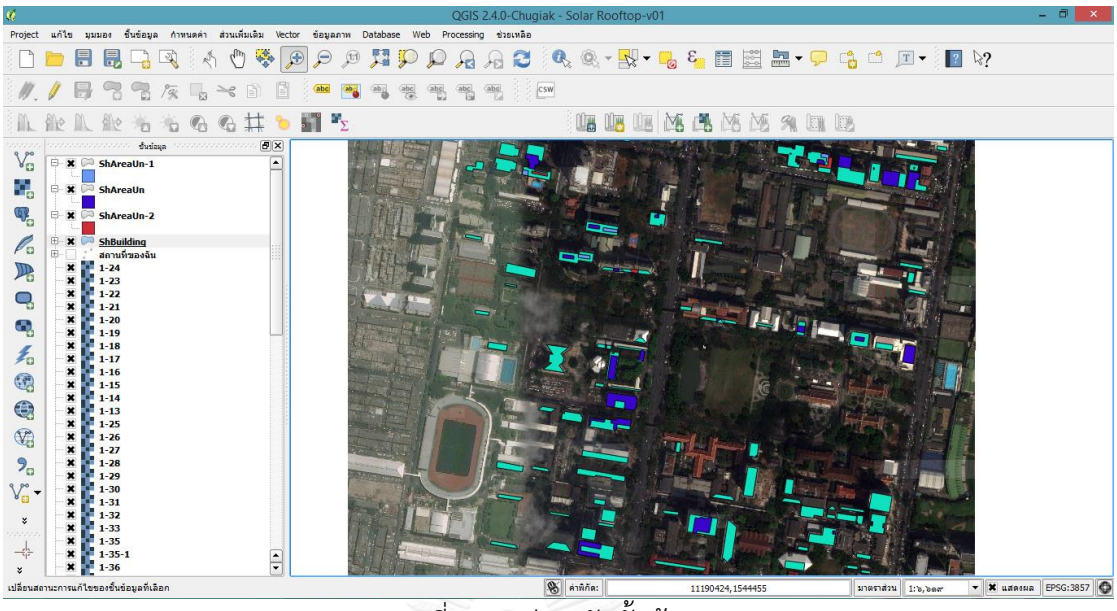


รูปที่ ข.7 รายละเอียดข้อมูล ชื่ออาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในรูปแบบจุด



รูปที่ ข.8 รายละเอียดเชิงบรรยายของข้อมูลชื่ออาคารภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.5 หลังจากกำหนดชื่อพื้นที่ภายในอาคารแล้ว เริ่มสร้างข้อมูลเชิงรูปปิดของแต่ละอาคาร เช่น พื้นที่ทั้งหมดของอาคาร พื้นที่หลังคา พื้นที่ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ พื้นที่ระบบโทรคมนาคมต่างๆ เป็นต้น โดยแบ่งเป็นระบบชั้นข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 แบ่งระดับชั้นข้อมูล

ข.6 สามารถใช้โปรแกรม QGIS คำนวณพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้จริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-1 คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
1	คณะครุศาสตร์	อาคารพูนทรัพย์ นพวงศ์ ณ อยุธยา	√	√		√	
2	คณะครุศาสตร์	เฉลิมพระเกียรติพระมิ่งขวัญการศึกษาไทย	√	√		√	
3	คณะครุศาสตร์	ครุศาสตร์3	√	√	√	√	√
4	คณะครุศาสตร์	ครุศาสตร์4	√	√		√	
5	คณะครุศาสตร์	ครุศาสตร์6					
6	คณะครุศาสตร์	ครุศาสตร์ศิลปศึกษา					
7	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	ทันตกรรม 1	√	√		√	
8	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	ทันตรักษ์วิจัย	√	√		√	
9	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	ทันตกรรม 5	√		√		
10	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	อาคารวาจวิทยาวัฒน์					
11	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	พรีคลินิก	√	√	√	√	
12	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	สมเด็จย่า 93					
13	คณะทันตแพทย์ศาสตร์	ทันตแพทยศาสตร์เฉลิมนวมราช 80	√	√		√	
14	คณะนิติศาสตร์	เทพทวาราวดี	√	√	√	√	√
15	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	อาคาร 60 ปี สัตวแพทยศาสตร์	√	√	√		
16	คณะนิเทศศาสตร์	นิเทศศาสตร์1	√	√		√	
17	คณะนิเทศศาสตร์	นิเทศศาสตร์2	√	√		√	
18	คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	ไชยยศสมบัติ	√				
19	คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	ครุภัณฑ์	√	√		√	
20	คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	อาคารบัณฑิต กันตะบุตร	√	√		√	
21	คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี	อนุสรณ์ 50 ปี	√				

ตารางที่ ค-1 คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารดาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
22	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุลจักรพงษ์	√	√	√		
23	คณะเภสัชศาสตร์	ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาเภสัชภัณฑ์ และสมุนไพร	√	√		√	
24	คณะเภสัชศาสตร์	อาคาร 80 ปีเภสัชศาสตร์	√	√		√	
25	คณะเภสัชศาสตร์	เภสัชศาสตร์	√	√		√	
26	คณะเภสัชศาสตร์	โรงพักสัตว์ทดลอง	√	√		√	
27	คณะรัฐศาสตร์	สำราญราษฎร์บริรักษ์	√				
28	คณะรัฐศาสตร์	วรภักดิ์พิบูลย์	√				
29	คณะรัฐศาสตร์	อาคารเกษมอุทยานิน	X				
30	คณะรัฐศาสตร์	กิจกรรมนิสิต	√	√		√	
31	คณะรัฐศาสตร์	โรงอาหาร	√	√		√	
32	คณะวิทยาศาสตร์	ชีววิทยา 1 และเคมี 2	√				
33	คณะวิทยาศาสตร์	ฟิสิกส์	√	√		√	
34	คณะวิทยาศาสตร์	เทคโนโลยีทางอาหาร	X				
35	คณะวิทยาศาสตร์	เคมีเทคนิค	√	√		√	
36	คณะวิทยาศาสตร์	ธรณีวิทยาและพฤษศาสตร์	√	√		√	
37	สถาบัน	มหาธีรราชานุสรณ์	√	√	√		√
38	คณะวิทยาศาสตร์	อาคารคลุ้ม วัชโรบล		√			
39	คณะวิทยาศาสตร์	เพาะชำ					
40	คณะวิทยาศาสตร์	โรงงานภาควิชาฟิสิกส์					
41	คณะวิทยาศาสตร์	โรงเลี้ยงลิง					
42	คณะวิทยาศาสตร์	โรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ					
43	คณะวิทยาศาสตร์	อาคารแถบ นีละนิธิ	√			√	
44	คณะวิทยาศาสตร์	โรงประลองไร้เสียงสะท้อน	√	√		√	
45	คณะวิทยาศาสตร์	ปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ ทางภาพถ่ายและวัสดุศาสตร์		√			
46	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารวิศวฯ ๑๐๐ ปี	√	√	√		
47	คณะวิทยาศาสตร์	วิจัยและตรวจสอบอัญมณี		√	√		
48	สถาบัน	ศศปาฐศาลา	√	√	√	√	

