

การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
บนหลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาวอริชฐาน ทิพย์พงศ์ธร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2562

**FEASIBILITY STUDY OF INSTALLING A ROOFTOP
PV SYSTEMS IN SURANAREE UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY**



Atitthan Thippongton

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Energy Management Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2019

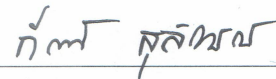
การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา
อาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์)
ประธานกรรมการ

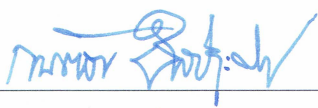


(ผศ. ดร.กิริติ สุตกษณ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.รিতัต คลวิชัย)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อธิษฐาน ทิพย์พงษ์ : การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน
แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (FEASIBILITY STUDY
OF INSTALLING A ROOFTOP PV SYSTEMS IN SURANAREE UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุลักษณ์, 110 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บน
หลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยพิจารณาบนพื้นฐานแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดโพลีคริสตัลไลน์แบบต่อเชื่อมตู้กริดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
เพื่อประเมินศักยภาพของระบบ และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ
โดยศักยภาพของระบบประเมินจากปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ค่ารังสี
ดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในมุมเอียง พื้นที่หลังคาอาคารที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จริง
และค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ ส่วนความเป็นไปได้ใน
ทางเศรษฐศาสตร์ประเมินจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนของโครงการ อัตราส่วน
ผลตอบแทนต่อต้นทุน ระยะเวลาคืนทุนคิดลด ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ย และ
การวิเคราะห์ความไวของโครงการ โดยกำหนดให้อายุของโครงการมีระยะเวลา 25 ปี

ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีค่าศักยภาพในด้านพลังงาน
แสงอาทิตย์ โดยกลุ่มอาคารที่ได้รับการประเมินทั้ง 32 อาคาร มีความเหมาะสมสำหรับการลงทุน
โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นบวก อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เฉลี่ยทุกอาคาร
มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) มีค่ามากกว่า 1 และ
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มีค่าเฉลี่ยทุกอาคารเท่ากับ 9.3 ปี และมีต้นทุน การผลิตไฟฟ้า
ต่อหน่วยปรับเฉลี่ยของทั้งโครงการเท่ากับ 1.94 บาทต่อหน่วย จากการวิเคราะห์ความไวของ
โครงการโดยให้ต้นทุนลดลง 5 บาทต่อวัตต์ พบว่าโครงการมีความน่าสนใจในการลงทุนมากขึ้น

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา อธิษฐาน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา กิริติ

ATITTHAN THIPPONGTORN : FEASIBILITY STUDY OF INSTALLING
A ROOFTOP PV SYSTEMS IN SURANAREE UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KEERATI SULUKSNA,
Ph.D., 110 PP.

SOLAR ROOFTOP/ECONOMIC FEASIBILITY/ON-GRID SYSTEM

This thesis study the feasibility of installing a Rooftop PV System in Suranaree University of Technology. The study has been considered based on polycrystalline silicon and on-grid connected system. The objectives of the research were to assess the potential of the installation and to determine the project feasibility analysis in economic perspective. Variables to assess a potential in the study are solar radiation on a tilted surface, PV array and efficiency according to the cell temperature. In order to the economic feasibility, the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR), the Benefit Cost Ratio (B/C Ratio), the Discounted Payback Period (DPB), the Levelized Cost of Electricity (LCOE) and the Sensitivity Analysis were investigated. The period of the study is specified up to 25 years based on solar cell life time. The result shown that the building rooftops in Suranaree University of Technology are efficiency. In which the considered 32 buildings were suitable in economic investment. The study shown that the NPV is positive, the IRR is more than the Maximum Loan Rate, the B/C Ratio is more than 1, the DPB is 9.3 years, the LCOE is 1.94 baht per unit (kilowatt). From analysis of Sensitivity scenario demonstrates the cost reduction 5 baht per watt. It is mean that the project is quite interesting to invest.

School of Mechanical Engineering

Academic year 2019

Student's Signature อติชฎา

Advisor's Signature K. Kulkarni

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ ในการตรวจสอบงาน ให้ข้อเสนอแนะ และช่วยเหลือทาง วิชาการ ผู้วิจัยได้รับกำลังใจและความเมตตาจากท่านด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา ของท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์ ประธานกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธีทัต คลวิชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุงแก้ไขการศึกษาโครงการฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อนุเคราะห์ข้อมูลใน การศึกษาค้นคว้า ขอบพระคุณศูนย์บรรณสารและสื่อการสอน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือประสานงานระหว่างห้องสมุดเพื่อให้ผู้วิจัยได้เข้าถึงเอกสารงานวิจัย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญ ที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์งานครั้งนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก กำลังใจ และความเข้าใจ ซึ่งเป็น พลังงานที่ยิ่งใหญ่ที่หล่อเลี้ยงใจผู้วิจัยเสมอมา

อชิษฐาน ทิพย์พงศ์ธร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พลังงานกับผลกระทบของการใช้พลังงาน.....	4
2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	5
2.3 สักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์.....	11
2.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ.....	14
2.4.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	16
2.4.3 ต้นทุนการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.5 นโยบายและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 เก็บและรวบรวมข้อมูลหลังคาของอาคารในมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 ประเมินพื้นที่หลังคาที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	25
3.1.2 วัตถุประสงค์ทางของอาคาร.....	27
3.1.3 วัตถุประสงค์ของหลังคาอาคาร.....	28
3.1.4 รวบรวมข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของพื้นที่ประเทศไทยและ จังหวัดนครราชสีมา.....	29
3.1.5 วิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของแต่ละอาคาร.....	30
3.1.6 ประเมินรูปแบบการใช้งานของแต่ละอาคาร.....	30
3.2 ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	29
3.2.1 ประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย.....	31
3.2.2 ประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	31
3.2.3 ประเมินค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สอดคล้อง กับอุณหภูมิ.....	31
3.2.4 ประเมินค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline silicon.....	32
3.2.5 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ คอมพิวเตอร์โปรแกรม PVsyst V6.86.....	32
3.3 ประเมินค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่.....	33
3.3.1 ประเมินค่าความเข้มของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง.....	33
3.3.2 ประเมินค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง.....	33
3.3.3 ประเมินค่าตัวประกอบรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง.....	33
3.3.4 ประเมินค่าความเข้มของค่ารังสีกระจายจากดวงอาทิตย์บน มุมเอียง.....	34
3.3.5 ประเมินค่าความเข้มของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง.....	34
3.3.6 สมการเวลา.....	35
3.3.7 ค่ามุมเดคลิเนชัน (Declination, δ).....	35

สารบัญ (ต่อ)

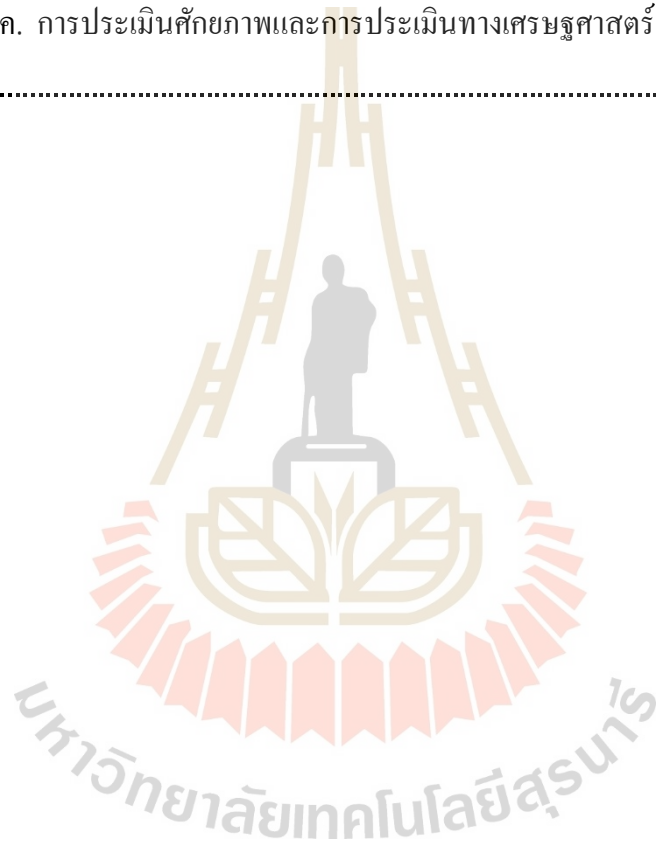
หน้า

3.3.8	ค่ามุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude angle, α).....	36
3.3.9	ค่ามุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar azimuth angle, z).....	36
3.3.10	ค่ามุมตกกระทบ (Incidence angle, θ).....	36
3.4	การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์.....	36
3.4.1	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	36
3.4.2	อัตราผลตอบแทนของโครงการ.....	37
3.4.3	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน.....	38
3.4.4	ระยะเวลาคืนทุนคิดลด.....	39
3.4.5	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าปรับเฉลี่ย.....	39
3.4.6	การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis).....	39
3.4.7	ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ.....	41
4	ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	43
4.1	ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยต่อวันของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์ แสงอาทิตย์บนมุมเอียงและทิศทางตามหลังคาอาคารมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี.....	43
4.2	ผลการศึกษาพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทิศทาง (อะซิมุท) และมุมเอียงของหลังคาอาคารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	45
4.3	ผลการวิเคราะห์โหลดทางไฟฟ้าของแต่ละอาคาร.....	49
4.4	ผลการคำนวณศักยภาพการผลิตไฟฟ้าบนหลังคาอาคารใน มทส.....	51
4.5	ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์.....	54
4.6	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ.....	58
4.7	ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ คาดว่าจะผลิตได้จากระบบ.....	59
5	สรุปผลการวิจัย.....	62
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	62
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	63
	รายการอ้างอิง.....	64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. แผนผังพื้นที่หลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	66
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างโปรแกรม Photovoltaic System Software PVsyst V8.6 (Trail).....	80
ภาคผนวก ค. การประเมินศักยภาพและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	110



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	หน่วยการใช้ไฟฟ้าจัดกลุ่มจากลักษณะพื้นที่การใช้งานของอาคารปีงบประมาณ 25606
2.2	เปรียบเทียบต้นทุนการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 14 อันดับแรก ของอาคารต่าง ๆ ใน มทส. ประจำปีงบประมาณ 2558 ถึง 2560..... 7
2.3	อัตราการใช้พลังงานตามช่วงเวลาของวันและช่วงเวลาของการใช้งาน9
2.4	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี..... 12
2.5	ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยรายปี (พ.ศ. 2551-2560) จากการตรวจวัดสถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา..... 12
2.6	ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนของไทยจากการตรวจวัดสถานี อุตุนิยมวิทยานครราชสีมา..... 13
2.7	สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง..... 18
2.8	เปรียบเทียบการศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสง อาทิตย์บนหลังคาอาคารในประเทศไทย 23
3.1	แบบแปลนหลังคาอาคารและตัวอย่างการประเมินพื้นที่หลังคาพร้อมกับโปรแกรม Google Earth Pro..... 25
3.2	ภาพมุมอะซิมุทจากโปรแกรม PVsyst V8.6 (Trail)..... 27
3.3	ค่ามุมอะซิมุทที่วัดได้จากทิศทางของอาคารที่ใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณ 28
3.4	ค่ามุมเอียงของหลังคาอาคารที่ใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณ..... 28
3.5	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจังหวัดนครราชสีมา (องศาเซลเซียส)..... 29
3.6	หน่วยการใช้ไฟฟ้าของอาคารต่าง ๆ ของ มทส. เปรียบเทียบปีงบประมาณ 2558-2560 30
3.7	การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมุมเอียงที่อะซิมุท 0 (kWh/m ² /day)..... 32
3.8	สูตรการคำนวณค่าเงินตามเวลา..... 40
3.9	ข้อมูลสำหรับการลงทุน..... 41
3.10	สมมติฐานทางการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ 41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.11 ปัจจัยที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ความไว.....	42
4.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในมุมเอียงและมุมอะซิมุทที่แตกต่างกัน พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (kWh/m ² /day).....	44
4.2 ศักยภาพของหลังคาอาคารพิจารณาจากทิศทาง มุมเอียง และขนาดพื้นที่หลังคา อาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ บนพื้นเอียงโดยจัดเรียงจากอาคารที่มีการใช้หน่วยพลังงานไฟฟ้าสูงใน ปีงบประมาณ 2560 ทั้งสิ้น 32 อาคาร ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	46
4.3 ศักยภาพของพื้นที่หลังคาอาคารในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จัดกลุ่มตาม ทิศทางและมุมเอียง โดยเรียงลำดับจากมุมอะซิมุท และมุมเอียงที่มีศักยภาพ ทางพื้นที่สูงสุด	48
4.4 หน่วยการใช้ไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2560 ของอาคารต่าง ๆ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี	50
4.5 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และร้อยละการใช้ไฟฟ้าเพื่อ ลดโหลดการใช้ไฟฟ้า โดยอ้างอิงข้อมูลจากค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร ต่าง ๆ ในปีงบประมาณ 2560	52
4.6 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และร้อยละการใช้ไฟฟ้าเพื่อ ลดโหลดการใช้ไฟฟ้าโดยอ้างอิงข้อมูลจากค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าจริงแบ่งตาม กลุ่มอาคารในปีงบประมาณ 2560	54
4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แยกแต่ละอาคาร	55
4.8 การประเมินปริมาณหน่วยพลังงาน และค่าไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ	57
4.9 การประเมินโครงการในทางเศรษฐศาสตร์โดยจัดกลุ่มอาคาร	57
4.10 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่ต้นทุนของระบบต่อวัตต์	58
4.11 หน่วยการใช้ไฟฟ้ารายเดือนแยกตามกลุ่มอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2560	59
4.12 หน่วยไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบแยกตามกลุ่มอาคารของมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน ในมุมเอียง และมุมอะซิมุทที่แตกต่างกัน รายเดือนในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (kWh/m ² /day)	86
ค.2 ผลลัพธ์การคำนวณค่าพลังงานที่ได้รับจากระบบของหลังคาอาคารที่มีมุมเอียง และมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน	88
ค.3 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 1-12.....	92
ค.4 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 13-25.....	95
ค.5 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 1-9	98
ค.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 10-20	101
ค.7 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 21-25	104
ค.8 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเพื่อหา ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	107

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	Global Greenhouse Gas Emissions by Economic Sector5
2.2	แผนที่แสดงการจัดกลุ่มอาคารการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2560.....6
2.3	อัตราการใช้ประโยชน์ของโรงไฟฟ้า กับระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศ 10
2.4	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน 11
2.5	ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนของไทย พ.ศ. 2551-2560 14
2.6	ค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ (a) อุณหภูมิของโมดูล (b) ที่เปลี่ยนไปต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 15
2.7	ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009-2025 17
2.8	อัตราเสื่อมสภาพของพารามิเตอร์ที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 19
3.1	แผนที่ตำแหน่งที่ตั้งและการใช้พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจาก โปรแกรม Google Earth Pro 24
3.2	อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524-2561 (ค.ศ.1981-2018) 29
3.3	มุมอะซิมุทและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์..... 35
4.1	ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมอะซิมุทที่ 0 43
4.2	ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมอะซิมุทและ มุมเอียงที่แตกต่างกัน 45
4.3	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟจริง กับปริมาณไฟฟ้าที่คาดว่าจะได้รับจากระบบ..... 61
ก.1	แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจากโปรแกรม Google Earth Pro 67
ก.2	หลังคาอาคารรัตนเวชพัฒน์ และศูนย์รังสีวินิจฉัย..... 67
ก.3	หลังคาอาคารวิชาการ 1 และอาคารวิชาการ 2..... 61
ก.4	หลังคาของกลุ่มอาคารศูนย์เครื่องมือ 68
ก.5	หลังคาอาคารเรียนรวม 1 69
ก.6	หลังคาอาคารบรรณสาร 69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.7	หลังคาอาคารศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง 70
ก.8	หลังคาอาคารสุรพัฒน์ 2 70
ก.9	หลังคาอาคารศูนย์เครื่องมือ 7..... 71
ก.10	หลังคาอาคารสุรเริงไชย 71
ก.11	หลังคาอาคารกีฬาภิรมย์..... 72
ก.12	หลังคาอาคารศูนย์เครื่องมือ 9..... 72
ก.13	หลังคาอาคารศูนย์เครื่องมือ 10 และ 11 73
ก.14	หลังคาอาคารหอพัก 18 73
ก.15	หลังคาอาคารสร้างเสริมสุขภาพ 74
ก.16	แบบแปลนหลังคาอาคารเรียนรวม 2 74
ก.17	แบบแปลนหลังคาอาคารวิชาการ 2 75
ก.18	แบบแปลนหลังคาอาคารบรรณสาร 2 75
ก.19	แบบแปลนหลังคาอาคารสุรเริงไชย..... 76
ก.20	แบบแปลนหลังคาอาคารศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง 76
ก.21	แบบแปลนพื้นที่ชั้น 2 อาคารเรียนรวม 1 77
ก.22	แบบแปลนหลังคาอาคารบรรณสาร 1 77
ก.23	แบบแปลนหลังคาอาคารหอพักนักศึกษาแพทย์ 78
ก.24	แบบแปลนหลังคาอาคารเครื่องมือ 78
ก.25	การประเมินหลังคาอาคารกลุ่มอาคารที่พักบุคลากร 79
ข.1	หน้าจอการเข้าใช้งาน โปรแกรม PVsyst V8.6 (Trail)..... 81
ข.2	หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 81
ข.3	หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 82
ข.4	หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดพื้นที่ มุมเอียง และอะซิมุทของระบบ 82
ข.5	หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดการติดตั้งระบบ 83
ข.6	หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดตัวแปรที่นำมาคำนวณ 83
ข.7	หน้าจอแสดงผลการคำนวณจากการตั้งค่า 84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