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
49	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	จุฬาพัฒน์7	√			√	
50	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	จุฬาพัฒน์8					
51	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	จุฬาพัฒน์11					
52	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	จุฬาพัฒน์12					
53	คณะวิศวกรรมศาสตร์	วิศวกรรมศาสตร์ 1	√				
54	คณะวิศวกรรมศาสตร์	วิศวกรรมศาสตร์ 2	√				
55	คณะวิศวกรรมศาสตร์	วิศวกรรมศาสตร์ 3	√				
56	คณะวิศวกรรมศาสตร์	โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์					
57	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ห้องน้ำนิสิตชายและหญิง					
58	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารฮันส์ บันตลิ	√	√		√	
59	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารสลับ ลดาวัลย์	√	√		√	
60	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารปฏิบัติการเจริญ วิศวกรรม	√	√		√	
61	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารชาร์ลเอมสัน เกเวอรด	√	√		√	
62	คณะวิศวกรรมศาสตร์	วิศวกรรมไฟฟ้า	√		√		
63	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ที่พักอาจารย์					
64	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอมพิวเตอร์					
65	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ทดลองเครื่องกลไฟฟ้า					
66	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ศัลวิธานนิเทศ	√	√		√	
67	คณะวิทยาศาสตร์	มหาวชิรุณหิศ	√	√	√		
68	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่	√	√		√	
69	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	√	√		√	
70	คณะวิศวกรรมศาสตร์	นิวเคลียร์เทคโนโลยี วิศวกรรมเคมีและวิศวกรรมโลหการ	√	√		√	

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
71	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีและวิศวกรรมสถาน					
72	คณะวิทยาศาสตร์	มหามกุฎ	√	√	√		
73	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม	X				
74	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม	√	√	√	√	
75	สำนักงานมหาวิทยาลัย	วิทยนิเวศน์	√	√	√		
76	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารอรุณ สรเทศน์ (สมาคมนิสิตเก่าวิศวฯ)	√				
77	คณะศิลปกรรมศาสตร์	ศิลปกรรม 1	√				
78	คณะศิลปกรรมศาสตร์	ศิลปกรรม 3	√	√		√	
79	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารเจริญวิศวกรรม (ตึก 4)	√	√	√		
80	คณะเศรษฐศาสตร์	เศรษฐศาสตร์	√	√		√	
81	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	อาคารสถาปัตยกรรม 1	√	√		√	
82	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	อาคารสถาปัตยกรรม 2	√	√		√	
83	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	อาคารเลิศ อุรัสยะนันทน์	X				
84	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	อาคารโวฒยากร	√	√		√	
85	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	อาคารนารถ โพธิประสาท	√				
86	คณะสหเวชศาสตร์	จุฬาพัฒน์1	√	√		√	
87	คณะสหเวชศาสตร์	จุฬาพัฒน์6	√	√		√	
88	คณะสหเวชศาสตร์	จุฬาพัฒน์3	√	√		√	
89	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	สัตวแพทย์ 1	X				
90	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	พยาธิวิทยา 2	√		√		
91	สำนักงานมหาวิทยาลัย	หอพักพุดซ้อน	√	√	√		
92	สถาบัน	วิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	√	√	√		√

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารดาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
93	สำนักงานมหาวิทยาลัย	บรมราชกุมารี	√	√	√		
94	สำนักงานมหาวิทยาลัย	หอพักจำปี	√	√	√		
95	สถาบัน	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี	√	√	√		√
96	คณะอักษรศาสตร์	มหาวชิราวุธ	√				
97	คณะอักษรศาสตร์	มหาจักรีสิรินธร	√	√		√	
98	สำนักงานมหาวิทยาลัย	คลังเก็บเอกสาร			√		
99	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จักรพงษ์		√			
101	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี1	√	√		√	
102	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี2	√	√		√	
103	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี3	√	√	√	√	
104	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี4	√				
105	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี5	√	√	√	√	
106	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี8	√	√	√		√
107	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี9	√				
108	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จามจุรี10					
109	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	√	√	√		√
110	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬานฤมิต		√			
111	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬานิวาสน์1	√	√		√	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
112	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬานิเวศน์1	√	√		√	
113	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬานิเวศน์3					
114	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์2	√	√		√	
115	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์4	√	√		√	
116	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์5					
117	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์9	√				
118	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์10	√				
119	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์11					
120	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาพัฒน์13	√				
121	สำนักงานมหาวิทยาลัย	จุฬาวิชช์1	√	√		√	
122	สำนักงานมหาวิทยาลัย	ธรรมสถาน	√	√		√	
123	คณะนิเทศศาสตร์	มงกุฎสมมติเทววงศ์	√	√	√		
124	สำนักงานมหาวิทยาลัย	บรมราชชนนีศรีศตพรรษ	√	√	√	√	
125	สำนักงานมหาวิทยาลัย	เปรมบุรฉัตร	√	√		√	
126	สำนักงานมหาวิทยาลัย	พินิตประชานาถ	√	√	√		√
127	สำนักงานมหาวิทยาลัย	พิพิทธภัณฑ์มหาวิทยาลัย	√	√		√	
128	สำนักงานมหาวิทยาลัย	มหาจุฬาลงกรณ์	√				
129	สำนักงานมหาวิทยาลัย	มหิตลาธิเบศร	√				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
130	สำนักงานมหาวิทยาลัย	ยานยนต์					
131	สำนักงานมหาวิทยาลัย	เรือนเพาะชำ					
132	สำนักงานมหาวิทยาลัย	เรือนภะรตราชา		√			
133	สำนักงานมหาวิทยาลัย	เรือนอนุสาสก		√			
134	สำนักงานมหาวิทยาลัย	โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(จามจุรี7)					
135	สำนักงานมหาวิทยาลัย	โรงอาหารสำนักงานมหาวิทยาลัย	√	√		√	
136	สถาบัน	อาคารวิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ	√	√	√		
137	สำนักงานมหาวิทยาลัย	วิทยพัฒนา	√		√	√	
138	คณะเภสัชศาสตร์	สถานปฏิบัติการเภสัชกรรมชุมชน (โอสถศาลา)	√	√	√		
139	สำนักงานมหาวิทยาลัย	ศาลาพระเกี้ยว		√			
140	สำนักงานมหาวิทยาลัย	ศิลปวัฒนธรรม	√	√		√	
141	สำนักงานมหาวิทยาลัย	ศูนย์กีฬาและนันทนาการ		√			
142	สำนักงานมหาวิทยาลัย	ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรม3(เรือนไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)		√			
143	สำนักงานมหาวิทยาลัย	สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		√			
144	สำนักงานมหาวิทยาลัย	สนามกีฬาในร่ม					
145	สำนักงานมหาวิทยาลัย	สนามกีฬาในร่ม2	√	√		√	
146	สำนักงานมหาวิทยาลัย	สโมสรสนามเทนนิส					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
147	สำนักงานมหาวิทยาลัย	สำนักงานจัดการทรัพย์สิน(จามจุรี6)	√	√		√	
148	สำนักงานมหาวิทยาลัย	หอพักจำปา					
149	คณะวิทยาศาสตร์	วิทยาศาสตร์ทั่วไป	√	√	√		
150	สำนักงานมหาวิทยาลัย	แว่นแก้ว	√	√	√		
151	สำนักงานมหาวิทยาลัย	หอพักพุดตาน			√		
152	สำนักงานมหาวิทยาลัย	หอพักนิสิตหลังใหม่	√	√		√	
153	สำนักงานมหาวิทยาลัย	อาคารควบคุมหอประชุม					
154	สำนักงานมหาวิทยาลัย	หอประชุมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	√				
155	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	อาคารเรียน 1	√			√	
156	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	อาคารเรียน 2	√			√	
157	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	บริหารและปฏิบัติการ	√	√		√	
158	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	อาคารเรียน 3	√	√		√	
159	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	อาคาร 36 ปี สาธิตจุฬาลงกรณ์	√	√		√	
160	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	โรงซ่อมและห้องเก็บของ					
161	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายประถม	อาคาร 50 ปี สาธิตจุฬาลงกรณ์	√		√	√	
162	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	พลศึกษา					
163	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	อาคารเรียนมัธยมต้น	√			√	
164	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	อาคารเรียนมัธยมปลายและห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) คัดเลือกอาคารในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	หน่วยงาน	อาคาร	อาคารหันด้านทิศใต้	รูปแบบอาคาร	อาคารตาดฟ้า	อาคารหลังคา	การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า
166	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	ศูนย์เทคโนโลยี	√	√		√	
166	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	ศูนย์เทคโนโลยี	√	√		√	
167	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	การงาน	√			√	
168	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	บริหาร	√	√		√	
169	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	อเนกประสงค์	√	√		√	
170	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	รัชพร		√			
171	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	หน่วยอาคาร					
172	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ ฝ่ายมัธยม	ร้านอาหาร					
173	สถาบัน	บัณฑิตวิทยาลัย	√	√		√	
174	สถาบัน	ประชาธิปก-รำไพพรรณี	√	√		√	
175	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์	√	√	√		√
176	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	อาคาร 50 ปี สัตวแพทยศาสตร์	√	√	√		
177	คณะศิลปกรรมศาสตร์	ศิลปกรรม 4	√	√	√		
178	สถาบัน	ศศนิเวศ					
179	คณะสัตวแพทย์ศาสตร์	ฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา	√	√	√		√
180	สถาบัน	ศศพล					
181	สถาบัน	สถาบัน2	√	√	√	√	
182	สถาบัน	สถาบัน3	√	√	√	√	
183	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคารโคลัมโบ	√	√	√		