พลังงาน คือ ปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาาระบบเศรษฐกิจ พลังงาน ได้ถูกใช้เพื่อขับเคลื่อนกิจกรรมทางเศรษฐกิจ จนอาจกล่าวได้ว่าพลังงานคือพลังขับเคลื่อนโลกที่ทำได้ จากความสำคัญของพลังงานดังกล่าวทำให้เกิดความต้องการในการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก จนกระทั่งเกิดข้อกังวลที่เกิดขึ้นกับแหล่งพลังงานหลักในปัจจุบันที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถทดแทนได้ สอดคล้องกับสถานการณ์ของปริมาณเชื้อเพลิงหลักได้ลดลงในทุกขณะของการนำมาใช้งาน แต่ความต้องการพลังงานได้สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ความต้องการไฟฟ้าเกินปริมาณที่สามารถผลิตได้ การพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป รวมถึงประเด็นปัญหาภาวะโลกร้อนซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Gasses) ที่เป็นผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและบริโภคพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลอีกด้วย จากผลกระทบข้างต้น ได้แก่ การต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นตามการพัฒนาาระบบเศรษฐกิจ พลังงานที่ใช้ยังมีโอกาสจะหมดไปและไม่พอเพียงต่อความต้องการ นอกจากนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้บริโภคโดยตรงคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ปรับสูงขึ้นตามต้นทุนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สูงขึ้น สรุปได้ว่าหากไม่มีการหาทางออกโดยการจัดการพลังงานอย่างมีคุณภาพจะเกิดวิกฤติพลังงานขึ้นอย่างแน่นอน

จากผลกระทบที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับวิกฤติพลังงานที่ได้กล่าวข้างต้นทำให้พลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ มีแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไปและไม่มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการผลิต แม้จะพบว่าการใช้พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทางเลือกยังมีข้อจำกัดของพลังงานหลายด้าน ได้แก่ เสถียรภาพ ความต่อเนื่องหรือศักยภาพของแต่ละพื้นที่ แต่ยังคงพบว่าเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการใช้งาน และพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทดแทน

ความเสี่ยงในการเกิดวิกฤติปัญหาพลังงานนี้ได้ถูกท้าทายโดยเปลี่ยนเป็นโอกาสสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกอื่น และจากความเสี่ยงที่จะเกิดวิกฤติพลังงานนี้ประเทศไทยได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP) โดยกำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนตามแผน AEDP

6 ประเด็น ได้แก่ 1) การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง 2) การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์ 3) การแก้ไขกฎหมายและกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน 4) การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบสายส่ง สายจำหน่ายไฟฟ้ารวมทั้งการพัฒนาผู้ระบบ 5) การประชาสัมพันธ์ และการสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน และ 6) การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร โดยคาดหวังผลจากการนำนโยบายและยุทธศาสตร์ไปถ่ายทอด คัดแปลงใช้จะก่อให้เกิดความนิยมในการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ มากขึ้น ร้อยละ 30 ลดการใช้พลังงานฟอสซิลลง 39,388 ktoe ซึ่งเป็นการประเมินมูลค่าการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจำนวน 590,820 ล้านบาท ปฏิบัติการเรือนกระจกลดลง 140 ล้านตัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นสถาบันอุดมศึกษาที่มีค่าใช้จ่ายต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูง โดยในปีงบประมาณปี พ.ศ.2557 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ากว่า 21.6 ล้านหน่วย คิดเป็นเงินจำนวน 106.6 ล้านบาท ซึ่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ขานรับนโยบายพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกได้พยายามลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าโดยกำหนดมาตรการต่าง ๆ เช่น การรณรงค์อนุรักษ์พลังงานในอาคารต่าง ๆ โดยการส่งเสริมการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงาน แต่เนื่องจากช่วงเวลาในการดำเนินงานหลักของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้แก่ กิจกรรมการเรียนการสอน รวมถึงการใช้งานไฟฟ้าในอาคารสำนักงานที่เปิดดำเนินการในช่วงเวลาประมาณ 08.00-17.00 น. ของทุกวันยกเว้นวันหยุดราชการ เป็นผลให้การประมาณการไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละอาคารถูกคำนวณอัตราค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง (Peak) ในช่วงที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าช่วงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ (Off-Peak) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่อ้างอิงจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากการปรับอัตราค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นนั้นส่งผลให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่พึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องรับภาระค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นไปด้วย จึงนำสู่การทบทวนมาตรการการประหยัดค่าไฟฟ้าขึ้น นอกเหนือจากการรณรงค์อนุรักษ์พลังงานแล้วนั้น พบว่ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีตั้งอยู่บนทำเลพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์คือ มีความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละวันสูง อีกทั้งการเป็นสถานศึกษาที่มีความพร้อมด้านบุคลากร เครื่องมือ เทคโนโลยี อีกทั้งเป็นศูนย์รวมของความรู้ในหลากหลายสาขาวิชาที่จะสามารถบูรณาการความรู้และความพร้อมเพื่อหามาตรการในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้มีการดำเนินการติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แต่อย่างไรก็ตาม

พบว่าในการใช้พลังงานทดแทนยังประสบปัญหา ได้แก่ ความไม่แน่นอนของแหล่งพลังงาน ความต้องการแหล่งสะสมพลังงาน เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนสูงและต้องการการจัดการบริหารพลังงานที่มีประสิทธิภาพ จากการศึกษาบริบทที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มี การประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อที่จะสามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาด้านต้นทุนทางพลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อให้เกิดการลดการพึ่งพาพลังงานในรูปแบบอื่นลง เสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและนำสู่การพัฒนาพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 หลังคาของอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร (PV Rooftop Systems)

- 1) เทคโนโลยี Polycrystalline Silicon Cells
- 2) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4.2 นำข้อมูลที่ได้ใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนได้

บทที่ 2

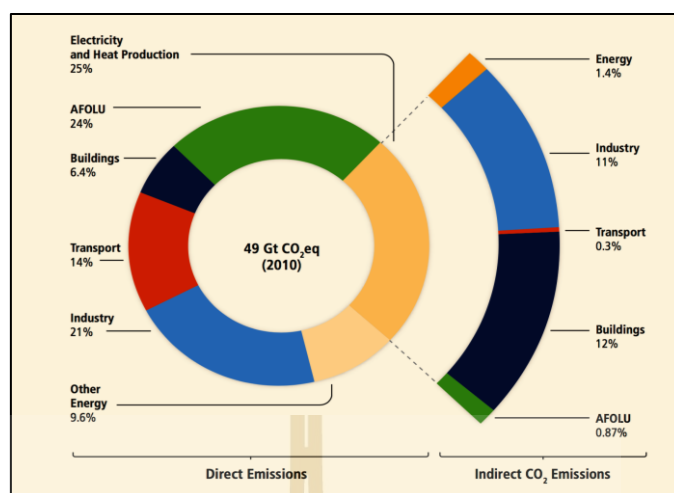
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสรุปองค์ความรู้มาใช้ในการประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร และการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีขอบเขตของการทบทวนดังต่อไปนี้

1. พลังงานกับผลกระทบของการใช้พลังงาน
2. การใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์
4. การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
5. นโยบายและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานกับผลกระทบของการใช้พลังงาน