ภาคผนวก ง

Specific Solar Panel

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

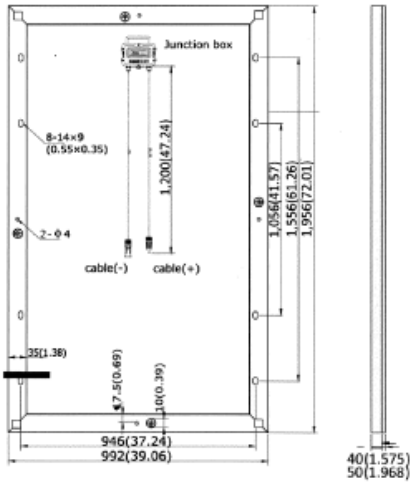
STM6-XXX/72 Series

STM6-315W, STM6-310W, STM6-305W, STM6-300W, STM6-295W

Electrical Characteristics

Module Type	Unit	STM6-315/72	STM6-310/72	STM6-305/72	STM6-300/72	STM6-295/72
Rated Power at STC (Pmp)	W	315	310	305	300	295
Power Tolerance	W	(-3%, +3%)	(0, +5)	(0, +5)	(0, +5)	(0, +5)
Power Maximum at STC	W	315	315	310	305	300
Cell Efficiency (ηc)	%	18.9-19.2	18.6-18.9	18.3-18.6	18.0-18.3	17.7-18.0
Minimum Module Efficiency (ηm)	%	16.1-16.3	15.9-16.1	15.7-15.9	15.5-15.7	15.2-15.5
Open Circuit Voltage (Voc)	V	45.4	45.3	45.2	45.1	45.0
Short Circuit Current (Isc)	A	9.13	9.01	8.93	8.80	8.68
Maximum Power Voltage (Vmp)	V	36.7	36.6	36.5	36.4	36.3
Maximum Power Current (Imp)	A	8.61	8.48	8.36	8.24	8.13
Maximum System Voltage	V	1000 (TUV), 600 (UL)				
Maximum Series Fuse Rating	A	15				

STC: Irradiance 1000W/m², module temperature 25℃, AM=1.5;



- All Dimensions in mm (inch)
- The above drawing is a graphical representation of the product. For engineering quality drawings please contact **SCHUTTEN**

Temperature Characteristics

Pmax Temperature Coefficient	%/℃	-0.45
Voc Temperature Coefficient	%/℃	-0.35
Isc Temperature Coefficient	%/℃	+0.04
Operating Temperature	℃	-40 ~ +85
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	℃	45±2

Mechanical Specifications

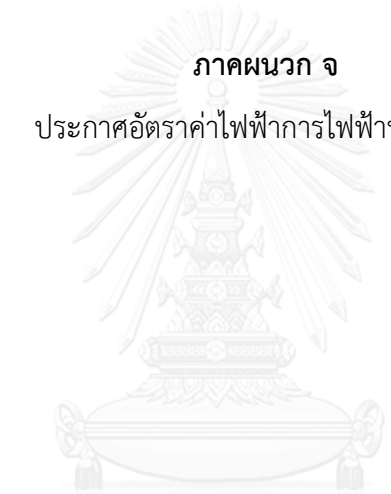
External Dimensions	1956 × 992 × 40 mm
Weight	24kg
Solar Cells	Monocrystalline 156 × 156mm (72pcs)
Front glass	3.2 mm tempered glass, low iron
Frame	Anodized/ Electrophoretic aluminum aloy
Junction Box	IP65 /IP67
Output Cables	4.0 mm², symmetrical lengths 900mm
Connector	MC4 Compatible
Maximum Snow Load	550kg/m²
Maximum Wind Load	200km/h
Hailstone Impact Test	80km/h for 25mm ice ball

รูปที่ ง.1 Specific Solar Panel

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ

ประกาศอัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้านครหลวง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

อัตรารายเดือน

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
4.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
4.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	3.6796	2.1760	312.24
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	3.8254	2.2092	312.24

On Peak : เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

Off Peak : เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ

วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On Peak ในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในอัตราข้อ 4.1 ซึ่งใช้ไฟฟ้าก่อนเดือนตุลาคม 2543 จะยังคงถูกจัดอยู่ในอัตราข้อ 4.1 สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดเข้าอยู่ในอัตราข้อ 4.2 ในเดือนถัดไป หลังจากเดือนที่ติดตั้งเครื่องวัดฯ TOU แล้ว
2. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 4.1 สามารถเลือกใช้อัตราข้อ 4.2 ได้ โดยต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวง และชำระค่าเครื่องวัดฯ TOU ก่อน ทั้งนี้หากเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมไม่ได้
3. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2
4. ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

ภาคผนวก ฉ
การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์แต่ละอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฉ.1 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารครุศาสตร์3

การวิเคราะห์ อาคาร ครุศาสตร์3 มีศักยภาพในการติดตั้ง 9.6 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.1

ตารางที่ ฉ.1 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารครุศาสตร์3

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	31	288,300.00
2	Grid Tie Inverter SMA 10 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	108,000.00	1	108,000.00
3	Balance of System (ชุด)	71,200.00	1	71,200.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)	13,000.00	1	13,000.00
			รวม	480,500.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 368,008.67 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.2

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 19 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.2 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารครุศาสตร์3