ประชาคมโลกตระหนักว่าการพัฒนาต้องทำควบคู่กับความยั่งยืน เนื่องจากผลกระทบจากการพัฒนาเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมในอดีตได้ส่งผลกระทบต่อปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นปัญหาภาวะโลกร้อน หรือปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงเป็นวงกว้างส่งผลให้เกิดความร่วมมือและข้อตกลงต่าง ๆ ร่วมกันเพื่อแก้ไขปัญหาและทำให้เกิดพันธสัญญาดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Gasses) ถือเป็นการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ซึ่งก๊าซเรือนกระจกนั้นมีที่มาจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งทั้งจากทางตรงและทางอ้อมซึ่งโดยมากเกิดจากการใช้พลังงานเพื่อขับเคลื่อนกิจกรรมต่างๆแทบทั้งสิ้น ดังข้อมูลที่แสดงในแผนภาพที่ 2.1 สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามกลุ่มเศรษฐกิจ



รูปที่ 2.1 Global Greenhouse Gas Emissions by Economic Sector
(The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2557)

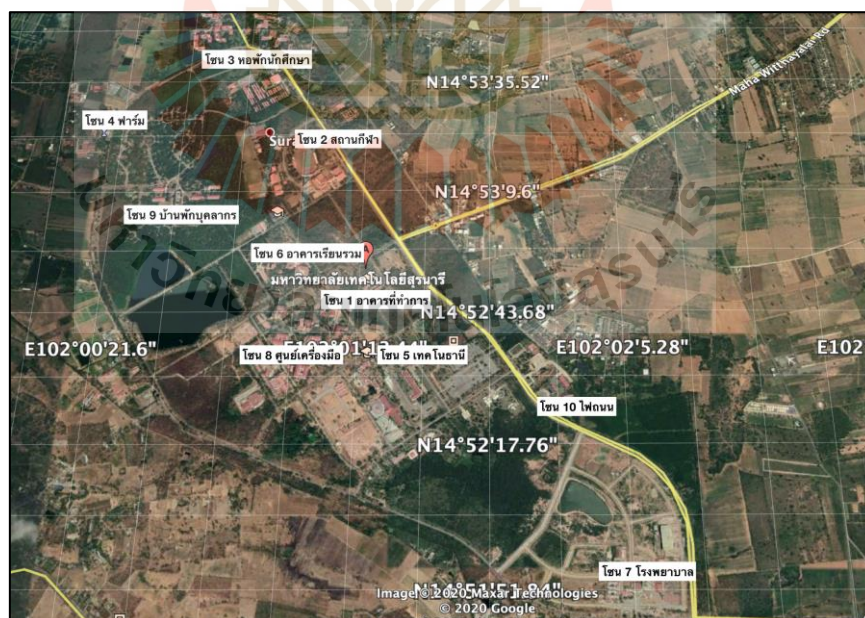
จากรูปที่ 2.1 ได้แสดงข้อมูลสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงและทางอ้อม ซึ่งการผลิตไฟฟ้าและความร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ มีสัดส่วนถึง 25% และการปล่อยก๊าซโดยตรงจากกิจกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นจากพื้นผิวโลกปกติ 24% จากภาคอุตสาหกรรม 21% จากภาคขนส่ง 14% การใช้พลังงานอื่น ๆ 9.6% และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอาคาร 6.4% ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวหากจะรวบรวมสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานทั้งทางตรงและทางอ้อมจะได้ผลรวมของสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพลังงานถึง 34.6% ซึ่งถือเป็นสัดส่วนที่สูงที่สุด โดยแหล่งพลังงานหลักของโลกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันไม่ได้ทำหน้าที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมเพียงอย่างเดียว แต่ยังสร้างผลกระทบข้างเคียงที่ส่งผลกระทบยาวนานในลักษณะของปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งบประมาณปี 2560 (ข้อมูลระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2559 ถึง 30 กันยายน พ.ศ.2560) โดยสามารถสรุปข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้เป็นกลุ่มอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงจำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (kWh) และจำนวนเงิน (บาท) โดยจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้ารวมในปีงบประมาณ 2560 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 24,428,374.80 หน่วย โดยมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 106,318,959.16 บาท

ตารางที่ 2.1 หน่วยการใช้ไฟฟ้าจัดกลุ่มจากลักษณะพื้นที่การใช้งานของอาคาร ปีงบประมาณ 2560
(1 ตุลาคม พ.ศ.2559 ถึง 30 กันยายน พ.ศ.2560)

โซน	รายละเอียด	จำนวนหน่วย (kWh)	จำนวนเงิน (บาท)
1	กลุ่มอาคารที่ทำการ	2,744,678	11,914,122.13
2	กลุ่มอาคารสถานกีฬา	1,070,298	4,656,567.99
3	กลุ่มอาคารหอพักนักศึกษา	3,207,600	13,968,035.94
4	กลุ่มอาคารฟาร์ม	941,423	4,153,038.00
5	กลุ่มอาคารเทคโนโลยี	2,272,418	9,855,871.00
6	กลุ่มอาคารเรียนรวม	2,880,971	12,546,955.02
7	กลุ่มอาคารโรงพยาบาล	7,456,217	32,463,731.06
8	กลุ่มอาคารศูนย์เครื่องมือ	3,251,585	14,140,288.57
9	กลุ่มบ้านพักบุคลากร	491,243	2,133,814.26
10	กลุ่มไฟถนน	111,941	486,535.18
	รวม	24,428,374	106,318,959.16



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงการจัดกลุ่มอาคารการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำปีงบประมาณ 2560

เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอาคารผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลเปรียบเทียบหน่วยการใช้กระแสไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปีงบประมาณ 2558-2560 (1 ตุลาคม พ.ศ.2557 ถึง 30 กันยายน พ.ศ.2560) จากส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) โดยได้คัดเลือกข้อมูลหน่วยการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้งานในอาคารเป็นหลัก โดยแสดงดังตารางที่ 2.2 ที่แสดงข้อมูลจำนวนเงินค่าไฟฟ้าของแต่ละอาคารจัดอันดับหน่วยการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 14 อันดับแรกของอาคารต่าง ๆ ใน มทส. ซึ่งหากจะพิจารณาเป็นราคาพลังงานไฟฟ้าต่อ 1 หน่วย พบว่า ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าของทั้ง 14 อาคาร ปีงบประมาณ 2558 เท่ากับ 4.93 บาท/หน่วย, ปีงบประมาณ 2559 เท่ากับ 4.49 บาท/หน่วย และปีงบประมาณ 2560 เท่ากับ 4.35 บาท/หน่วย โดยหากพิจารณาจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเพียง 14 อาคาร พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้ามีปริมาณลดลง โดยนอกเหนือจากนโยบายอนุรักษ์พลังงานในอาคารแต่ละอาคารของ มทส. แล้วนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลให้ค่าพลังงานรายอาคารลดลง เช่น การใช้งานของอาคารใหม่ที่ทดแทนหรือสามารถลดเวลาการใช้งานของอาคารเดิมลง เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบต้นทุนการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 14 อันดับแรก ของอาคารต่าง ๆ ใน มทส. ประจำปีงบประมาณ 2558 ถึง 2560 (1 ตุลาคม พ.ศ.2557 ถึง 30 กันยายน พ.ศ.2560)

ปีงบประมาณ	2558	2559	2560
อาคาร	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
อาคารรัตนเวชพัฒน์	13,617,592	15,250,174	14,048,955
อาคารสุรเริงไชย	8,025,286	3,057,948	2,638,234
อาคารเรียนรวม 1	5,831,752	5,649,991	4,050,401
อาคารเครื่องมือ 9	4,880,449	4,784,979	4,009,055
อาคารวิจัย	4,521,118	3,865,465	3,308,287
อาคารสุรพัฒน์ 1	3,824,226	3,938,160	3,876,144
อาคารเครื่องมือ 10	3,785,167	3,465,428	3,977,614
อาคารบรรณสาร 2	3,236,758	3,174,373	2,638,426
อาคารบรรณสาร 1	3,145,874	2,697,710	2,278,083
อาคารบริหาร	3,053,374	2,821,271	2,265,932
อาคารศูนย์รังสีวินิจฉัย	2,479,235	2,418,363	2,258,847
อาคารเรียนรวม 2	2,458,566	2,457,922	2,263,506

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบต้นทุนการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 14 อันดับแรก ของอาคารต่าง ๆ ใน มทส ประจำปีงบประมาณ 2558 ถึง 2560 (1 ตุลาคม พ.ศ.2557 ถึง 30 กันยายน พ.ศ.2560) (ต่อ)