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar - Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	480,500.00	-							-480,500.00	- 480,500.00	- 480,500.00
1	-	4,805.00	15,293.35	56,502.030	8.38	13,367.31	69,869.34	74,760.20	69,955.20	65,330.39	67,917.67
2	-	4,805.00	15,216.89	58,187.203	8.38	13,367.31	71,554.52	76,563.33	71,758.33	62,583.94	67,639.11
3	-	4,805.00	15,140.80	59,922.637	8.38	13,367.31	73,289.95	78,420.25	73,615.25	59,958.90	67,368.38
4	-	4,805.00	15,065.10	61,709.829	8.38	13,367.31	75,077.14	80,332.54	75,527.54	57,449.53	67,105.24
5	-	4,805.00	14,989.77	63,550.325	8.38	13,367.31	76,917.64	82,301.87	77,496.87	55,050.42	66,849.48
6	-	4,805.00	14,914.82	65,445.714	8.38	13,367.31	78,813.03	84,329.94	79,524.94	52,756.39	66,600.88
7	-	4,805.00	14,840.25	67,397.632	8.38	13,367.31	80,764.95	86,418.49	81,613.49	50,562.55	66,359.24
8	-	4,805.00	14,766.05	69,407.766	8.38	13,367.31	82,775.08	88,569.34	83,764.34	48,464.24	66,124.34
9	-	4,805.00	14,692.22	71,477.853	8.38	13,367.31	84,845.17	90,784.33	85,979.33	46,457.05	65,896.00
10	-	4,805.00	14,618.76	73,609.680	8.38	13,367.31	86,976.99	93,065.38	88,260.38	44,536.77	65,674.01
11	-	112,805.00	14,545.66	75,805.089	8.38	13,367.31	89,172.40	95,414.47	- 17,390.53	- 8,195.23	- 12,563.29
12	-	4,805.00	14,472.94	78,065.975	8.38	13,367.31	91,433.29	97,833.62	93,028.62	40,941.15	65,248.40
13	-	4,805.00	14,400.57	80,394.293	8.38	13,367.31	93,761.61	100,324.92	95,519.92	39,258.41	65,044.42
14	-	4,805.00	14,328.57	82,792.053	8.38	13,367.31	96,159.37	102,890.52	98,085.52	37,647.74	64,846.08
15	-	4,805.00	14,256.93	85,261.326	8.38	13,367.31	98,628.64	105,532.64	100,727.64	36,105.88	64,653.24
16	-	4,805.00	14,185.64	87,804.245	8.38	13,367.31	101,171.56	108,253.57	103,448.57	34,629.73	64,465.73
17	-	4,805.00	14,114.71	90,423.007	8.38	13,367.31	103,790.32	111,055.64	106,250.64	33,216.32	64,283.39
18	-	4,805.00	14,044.14	93,119.873	8.38	13,367.31	106,487.19	113,941.29	109,136.29	31,862.83	64,106.07
19	-	4,805.00	13,973.92	95,897.173	8.38	13,367.31	109,264.49	116,913.00	112,108.00	30,566.60	63,933.63
20	-	4,805.00	13,904.05	98,757.306	8.38	13,367.31	112,124.62	119,973.34	115,168.34	29,325.06	63,765.92
									NPV	368,008.67	754,817.94

ฉ.2 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารเทพทวาราวดี

การวิเคราะห์ อาคาร เทพทวาราวดีมีศักยภาพในการติดตั้ง 37.8 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.3

ตารางที่ ฉ.3 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารเทพทวาราวดี

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	122	1,134,600.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	2	350,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	393,400.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000
			รวม	1,891,000.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 1,483,650.88 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.4

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.4 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารเทพทวาราวดี

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	1,891,000.00	-							- 1,891,000.00	- 1,891,000.00	- 1,891,000.00
1	-	18,910.00	60,186.75	222,362.829	32.98	52,606.85	274,969.67	294,217.55	275,307.55	257,106.71	267,288.89
2	-	18,910.00	59,885.81	228,994.801	32.98	52,606.85	281,601.65	301,313.76	282,403.76	246,298.09	266,192.63
3	-	18,910.00	59,586.39	235,824.571	32.98	52,606.85	288,431.42	308,621.62	289,711.62	235,967.27	265,127.17
4	-	18,910.00	59,288.45	242,858.039	32.98	52,606.85	295,464.88	316,147.43	297,237.43	226,091.71	264,091.60
5	-	18,910.00	58,992.01	250,101.280	32.98	52,606.85	302,708.13	323,897.69	304,987.69	216,650.03	263,085.06
6	-	18,910.00	58,697.05	257,560.550	32.98	52,606.85	310,167.40	331,879.11	312,969.11	207,621.92	262,106.71
7	-	18,910.00	58,403.57	265,242.294	32.98	52,606.85	317,849.14	340,098.58	321,188.58	198,988.10	261,155.71
8	-	18,910.00	58,111.55	273,153.145	32.98	52,606.85	325,759.99	348,563.19	329,653.19	190,730.25	260,231.27
9	-	18,910.00	57,820.99	281,299.938	32.98	52,606.85	333,906.78	357,280.26	338,370.26	182,830.97	259,332.63
10	-	18,910.00	57,531.89	289,689.708	32.98	52,606.85	342,296.55	366,257.31	347,347.31	175,273.73	258,459.02
11	-	368,910.00	57,244.23	298,329.704	32.98	52,606.85	350,936.55	375,502.11	6,592.11	3,106.51	4,762.28
12	-	18,910.00	56,958.00	307,227.387	32.98	52,606.85	359,834.23	385,022.63	366,112.63	161,123.23	256,784.03
13	-	18,910.00	56,673.21	316,390.444	32.98	52,606.85	368,997.29	394,827.10	375,917.10	154,500.83	255,981.25
14	-	18,910.00	56,389.85	325,826.789	32.98	52,606.85	378,433.63	404,923.99	386,013.99	148,162.08	255,200.72
15	-	18,910.00	56,107.90	335,544.573	32.98	52,606.85	388,151.42	415,322.02	396,412.02	142,094.13	254,441.79
16	-	18,910.00	55,827.36	345,552.190	32.98	52,606.85	398,159.04	426,030.17	407,120.17	136,284.74	253,703.83
17	-	18,910.00	55,548.22	355,858.284	32.98	52,606.85	408,465.13	437,057.69	418,147.69	130,722.27	252,986.23
18	-	18,910.00	55,270.48	366,471.757	32.98	52,606.85	419,078.60	448,414.10	429,504.10	125,395.66	252,288.40
19	-	18,910.00	54,994.13	377,401.777	32.98	52,606.85	430,008.62	460,109.23	441,199.23	120,294.34	251,609.75
20	-	18,910.00	54,719.16	388,657.785	32.98	52,606.85	441,264.63	472,153.16	453,243.16	115,408.29	250,949.75
									NPV	1,483,650.88	3,024,778.71

ฉ.3 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารมหาธีรราชานุสรณ์

การวิเคราะห์ อาคารมหาธีรราชานุสรณ์ มีศักยภาพในการติดตั้ง155 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.5

ตารางที่ ฉ.5 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารมหาธีรราชานุสรณ์

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	503	4,677,900.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	8	1,400,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	1,705,600.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000
			รวม	7,796,500.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 6,137,298.65 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.6

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.6 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารมหาธีรราชานุสรณ์

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	7,796,500.00	-							- 7,796,500.00	- 7,796,500.00	- 7,796,500.00
1	-	77,965.00	248,147.00	916,791.010	135.97	216,895.44	1,133,686.45	1,213,044.50	1,135,079.50	1,060,038.32	1,102,018.93
2	-	77,965.00	246,906.27	944,134.302	135.97	216,895.44	1,161,029.74	1,242,301.82	1,164,336.82	1,015,474.93	1,097,499.12
3	-	77,965.00	245,671.74	972,293.107	135.97	216,895.44	1,189,188.54	1,272,431.74	1,194,466.74	972,881.46	1,093,106.28
4	-	77,965.00	244,443.38	1,001,291.749	135.97	216,895.44	1,218,187.19	1,303,460.29	1,225,495.29	932,165.01	1,088,836.69
5	-	77,965.00	243,221.16	1,031,155.276	135.97	216,895.44	1,248,050.71	1,335,414.26	1,257,449.26	893,237.42	1,084,686.78
6	-	77,965.00	242,005.05	1,061,909.482	135.97	216,895.44	1,278,804.92	1,368,321.26	1,290,356.26	856,014.97	1,080,653.06
7	-	77,965.00	240,795.03	1,093,580.932	135.97	216,895.44	1,310,476.37	1,402,209.71	1,324,244.71	820,418.15	1,076,732.14
8	-	77,965.00	239,591.05	1,126,196.983	135.97	216,895.44	1,343,092.42	1,437,108.89	1,359,143.89	786,371.45	1,072,920.74
9	-	77,965.00	238,393.10	1,159,785.808	135.97	216,895.44	1,376,681.24	1,473,048.93	1,395,083.93	753,803.11	1,069,215.67
10	-	77,965.00	237,201.13	1,194,376.420	135.97	216,895.44	1,411,271.86	1,510,060.89	1,432,095.89	722,644.95	1,065,613.83
11	-	1,477,965.00	236,015.13	1,229,998.697	135.97	216,895.44	1,446,894.13	1,548,176.72	70,211.72	33,087.03	50,722.44
12	-	77,965.00	234,835.05	1,266,683.408	135.97	216,895.44	1,483,578.84	1,587,429.36	1,509,464.36	664,303.16	1,058,707.93
13	-	77,965.00	233,660.88	1,304,462.241	135.97	216,895.44	1,521,357.68	1,627,852.71	1,549,887.71	636,999.33	1,055,398.12
14	-	77,965.00	232,492.57	1,343,367.827	135.97	216,895.44	1,560,263.26	1,669,481.69	1,591,516.69	610,864.98	1,052,180.02
15	-	77,965.00	231,330.11	1,383,433.772	135.97	216,895.44	1,600,329.21	1,712,352.25	1,634,387.25	585,847.10	1,049,050.99
16	-	77,965.00	230,173.46	1,424,694.685	135.97	216,895.44	1,641,590.12	1,756,501.43	1,678,536.43	561,895.27	1,046,008.41
17	-	77,965.00	229,022.59	1,467,186.204	135.97	216,895.44	1,684,081.64	1,801,967.36	1,724,002.36	538,961.50	1,043,049.78
18	-	77,965.00	227,877.48	1,510,945.032	135.97	216,895.44	1,727,840.47	1,848,789.30	1,770,824.30	517,000.13	1,040,172.65
19	-	77,965.00	226,738.09	1,556,008.968	135.97	216,895.44	1,772,904.40	1,897,007.71	1,819,042.71	495,967.67	1,037,374.64
20	-	77,965.00	225,604.40	1,602,416.935	135.97	216,895.44	1,819,312.37	1,946,664.24	1,868,699.24	475,822.71	1,034,653.46
									NPV	6,137,298.65	12,502,101.67

ฉ.4 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีศักยภาพในการติดตั้ง120 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.7

ตารางที่ ฉ.7 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	388	3,608,400.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	6	1,050,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	1,342,600.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	6,014,000.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 4,748,238.84 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.8

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.8 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	6,014,000.00	-							- 6,014,000.00	- 6,014,000.00	- 6,014,000.00
1	-	60,140.00	191,413.59	707,186.703	104.88	167,307.02	874,493.72	935,708.28	875,568.28	817,683.64	850,066.29
2	-	60,140.00	190,456.52	728,278.547	104.88	167,307.02	895,585.56	958,276.55	898,136.55	783,308.70	846,579.84
3	-	60,140.00	189,504.24	749,999.455	104.88	167,307.02	917,306.47	981,517.92	921,377.92	750,453.29	843,191.32
4	-	60,140.00	188,556.72	772,368.188	104.88	167,307.02	939,675.20	1,005,452.47	945,312.47	719,045.77	839,897.89
5	-	60,140.00	187,613.94	795,404.070	104.88	167,307.02	962,711.09	1,030,100.86	969,960.86	689,018.13	836,696.76
6	-	60,140.00	186,675.87	819,126.996	104.88	167,307.02	986,434.01	1,055,484.39	995,344.39	660,305.78	833,585.26
7	-	60,140.00	185,742.49	843,557.459	104.88	167,307.02	1,010,864.48	1,081,624.99	1,021,484.99	632,847.40	830,560.77
8	-	60,140.00	184,813.78	868,716.560	104.88	167,307.02	1,036,023.58	1,108,545.23	1,048,405.23	606,584.74	827,620.77
9	-	60,140.00	183,889.71	894,626.031	104.88	167,307.02	1,061,933.05	1,136,268.36	1,076,128.36	581,462.44	824,762.78
10	-	60,140.00	182,970.26	921,308.253	104.88	167,307.02	1,088,615.27	1,164,818.34	1,104,678.34	557,427.92	821,984.43
11	-	1,110,140.00	182,055.41	948,786.271	104.88	167,307.02	1,116,093.29	1,194,219.82	84,079.82	39,622.32	60,741.05
12	-	60,140.00	181,145.13	977,083.822	104.88	167,307.02	1,144,390.84	1,224,498.20	1,164,358.20	512,424.70	816,657.41
13	-	60,140.00	180,239.40	1,006,225.347	104.88	167,307.02	1,173,532.36	1,255,679.63	1,195,539.63	491,363.30	814,104.31
14	-	60,140.00	179,338.21	1,036,236.018	104.88	167,307.02	1,203,543.03	1,287,791.05	1,227,651.05	471,204.00	811,621.97
15	-	60,140.00	178,441.52	1,067,141.757	104.88	167,307.02	1,234,448.77	1,320,860.19	1,260,720.19	451,905.91	809,208.31
16	-	60,140.00	177,549.31	1,098,969.260	104.88	167,307.02	1,266,276.28	1,354,915.62	1,294,775.62	433,430.15	806,861.36
17	-	60,140.00	176,661.56	1,131,746.018	104.88	167,307.02	1,299,053.03	1,389,986.75	1,329,846.75	415,739.69	804,579.15
18	-	60,140.00	175,778.25	1,165,500.343	104.88	167,307.02	1,332,807.36	1,426,103.87	1,365,963.87	398,799.30	802,359.81
19	-	60,140.00	174,899.36	1,200,261.391	104.88	167,307.02	1,367,568.41	1,463,298.20	1,403,158.20	382,575.46	800,201.51
20	-	60,140.00	174,024.87	1,236,059.187	104.88	167,307.02	1,403,366.20	1,501,601.84	1,441,461.84	367,036.20	798,102.47
									NPV	4,748,238.84	9,665,383.47

ฉ.5 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

การวิเคราะห์ อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีมีศักยภาพในการติดตั้ง120 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.9

ตารางที่ ฉ.9 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	387	3,599,100.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	6	1,050,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	1,336,400.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	5,998,500.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 4,734,725.83 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.10