ปีงบประมาณ	2558	2559	2560
อาคาร	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
อาคารวิชาการ 1	2,384,158	2,022,475	1,814,693
อาคารวิชาการ 2	2,044,393	1,651,593	1,570,434
รวมทั้งสิ้น	70,497,200	63,109,852	50,998,611

การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าจากอัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็น 8 ประเภท ประกอบด้วย (1) ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย (2) ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก (3) ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง (4) ประเภทที่ 3 กิจการขนาดใหญ่ (5) ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง (6) ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร (7) ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร (8) ประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

อัตราค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีถูกจัดอยู่ในประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ โดยมีรายละเอียดสำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศหรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียวดังนี้

ตารางที่ 2.3 อัตราการใช้พลังงานตามช่วงเวลาของวันและช่วงเวลาของการใช้งาน

ประเภทที่ 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD)					
รายละเอียด	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Partial	Off Peak		
1) แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	224.30	29.91	0	3.1355	312.24
2) แรงดัน 22-33 kV	285.05	58.88	0	3.1729	312.24
3) แรงดันต่ำกว่า 22 kV	332.71	68.22	0	3.2009	312.24
Peak: เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน Partial: เวลา 08.00 - 18.30 น. (ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนเกิน Peak) Off Peak: เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน					
ประเภทที่ 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)					
รายละเอียด	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	Peak	Off Peak	
1) แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14		4.1283	2.6107	312.24
2) แรงดัน 22-33 kV	132.93		4.2097	2.6295	312.24
3) แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00		4.3555	2.6627	312.24

อัตราขั้นต่ำ: ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

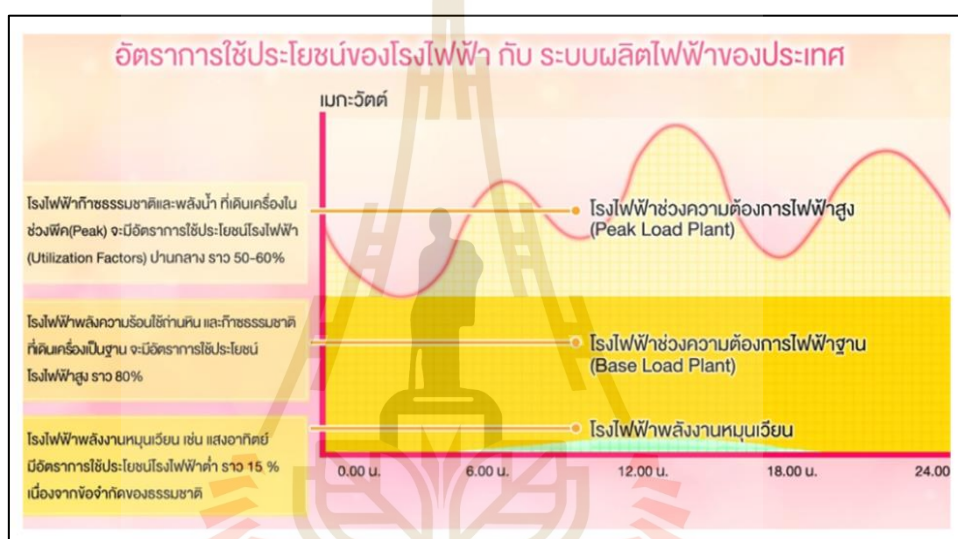
หมายเหตุ

1. ประเภทที่ 4.1 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ไฟฟ้าในอัตราประเภทที่ 4.1 อยู่เดิมก่อนค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558 และสามารถเลือกใช้อัตราประเภทที่ 4.2 ได้ โดยต้องชำระค่าใช้จ่ายตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ทั้งนี้เมื่อเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้

2. เดือนใดความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีกให้เปลี่ยนประเภทผู้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ที่ อัตราปกติ หรือ อัตราตามช่วงเวลาของ

การใช้แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เคยเลือกอัตรา TOU และได้ชำระค่าใช้จ่ายไว้แล้วจะไม่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีก

เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันจะเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าในระดับสูง (Peak Demand) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 อัตราการใช้ประโยชน์ของโรงไฟฟ้า กับระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานได้ในเวลาตั้งแต่ 06.00-18.00 น. โดยประมาณ



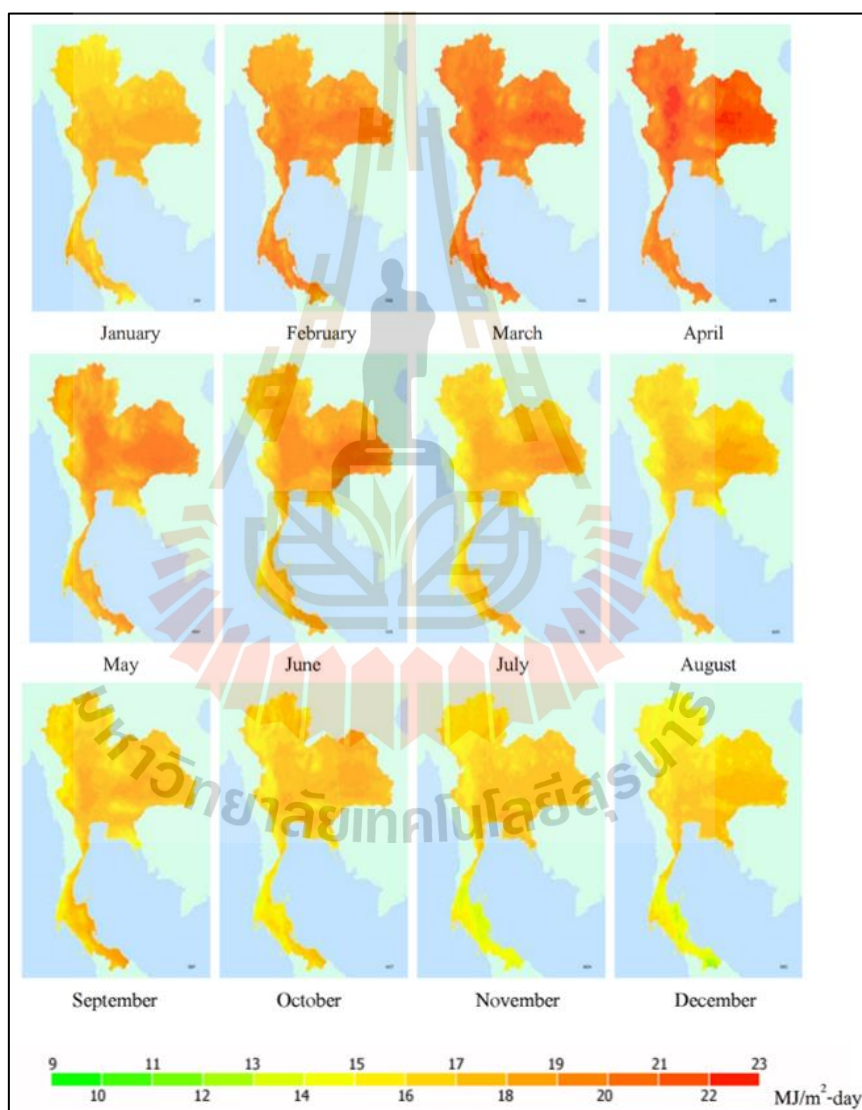
รูปที่ 2.3 อัตราการใช้ประโยชน์ของโรงไฟฟ้า กับระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศ
(ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)

อาคารสำนักงานหรือองค์กรธุรกิจโดยส่วนมากที่มีเวลาทำการในช่วงกลางวัน ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าระดับสูงจะต้องเสียอัตราค่าไฟฟ้าหากคิดตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) อัตราในช่วง Peak ที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยสูงกว่า ช่วง Off Peak ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าใช้จ่ายที่สำคัญและมีสัดส่วนที่สูงในหลายองค์กร จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดความพยายามในการบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในบางธุรกิจที่สามารถทำงานในช่วงเวลา Off Peak ได้ จะมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการปรับเปลี่ยนเวลาในการทำงาน เช่น ในโรงงานต่าง ๆ ที่มีสายการผลิตในช่วงกลางคืน เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า แต่มีสำนักงานและอาคารธุรกิจจำนวนมากที่ไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการบริหารจัดการเวลา

องค์กรเหล่านั้นจึงต้องหาวิธีการอื่น ๆ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าเพื่อขายหรือเพื่อใช้งานเองถือเป็นหนึ่งในแนวทางของการลดต้นทุนพลังงาน