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.10 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	5,998,500.00	-							- 5,998,500.00	- 5,998,500.00	- 5,998,500.00
1	-	59,985.00	190,920.26	705,364.057	104.61	166,875.81	872,239.87	933,296.66	873,311.66	815,576.21	847,875.40
2	-	59,985.00	189,965.66	726,401.540	104.61	166,875.81	893,277.35	955,806.77	895,821.77	781,289.86	844,397.93
3	-	59,985.00	189,015.83	748,066.466	104.61	166,875.81	914,942.28	978,988.24	919,003.24	748,519.13	841,018.15
4	-	59,985.00	188,070.75	770,377.549	104.61	166,875.81	937,253.36	1,002,861.10	942,876.10	717,192.56	837,733.20
5	-	59,985.00	187,130.40	793,354.059	104.61	166,875.81	960,229.87	1,027,445.96	967,460.96	687,242.31	834,540.33
6	-	59,985.00	186,194.74	817,015.844	104.61	166,875.81	983,891.66	1,052,764.07	992,779.07	658,603.96	831,436.84
7	-	59,985.00	185,263.77	841,383.341	104.61	166,875.81	1,008,259.15	1,078,837.30	1,018,852.30	631,216.35	828,420.15
8	-	59,985.00	184,337.45	866,477.600	104.61	166,875.81	1,033,353.41	1,105,688.15	1,045,703.15	605,021.38	825,487.72
9	-	59,985.00	183,415.76	892,320.294	104.61	166,875.81	1,059,196.11	1,133,339.83	1,073,354.83	579,963.83	822,637.10
10	-	59,985.00	182,498.68	918,933.747	104.61	166,875.81	1,085,809.56	1,161,816.23	1,101,831.23	555,991.25	819,865.91
11	-	1,109,985.00	181,586.19	946,340.946	104.61	166,875.81	1,113,216.76	1,191,141.93	81,156.93	38,244.92	58,629.49
12	-	59,985.00	180,678.26	974,565.564	104.61	166,875.81	1,141,441.38	1,221,342.27	1,161,357.27	511,104.02	814,552.63
13	-	59,985.00	179,774.87	1,003,631.982	104.61	166,875.81	1,170,507.80	1,252,443.34	1,192,458.34	490,096.90	812,006.11
14	-	59,985.00	178,875.99	1,033,565.306	104.61	166,875.81	1,200,441.12	1,284,472.00	1,224,487.00	469,989.55	809,530.16
15	-	59,985.00	177,981.61	1,064,391.392	104.61	166,875.81	1,231,267.20	1,317,455.91	1,257,470.91	450,741.21	807,122.73
16	-	59,985.00	177,091.71	1,096,136.865	104.61	166,875.81	1,263,012.68	1,351,423.57	1,291,438.57	432,313.06	804,781.82
17	-	59,985.00	176,206.25	1,128,829.147	104.61	166,875.81	1,295,704.96	1,386,404.31	1,326,419.31	414,668.19	802,505.49
18	-	59,985.00	175,325.22	1,162,496.476	104.61	166,875.81	1,329,372.29	1,422,428.35	1,362,443.35	397,771.47	800,291.88
19	-	59,985.00	174,448.59	1,197,167.933	104.61	166,875.81	1,364,043.75	1,459,526.81	1,399,541.81	381,589.44	798,139.14
20	-	59,985.00	173,576.35	1,232,873.467	104.61	166,875.81	1,399,749.28	1,497,731.73	1,437,746.73	366,090.23	796,045.50
									NPV	4,734,725.83	9,638,517.69

ฉ.6 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารจามจุรี8

การวิเคราะห์ อาคารจามจุรี8 มีศักยภาพในการติดตั้ง83 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.11

ตารางที่ ฉ.11 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารจามจุรี8

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	268	2,492,400.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	4	700,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	948,600.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	4,154,000.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 3,291,613.98 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.12

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.12 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารจามจุรี8

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	4,154,000.00	-							- 4,154,000.00	- 4,154,000.00	- 4,154,000.00
1	-	41,540.00	132,213.51	488,469.166	72.45	115,562.58	604,031.74	646,313.97	604,773.97	564,791.79	587,159.19
2	-	41,540.00	131,552.44	503,037.759	72.45	115,562.58	618,600.34	661,902.36	620,362.36	541,048.27	584,751.02
3	-	41,540.00	130,894.68	518,040.860	72.45	115,562.58	633,603.44	677,955.68	636,415.68	518,354.33	582,410.50
4	-	41,540.00	130,240.21	533,491.429	72.45	115,562.58	649,054.01	694,487.79	652,947.79	496,660.48	580,135.65
5	-	41,540.00	129,589.01	549,402.811	72.45	115,562.58	664,965.39	711,512.97	669,972.97	475,919.74	577,924.57
6	-	41,540.00	128,941.06	565,788.750	72.45	115,562.58	681,351.33	729,045.92	687,505.92	456,087.50	575,775.39
7	-	41,540.00	128,296.36	582,663.399	72.45	115,562.58	698,225.98	747,101.80	705,561.80	437,121.40	573,686.31
8	-	41,540.00	127,654.88	600,041.335	72.45	115,562.58	715,603.91	765,696.19	724,156.19	418,981.21	571,655.58
9	-	41,540.00	127,016.60	617,937.568	72.45	115,562.58	733,500.15	784,845.16	743,305.16	401,628.70	569,681.51
10	-	41,540.00	126,381.52	636,367.556	72.45	115,562.58	751,930.13	804,565.24	763,025.24	385,027.53	567,762.44
11	-	741,540.00	125,749.61	655,347.218	72.45	115,562.58	770,909.80	824,873.48	83,333.48	39,270.61	60,201.88
12	-	41,540.00	125,120.86	674,892.949	72.45	115,562.58	790,455.53	845,787.41	804,247.41	353,942.84	564,082.96
13	-	41,540.00	124,495.26	695,021.631	72.45	115,562.58	810,584.21	867,325.10	825,785.10	339,395.27	562,319.47
14	-	41,540.00	123,872.78	715,750.651	72.45	115,562.58	831,313.23	889,505.16	847,965.16	325,470.80	560,604.86
15	-	41,540.00	123,253.42	737,097.915	72.45	115,562.58	852,660.49	912,346.73	870,806.73	312,141.20	558,937.70
16	-	41,540.00	122,637.15	759,081.860	72.45	115,562.58	874,644.44	935,869.55	894,329.55	299,379.59	557,316.61
17	-	41,540.00	122,023.97	781,721.476	72.45	115,562.58	897,284.05	960,093.94	918,553.94	287,160.40	555,740.24
18	-	41,540.00	121,413.85	805,036.319	72.45	115,562.58	920,598.90	985,040.82	943,500.82	275,459.31	554,207.29
19	-	41,540.00	120,806.78	829,046.528	72.45	115,562.58	944,609.11	1,010,731.74	969,191.74	264,253.15	552,716.51
20	-	41,540.00	120,202.74	853,772.840	72.45	115,562.58	969,335.42	1,037,188.90	995,648.90	253,519.85	551,266.65
									NPV	3,291,613.98	6,694,336.34

ฉ.7 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีศักยภาพในการติดตั้ง83 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.13

ตารางที่ ฉ.13 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	266	2,473,800.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	4	700,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	936,200.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	4,123,000.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 3,264,587.96 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.14