2.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ และจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในแต่ละเดือนดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

โดยศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยสามารถจำแนกช่วงความเข้มของแต่ละพื้นที่ได้จากตารางที่ 2.4 ซึ่งได้แสดงเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซนต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี

ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี (MJ/m ² -day)	ร้อยละของพื้นที่เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ
15 - 16	0.4
16 - 17	13.2
17 - 18	39.8
18 -19	35.6
19 - 20	11.0

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

โดยศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา จากการตรวจวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในปี พ.ศ.2551 - พ.ศ.2560 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา กรมอุตุนิยมวิทยา (เลขที่ 916 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา) ดังรูปที่ 2.5 ได้แสดงข้อมูลศักยภาพของความเข้มของรังสีอาทิตย์ต่อเดือนในช่วงระยะเวลา 10 ปี ได้แสดงให้เห็นถึงความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่สูง โดยหากมองเฉพาะปัจจัยทางด้านศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์แล้วนั้น พื้นที่จังหวัดนครราชสีมาถือว่าเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์สูง

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยรายปี (พ.ศ. 2551-2560) จากการตรวจวัดสถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา

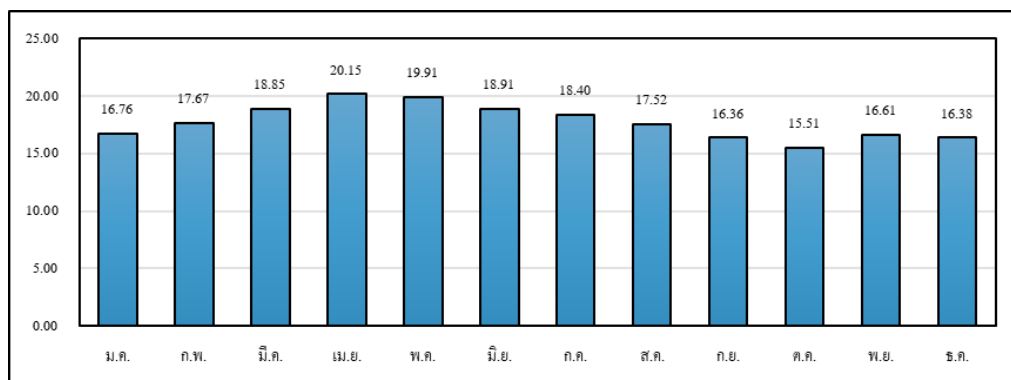
ปี พ.ศ.	ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	ปี พ.ศ.	ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์
2560	17.75 MJ/m ² -day	2555	17.74 MJ/m ² -day
2559	17.59 MJ/m ² -day	2554	17.44 MJ/m ² -day
2558	18.22 MJ/m ² -day	2553	17.94 MJ/m ² -day
2557	17.71 MJ/m ² -day	2552	18.09 MJ/m ² -day
2556	17.17 MJ/m ² -day	2552	17.91 MJ/m ² -day

ความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนนั้นแตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ ซึ่งจากการตรวจวัด ณ สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา กรมอุตุนิยมวิทยา (เลขที่ 916 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา) พบว่า พื้นที่จังหวัดนครราชสีมา มีความเข้มของแสงสูงสุดในเดือนเมษายน โดยค่าเฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2560) มีความเข้มสูงสุดที่ 20.15 MJ/m²-day และช่วงเดือนที่มีความเข้มของรังสีต่ำที่สุดอยู่ที่ 15.51 MJ/m²-day นั่นคือค่าเฉลี่ยของช่วงเดือนตุลาคม

ตารางที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนของไทยจากการตรวจวัดสถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา

ปี	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2560	15.86	19.33	19.33	21.63	18.55	19.66	16.60	17.98	17.52	15.43	15.13	15.94
2559	15.11	19.03	19.38	-	19.17	18.77	18.90	19.03	16.07	15.43	16.63	15.94
2558	16.69	17.63	17.78	20.92	21.96	19.69	17.35	18.90	17.50	16.59	17.12	16.45
2557	17.86	16.28	18.34	18.84	20.25	18.02	18.11	17.19	17.37	16.54	17.57	16.16
2556	15.45	17.34	18.95	19.56	20.82	18.12	16.91	16.85	14.68	-	14.15	16.08
2555	-	18.48	18.97	20.08	19.76	17.73	18.94	16.90	15.25	17.22	15.28	16.53
2554	18.08	16.81	17.11	18.88	19.69	19.20	18.45	16.39	16.01	14.26	17.79	16.59
2553	15.27	17.96	20.06	21.60	21.12	20.70	18.62	16.44	15.80	13.98	17.11	16.61
2552	18.07	17.87	18.12	21.15	19.40	18.71	18.47	17.94	16.99	16.17	17.62	16.53
2551	17.17	17.72	20.45	20.03	19.39	18.45	18.29	18.24	17.26	15.36	16.08	16.54
เฉลี่ย	16.76	17.67	18.85	20.15	19.91	18.91	18.40	17.52	16.36	15.51	16.61	16.38

ที่มา: จากการตรวจวัดสถานีอุตุนิยมวิทยา นครราชสีมา



รูปที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนของไทย พ.ศ. 2551-2560
(สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา)

2.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรงจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ อาทิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เครื่องเปลี่ยนระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีการออกแบบเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานในบ้านพักอาศัย ซึ่งในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพที่สุดในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องใช้ส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ

1) เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือที่มีชื่อเรียกว่า “Photovoltaic (PV)” คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1954 ณ ห้องปฏิบัติการของ Bell Telephone ซึ่งในขณะนั้นได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เป็นตัวกำเนิดของดาวเทียมสื่อสารเครื่องคิดเลขและนาฬิกาเป็นต้น ในปัจจุบันไม่มีการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกัน เพื่อเพิ่มกำลังงานให้มากพอสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตกำลังไฟฟ้า สำหรับอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ และที่อยู่อาศัย โดยในยุคแรกนั้นผลิตขึ้นจากซิลิคอนมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบและประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับได้ ในยุคต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เรียกว่า “ฟิล์มบาง (Thin Film)” ซึ่งทำจากซิลิคอนแบบไม่เป็นผลึกหรือแร่ธาตุอื่น ๆ เนื่องจากชั้นสารกึ่งตัวนำที่บางทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปประกอบเข้าเป็นส่วนหนึ่งของกรอบอาคารได้เป็นอย่างดี ในยุคต่อมาได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุหลากหลายชนิด นอกจากซิลิคอน เช่น พอลิเมอร์และพลาสติกที่เป็นตัวนำ

และเซลล์สี่ข้อมไวแสงหรือคายเซนซิไทซ์ เป็นต้น รวมถึงการนำเลนส์รวมแสงมาใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูงทำให้ได้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้น

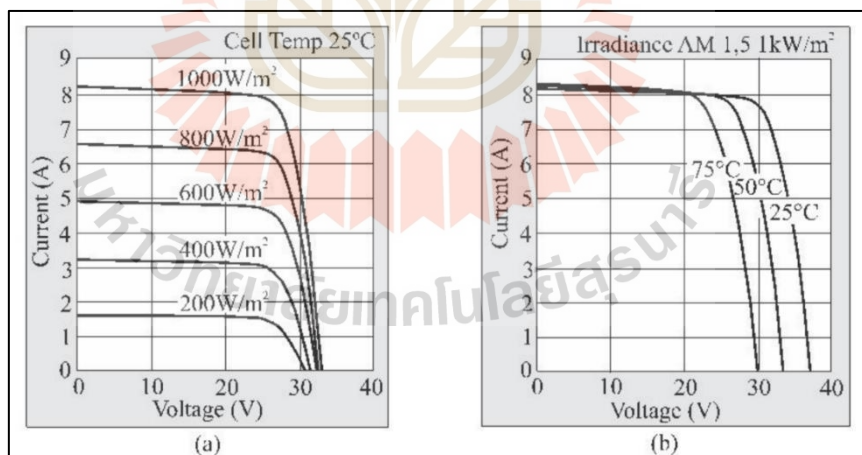
(1) ประเภทเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

- กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นคือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

- กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลกจึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต

(2) คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของโมดูลถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ (a) อุณหภูมิของโมดูล (b) ที่เปลี่ยนไปต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด

จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส และให้ค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปจะได้ค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดตามค่าความเข้ม