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.14 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารศูนย์สัตว์ทดลองแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	4,123,000.00	-							- 4,123,000.00	- 4,123,000.00	- 4,123,000.00
1	-	41,230.00	131,226.84	484,823.874	71.91	114,700.17	599,524.05	641,490.73	600,260.73	560,576.93	582,777.41
2	-	41,230.00	130,570.71	499,283.746	71.91	114,700.17	613,983.92	656,962.79	615,732.79	537,010.60	580,387.21
3	-	41,230.00	129,917.86	514,174.884	71.91	114,700.17	628,875.06	672,896.31	631,666.31	514,486.02	578,064.15
4	-	41,230.00	129,268.27	529,510.150	71.91	114,700.17	644,210.32	689,305.04	648,075.04	492,954.06	575,806.28
5	-	41,230.00	128,621.93	545,302.790	71.91	114,700.17	660,002.96	706,203.17	664,973.17	472,368.10	573,611.70
6	-	41,230.00	127,978.82	561,566.446	71.91	114,700.17	676,266.62	723,605.28	682,375.28	452,683.86	571,478.55
7	-	41,230.00	127,338.92	578,315.165	71.91	114,700.17	693,015.34	741,526.41	700,296.41	433,859.30	569,405.07
8	-	41,230.00	126,702.23	595,563.415	71.91	114,700.17	710,263.59	759,982.04	718,752.04	415,854.49	567,389.50
9	-	41,230.00	126,068.72	613,326.094	71.91	114,700.17	728,026.26	778,988.10	737,758.10	398,631.47	565,430.15
10	-	41,230.00	125,438.37	631,618.544	71.91	114,700.17	746,318.72	798,561.03	757,331.03	382,154.19	563,525.41
11	-	741,230.00	124,811.18	650,456.567	71.91	114,700.17	765,156.74	818,717.71	77,487.71	36,515.81	55,978.77
12	-	41,230.00	124,187.12	669,856.434	71.91	114,700.17	784,556.61	839,475.57	798,245.57	351,301.47	559,873.38
13	-	41,230.00	123,566.19	689,834.903	71.91	114,700.17	804,535.07	860,852.53	819,622.53	336,862.47	558,123.06
14	-	41,230.00	122,948.36	710,409.229	71.91	114,700.17	825,109.40	882,867.06	841,637.06	323,041.92	556,421.24
15	-	41,230.00	122,333.62	731,597.184	71.91	114,700.17	846,297.36	905,538.17	864,308.17	309,811.78	554,766.53
16	-	41,230.00	121,721.95	753,417.070	71.91	114,700.17	868,117.24	928,885.45	887,655.45	297,145.41	553,157.53
17	-	41,230.00	121,113.34	775,887.734	71.91	114,700.17	890,587.91	952,929.06	911,699.06	285,017.42	551,592.92
18	-	41,230.00	120,507.77	799,028.586	71.91	114,700.17	913,728.76	977,689.77	936,459.77	273,403.65	550,071.42
19	-	41,230.00	119,905.23	822,859.613	71.91	114,700.17	937,559.78	1,003,188.97	961,958.97	262,281.11	548,591.76
20	-	41,230.00	119,305.71	847,401.401	71.91	114,700.17	962,101.57	1,029,448.68	988,218.68	251,627.91	547,152.72
									NPV	3,264,587.96	6,640,604.76

ฉ.8 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารพินิตประชานาถ

การวิเคราะห์ อาคารพินิตประชานาถ มีศักยภาพในการติดตั้ง 28 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.15

ตารางที่ ฉ.15 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารพินิตประชานาถ

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	90	837,000.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	1	175,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	370,000.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	1,395,000.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 1,133,702.72 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.16

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.16 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารพิมิตประชานาถ

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	1,395,000.00	-							- 1,395,000.00	- 1,395,000.00	- 1,395,000.00
1	-	13,950.00	44,400.06	164,038.153	24.33	38,808.33	202,846.48	217,045.74	203,095.74	189,668.89	197,180.33
2	-	13,950.00	44,178.06	168,930.591	24.33	38,808.33	207,738.92	222,280.64	208,330.64	181,695.32	196,371.61
3	-	13,950.00	43,957.17	173,968.946	24.33	38,808.33	212,777.27	227,671.68	213,721.68	174,074.22	195,585.62
4	-	13,950.00	43,737.38	179,157.569	24.33	38,808.33	217,965.90	233,223.51	219,273.51	166,788.97	194,821.67
5	-	13,950.00	43,518.70	184,500.944	24.33	38,808.33	223,309.27	238,940.92	224,990.92	159,823.79	194,079.15
6	-	13,950.00	43,301.10	190,003.685	24.33	38,808.33	228,812.01	244,828.85	230,878.85	153,163.71	193,357.41
7	-	13,950.00	43,084.60	195,670.545	24.33	38,808.33	234,478.87	250,892.39	236,942.39	146,794.50	192,655.85
8	-	13,950.00	42,869.17	201,506.419	24.33	38,808.33	240,314.75	257,136.78	243,186.78	140,702.65	191,973.89
9	-	13,950.00	42,654.83	207,516.347	24.33	38,808.33	246,324.68	263,567.40	249,617.40	134,875.31	191,310.95
10	-	13,950.00	42,441.55	213,705.522	24.33	38,808.33	252,513.85	270,189.82	256,239.82	129,300.29	190,666.49
11	-	188,950.00	42,229.35	220,079.290	24.33	38,808.33	258,887.62	277,009.75	88,059.75	41,497.85	63,616.24
12	-	13,950.00	42,018.20	226,643.155	24.33	38,808.33	265,451.48	284,033.09	270,083.09	118,861.40	189,430.84
13	-	13,950.00	41,808.11	233,402.787	24.33	38,808.33	272,211.12	291,265.89	277,315.89	113,976.02	188,838.63
14	-	13,950.00	41,599.07	240,364.025	24.33	38,808.33	279,172.35	298,714.42	284,764.42	109,299.90	188,262.83
15	-	13,950.00	41,391.07	247,532.882	24.33	38,808.33	286,341.21	306,385.10	292,435.10	104,823.54	187,702.96
16	-	13,950.00	41,184.12	254,915.550	24.33	38,808.33	293,723.88	314,284.55	300,334.55	100,537.92	187,158.56
17	-	13,950.00	40,978.20	262,518.406	24.33	38,808.33	301,326.73	322,419.61	308,469.61	96,434.46	186,629.18
18	-	13,950.00	40,773.31	270,348.018	24.33	38,808.33	309,156.35	330,797.29	316,847.29	92,504.99	186,114.39
19	-	13,950.00	40,569.44	278,411.147	24.33	38,808.33	317,219.48	339,424.84	325,474.84	88,741.73	185,613.75
20	-	13,950.00	40,366.59	286,714.760	24.33	38,808.33	325,523.09	348,309.70	334,359.70	85,137.26	185,126.86
									NPV	1,133,702.72	2,291,497.21

ฉ.9 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์

การวิเคราะห์ อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์ มีศักยภาพในการติดตั้ง 26 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.17

ตารางที่ ฉ.17 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	85	790,500.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	175,000.00	1	175,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	339,000.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	1,317,500.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 1,066,137.67 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.18

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.18 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารวิจัยพัฒนาและบริการสัตว์แพทย์ศาสตร์