ของแสงที่สูงที่สุด แต่ในสภาวะการใช้งานจริงนั้นค่าความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมากขึ้นด้วย จึงมีการทดสอบโดยให้ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ โดยอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด

2) Charge Controller เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over Charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็วและเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็จะต้องตัดการชาร์จทันที

3) แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงกลางวันและนำออกมาใช้ในช่วงกลางคืน โดยจะใช้งานเป็นหลักในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ออกแบบมาสำหรับใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า

4) อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยในการใช้งานอินเวอร์เตอร์จะต้องมีกำลังงานสูงกว่าวัตต์ที่ใช้งาน 15-20% ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85% ตัวอย่างเช่น กำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์เป็นต้น

2.4.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

1) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

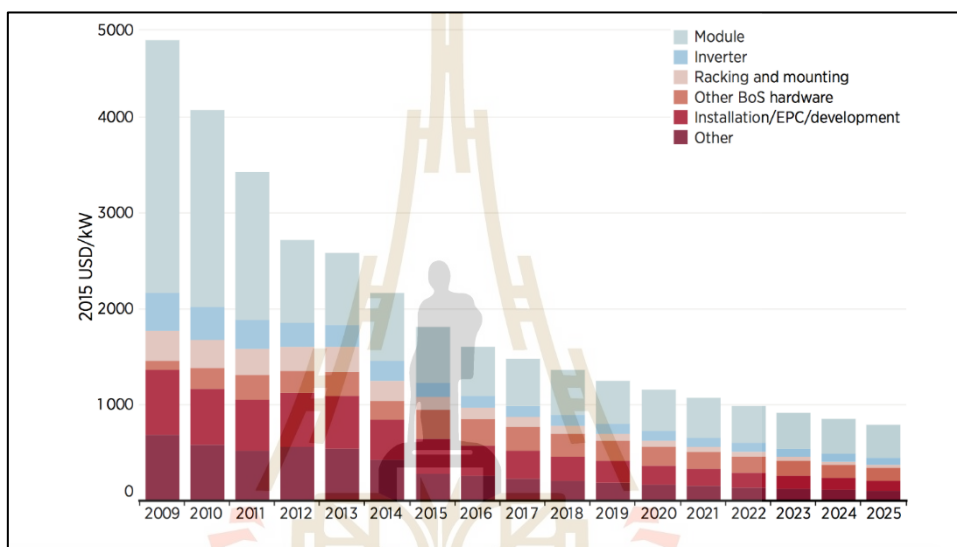
2) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงอุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง

หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงอุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.4.3 ต้นทุนการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ต้นทุนการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลแนวโน้มของราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกลง ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นราคาต้นทุนรวม และสัดส่วนของต้นทุนที่ใช้ในระบบ



รูปที่ 2.7 ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009-2025

(IRENA Renewable Cost Database, 2559)

2.5 นโยบายและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (AEDP2015) ได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนใน ปี พ.ศ.2579 ให้มีสัดส่วน 20.11% โดยเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2579 ให้ผลิตได้ 6,000 เมกะวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง

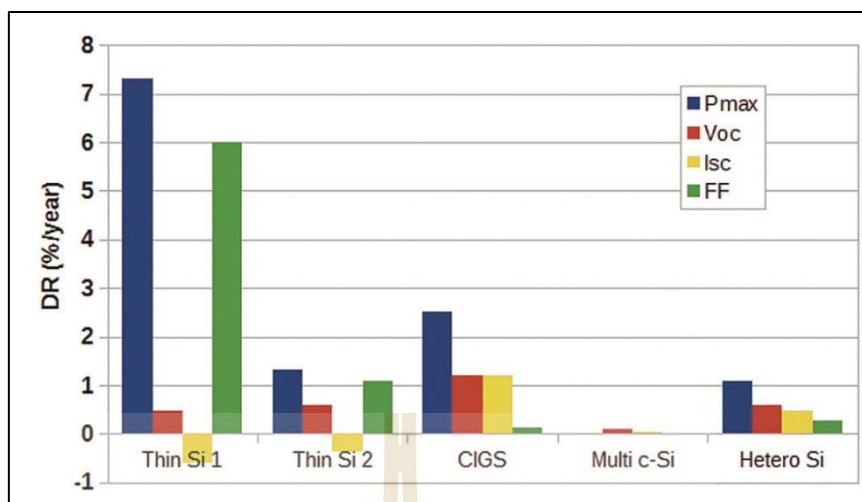
ประเภทเชื้อเพลิง	สถานภาพสิ้นปี 2557* (เมกะวัตต์)	เป้าหมายปี 2579 (เมกะวัตต์)
1. ชยะชุมชน	65.72	500.00
2. ชยะอุตสาหกรรม	-	50.00
3. ชีวมวล	2,451.82	5,570.00
4. ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย)	311.50	600.00
5. พลังน้ำขนาดเล็ก	142.01	376.00
6. ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)	-	680.00
7. พลังงานลม	224.47	3,002.00
8. พลังงานแสงอาทิตย์	1,298.51	6,000.00
9. พลังน้ำขนาดใหญ่	-	2,906.40 **
รวมเมกะวัตต์ติดตั้ง (เมกะวัตต์)	4,494.03	19,684.40
รวมพลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)	17,217	65,588.07
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ (ล้านหน่วย)	174,467	326,119.00
สัดส่วนผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (%)	9.87	20.11

* รวมการผลิตไฟฟ้านอกกริด (Including off grid power generation) และไม่รวมการผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำขนาดใหญ่

** เป็นกำลังการผลิตติดตั้งที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน โดยพลังน้ำขนาดใหญ่ถูกรวมเป็นเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในแผน AEDP2015

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Amornrat Limmanee., et al. (2017) ได้ประเมินอัตราเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบใช้ผลึกซิลิคอนและแบบฟิล์มบาง โดยเป็นกรณีศึกษาในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจำนวน 48 เดือน เพื่อวิเคราะห์อัตราเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลโดยตรงต่อค่า LCOE ซึ่งค่า LCOE ของการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 4.1-14 บาท/kWh ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางมีอัตราการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงที่สุด เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากเทคโนโลยีผลึกซิลิคอน ดังรูปที่ 2.8 ทั้งนี้ ค่า LCOE จากการทดลองที่อัตราการเสื่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ำที่สุด มีต้นทุนสูงกว่าค่าไฟฟ้าขายต่อหน่วยในประเทศไทย



รูปที่ 2.8 อัตราเสื่อมสภาพของพารามิเตอร์ที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากงานวิจัยจึงอาจสรุปได้ว่าการเก็บข้อมูลการดำเนินงานระยะยาว 48 เดือน พบว่าการใช้งานแผงเซลล์เซลล์แสงอาทิตย์แบบชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Multi Crystalline Silicon) มีความเหมาะสมที่จะใช้ในประเทศไทยที่สุด จากข้อมูลอัตราเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปีที่น้อยที่สุดจากการทดลองใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง

Lee, J., Chang, B., Aktas, C., and Gorthala, R. (2016) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานศึกษาของเขตนิวอิงแลนด์ จากการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าของประเทศพบว่า ในเดือนกันยายน ค.ศ.2015 ที่รัฐคอนเนตทิคัต ซึ่งอยู่ในเขตนิวอิงแลนด์มีอัตราค่าไฟฟ้า 19.23 เซนต์/หน่วย ซึ่งสูงเป็นอันดับ 4 ของประเทศ โดยสูงกว่าค่าเฉลี่ยรวมของประเทศประมาณ 50% การศึกษาในครั้งนี้มุ่งประเมินความเป็นไปได้ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้การประเมินจากข้อมูลจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดิมที่ติดตั้งในสถานศึกษา โดยใช้การประมาณค่าจากทฤษฎีมาปรับปรุงและเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่วัดได้พบว่า ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาคืนทุนส่วนมากอยู่ที่ 11 ปี จากช่วงที่คำนวณได้คือ 8-12 ปี และพบว่าสามารถลดต้นทุนโดยรวมของดีกประมาณ 8% และจากการประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนพบว่าน่าลงทุน โดยการศึกษาสามารถใช้อ้างอิงเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาของพื้นที่ใกล้เคียงที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์และปัจจัยทางเศรษฐกิจที่ใกล้เคียงกัน

Benghanem, M. (2011) ได้ศึกษาความเหมาะสมของมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถเก็บรังสีแสงอาทิตย์ได้สูงสุด กรณีศึกษาเมือง Madinah, Saudi Arabia โดยศึกษาจากตัวรับแสงที่หันไปทางเส้นศูนย์สูตร ข้อมูลที่ใช้ประกอบการศึกษาไม่ว่าจะเป็นค่ารังสีรวมและรังสีกระจายจากพื้นราบ