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	1,317,500.00	-							- 1,317,500.00	- 1,317,500.00	- 1,317,500.00
1	-	13,175.00	41,933.39	154,924.922	22.98	36,652.31	191,577.23	204,987.64	191,812.64	179,131.72	186,225.86
2	-	13,175.00	41,723.72	159,545.558	22.98	36,652.31	196,197.87	209,931.72	196,756.72	171,601.13	185,462.08
3	-	13,175.00	41,515.10	164,304.004	22.98	36,652.31	200,956.31	215,023.26	201,848.26	164,403.43	184,719.75
4	-	13,175.00	41,307.53	169,204.371	22.98	36,652.31	205,856.68	220,266.65	207,091.65	157,522.91	183,998.25
5	-	13,175.00	41,100.99	174,250.892	22.98	36,652.31	210,903.20	225,666.43	212,491.43	150,944.69	183,296.97
6	-	13,175.00	40,895.49	179,447.924	22.98	36,652.31	216,100.23	231,227.25	218,052.25	144,654.62	182,615.33
7	-	13,175.00	40,691.01	184,799.959	22.98	36,652.31	221,452.27	236,953.93	223,778.93	138,639.25	181,952.75
8	-	13,175.00	40,487.55	190,311.617	22.98	36,652.31	226,963.93	242,851.40	229,676.40	132,885.83	181,308.67
9	-	13,175.00	40,285.12	195,987.661	22.98	36,652.31	232,639.97	248,924.77	235,749.77	127,382.24	180,682.57
10	-	13,175.00	40,083.69	201,832.993	22.98	36,652.31	238,485.30	255,179.28	242,004.28	122,116.94	180,073.91
11	-	188,175.00	39,883.27	207,852.662	22.98	36,652.31	244,504.97	261,620.32	73,445.32	34,610.85	53,058.46
12	-	13,175.00	39,683.86	214,051.868	22.98	36,652.31	250,704.18	268,253.47	255,078.47	112,257.99	178,906.91
13	-	13,175.00	39,485.44	220,435.965	22.98	36,652.31	257,088.28	275,084.45	261,909.45	107,644.02	178,347.59
14	-	13,175.00	39,288.01	227,010.468	22.98	36,652.31	263,662.78	282,119.17	268,944.17	103,227.68	177,803.78
15	-	13,175.00	39,091.57	233,781.055	22.98	36,652.31	270,433.37	289,363.70	276,188.70	99,000.01	177,275.02
16	-	13,175.00	38,896.11	240,753.575	22.98	36,652.31	277,405.89	296,824.30	283,649.30	94,952.48	176,760.86
17	-	13,175.00	38,701.63	247,934.050	22.98	36,652.31	284,586.36	304,507.41	291,332.41	91,076.99	176,260.90
18	-	13,175.00	38,508.12	255,328.683	22.98	36,652.31	291,980.99	312,419.66	299,244.66	87,365.83	175,774.70
19	-	13,175.00	38,315.58	262,943.861	22.98	36,652.31	299,596.17	320,567.90	307,392.90	83,811.63	175,301.88
20	-	13,175.00	38,124.00	270,786.162	22.98	36,652.31	307,438.47	328,959.17	315,784.17	80,407.42	174,842.04
									NPV	1,066,137.67	2,157,168.27

ฉ.10 การคำนวณจุดคุ้มทุน อาคารฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา

การวิเคราะห์ อาคารฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา มีศักยภาพในการติดตั้ง 13 kW ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังตารางที่ ฉ.19

ตารางที่ ฉ.19 ราคารวมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อาคารฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Poly Crystalline Silicon ขนาด 310 W (แผง)	9,300.00	42	390,600.00
2	Grid Tie Inverter SMA 20 kW พร้อม DC Surge Protection (เครื่อง)	108,000.00	1	108,000.00
3	Balance of System (ชุด)		1	139,400.00
4	ค่ามิเตอร์และการเชื่อมโยง (งาน)		1	13,000.00
			รวม	651,000.00

(1) ระยะเวลาคืนทุน = 7.41 ปี

(2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 516,651.78 บาท สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ฉ.20

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน = 15 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ.20 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ของอาคารฉุกเฉินสัตว์ป่วยหนักและคลินิกนอกเวลา

ปี	ต้นทุน (ครั้งแรก)	O&M (บาท)	kWh-Solar (kWh)	Solar -Saving (บาท)	Peak Demand (kW)	Peak - Saving (บาท)	Total Solar (บาท)	Total+VAT (บาท)	รวม (บาท)	PV (7.08%) (บาท)	PV (3%) (บาท)
0	651,000.00	-							- 651,000.00	- 651,000.00	- 651,000.00
1	-	6,510.00	20,720.03	76,551.138	11.35	18,110.55	94,661.69	101,288.01	94,778.01	88,512.15	92,017.49
2	-	6,510.00	20,616.43	78,834.276	11.35	18,110.55	96,944.83	103,730.97	97,220.97	84,791.15	91,640.09
3	-	6,510.00	20,513.35	81,185.508	11.35	18,110.55	99,296.06	106,246.79	99,736.79	81,234.63	91,273.29
4	-	6,510.00	20,410.78	83,606.866	11.35	18,110.55	101,717.42	108,837.64	102,327.64	77,834.85	90,916.78
5	-	6,510.00	20,308.73	86,100.441	11.35	18,110.55	104,210.99	111,505.76	104,995.76	74,584.44	90,570.27
6	-	6,510.00	20,207.18	88,668.386	11.35	18,110.55	106,778.94	114,253.47	107,743.47	71,476.40	90,233.46
7	-	6,510.00	20,106.15	91,312.921	11.35	18,110.55	109,423.47	117,083.12	110,573.12	68,504.10	89,906.06
8	-	6,510.00	20,005.61	94,036.329	11.35	18,110.55	112,146.88	119,997.16	113,487.16	65,661.23	89,587.82
9	-	6,510.00	19,905.59	96,840.962	11.35	18,110.55	114,951.52	122,998.12	116,488.12	62,941.81	89,278.45
10	-	6,510.00	19,806.06	99,729.244	11.35	18,110.55	117,839.80	126,088.58	119,578.58	60,340.14	88,977.70
11	-	114,510.00	19,707.03	102,703.669	11.35	18,110.55	120,814.22	129,271.22	14,761.22	6,956.17	10,663.82
12	-	6,510.00	19,608.49	105,766.805	11.35	18,110.55	123,877.36	132,548.77	126,038.77	55,468.65	88,401.06
13	-	6,510.00	19,510.45	108,921.300	11.35	18,110.55	127,031.85	135,924.08	129,414.08	53,188.81	88,124.69
14	-	6,510.00	19,412.90	112,169.878	11.35	18,110.55	130,280.43	139,400.06	132,890.06	51,006.62	87,855.99
15	-	6,510.00	19,315.83	115,515.345	11.35	18,110.55	133,625.90	142,979.71	136,469.71	48,917.65	87,594.71
16	-	6,510.00	19,219.26	118,960.590	11.35	18,110.55	137,071.14	146,666.12	140,156.12	46,917.70	87,340.66
17	-	6,510.00	19,123.16	122,508.590	11.35	18,110.55	140,619.14	150,462.48	143,952.48	45,002.75	87,093.62
18	-	6,510.00	19,027.54	126,162.408	11.35	18,110.55	144,272.96	154,372.07	147,862.07	43,169.00	86,853.38
19	-	6,510.00	18,932.41	129,925.202	11.35	18,110.55	148,035.76	158,398.26	151,888.26	41,412.81	86,619.75
20	-	6,510.00	18,837.74	133,800.221	11.35	18,110.55	151,910.77	162,544.53	156,034.53	39,730.72	86,392.54
									NPV	516,651.78	1,050,341.61

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2523 ที่อยู่ 70/16 ถนนท่าโพธิ์ ตำบลท่าวัง อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช ปัจจุบันรับราชการที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการการมาตรฐานแห่งชาติ กระทรวงอุตสาหกรรม เข้าศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และเข้าศึกษาระดับปริญญา หลักสูตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีพลังงานและการจัดการ ณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University