รายงานได้มาจากการตรวจวัด การศึกษาครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นมุมที่เหมาะสมจากข้อมูลมุมที่ให้พลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดในแต่ละเดือนและพบว่ามุมที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถเก็บพลังงานสูงสุดต่อปีมีค่าประมาณเท่ากับค่าละติจูดของตำแหน่งที่ตั้งนั้น และพบว่าผลรวมของพลังงานสะสมเมื่อเปรียบเทียบกับมุมที่เหมาะสมในแต่ละเดือนและการติดตั้งเพียงองศาเดิมตลอดทั้งปี การติดตั้งแบบองศาเดิมทำให้การเก็บพลังงานสูญเสียไปประมาณ 8%

Kaddoura, T.O., Ramli, M.A.M., and Al-Turki, Y.A. (2560) ได้ประมาณค่าลาดเอียงที่เหมาะสมสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศซาอุดีอาระเบีย โดยศึกษาด้วยการจำลองมุมที่เหมาะสมของหลายเมืองในประเทศซาอุดีอาระเบีย ผ่านโปรแกรม MATLAB โดยใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวระนาบจาก NASA พบว่า มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ด้านหน้าของแผง มุมที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ละติจูด และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น ๆ โดยมุมที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบมากที่สุดถือเป็นมุมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่าในแต่ละเดือนของแต่ละพื้นที่มุมที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบสูงสุดจะเปลี่ยนไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งกับที่และมีการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนพบว่า การเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของแผงตามมุมที่รับแสงได้มากที่สุดจะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานเพิ่มขึ้น 7.74%

Ye, Z., Nobre, A., Reindl, T., Joachim Luther, J. and Reise, C. (2013) ได้ศึกษาอุณหภูมิบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในภูมิภาคเขตร้อน โดยติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า 12 แห่ง (16 ระบบ) กระจายทั่วเกาะสิงคโปร์ โดยติดตั้งบนหลังคา 2 รูปแบบ คือ บนหลังคาเหล็กและหลังคาคอนกรีต ซึ่งหลังคาที่มีความลาดเอียงจะติดตั้ง PV Array ให้ขนานไปกับหลังคา และหลังคาแบบแบนราบจะติดตั้งโดยยกตัวติดตั้งให้ลาดเอียงตามมุมที่กำหนดจากนั้นติดตั้ง PV Array ด้านบน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย วัสดุของหลังคา, การระบายอากาศ, กรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยในการเก็บข้อมูลพบว่า การระบายอากาศคือระยะห่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคานั้นส่งผลต่อค่า k (Ross coefficient) กว่า 50% จากสมการ $\Delta T = T_{\text{mod}} - T_{\text{amb}} = k \times G_{\text{mod}}$ กว่า 50% โดยที่ T_{mod} คือ อุณหภูมิของโมดูล ($^{\circ}\text{C}$), T_{amb} คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$), k คือ Ross coefficient ($^{\circ}\text{C m}^2/\text{W}$) และ G_{mod} คือ ความเข้มของรังสีในแนวระนาบบนโมดูล (W/m^2)

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และ โสภิตสุดา ทองโสภิต (2558) ได้วิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีอาคารที่ได้รับการคัดเลือกทั้งสิ้น 10 อาคาร จาก 183 อาคาร ในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยคัดกรองจากเกณฑ์ดังต่อไปนี้ 1) ทิศทางอาคารคัดเลือกเฉพาะที่หันด้านทิศใต้ เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุด 2) ลักษณะรูปแบบอาคาร คัดเลือกเฉพาะอาคารที่ไม่เป็นเชิงคุณค่าหรืออาคารสถาปัตยกรรมการก่อสร้าง 3) พื้นที่การติดตั้ง คัดเลือกพื้นที่หลังคาอาคารที่เป็นคาบฟ้าเป็นอันดับแรก เพื่อลดปัจจัยด้านมุมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4) การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังของแต่ละอาคาร โดยพบว่าผลรวมของศักยภาพเชิงเทคนิคจำนวน 10 อาคาร ที่ศึกษาอยู่ที่ 2,949.19 kWh/Day และผลการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนลด 7.08% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 26,744,616.98 บาท ระยะเวลาการคืนทุน 7.41 ปี และผลตอบแทนภายใน 15% และจากการเปรียบเทียบสัดส่วนระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงต่อปี จากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของแต่ละอาคารในปี 2557 พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานรวมของ 10 อาคารที่ศึกษาได้ 10.97%

ธนาพล ดันติดัตตยกุล, พีรพล รัศมิธรรม โขติ และเมธาพร อุษสกุล (2560) ได้ศึกษาประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน ผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนคาบฟ้าอาคารเรียน จำนวน 17 อาคาร ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ (1) การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (2) การประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา และ (3) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าคาบฟ้าอาคารเรียนสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ประมาณ 2.14 MWp ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดประมาณ 2.77 kWh/ปี หรือ 5.8% ของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ของอาคารเรียนทั้งหมด โดยช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 1,570 tCO₂e/ปี และเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการมีค่าระหว่าง 8.50-8.69% มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 10 ปี

พีระวุฒิ ชินวรรังสี, ศศิวิมล ทรงไตร, ณัฐกานต์ อุดมเดชาณัติ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, อัครวิน หงษ์สิงห์ทอง, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์, จรัญ ศรีธาราธิคุณ และกอบศักดิ์ ศรีประภา (2558) ได้นำเสนอผลการประเมินสถานะและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย โดยในการทดสอบได้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเทคโนโลยีของแผงแตกต่างกันจำนวน 6 ระบบ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon Single-Junction (a-Si:H), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous/ Microcrystalline Silicon Double-Junction (a-Si:H/ μ c-Si:H), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Copper Indium Gallium Selenide (CIGS), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-Crystalline Silicon (mono c-Si), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-

Crystalline Silicon (poly c-Si) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Hetero-Junction with Intrinsic Thin Film (HIT) ซึ่งทั้ง 6 ระบบนี้ติดตั้งที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยหันหน้าแผงเซลล์ไปทางทิศใต้ ทำมุม 14 องศา ซึ่งเป็นทิศทาง และมุมที่สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีได้มากที่สุดสำหรับพื้นที่ติดตั้ง เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2555 ถึงเดือนตุลาคม 2556 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มา ประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electro technical Commission : IEC 61724 ซึ่งได้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบฯที่ติดตั้งกับระบบอื่น ๆ ได้ พบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทดสอบที่สภาวะมาตรฐานคือ 25 องศาเซลเซียสนั้น เมื่อนำมาทดสอบในสภาวะจริงของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีคือ 33.4 องศาเซลเซียส นี้มีผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงตามไปด้วยและส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIGS มีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดเนื่องจากโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ประกอบด้วย Glass/Cell/Glass โดยโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Glass/Cell/Tedlar ของ mono c-Si, poly c-Si และ HIT เก็บความร้อนได้น้อยกว่าทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มนี้มีค่าต่ำกว่า CIGS และการทดสอบพบว่าค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Ratio) ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:H มีค่า PR สูงที่สุดคือ 82.2% รองลงมาคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT และ (a-Si:H/ μ c-Si:H) ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้ค่า PR ต่ำสุดที่ 68.9% คือ mono c-Si จากนั้นทีมวิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับระบบ Solar Rooftop ในประเทศไทย พบว่างบประมาณในการติดตั้งที่เท่ากันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si จะให้ผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่การติดตั้ง และต่อการลงทุนมากที่สุด และยังเป็นเทคโนโลยีที่แพร่หลายทำให้มีราคาถูก แต่ในอนาคตหากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีราคาถูกลงอาจเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจกว่าเนื่องจากให้ค่าพลังงานต่อพื้นที่สูงที่สุด

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบการศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในประเทศไทย

รายการ	ระบบผลิต	ชนิดแผงเซลล์ แสงอาทิตย์	ขนาดของ ระบบ	ต้นทุน	ระยะเวลา คืนทุน
วิรัตน์ พิชิตกฤษกร และกิริติ ชยะกุลศิริ (2561)	Grid Connected System	Polycrystalline	252 kWp	11,866,005 บาท (47.08 บาท/วัตต์)	7.10 ปี
สุรกิจ ทองสุข และอรรถพล เก่งพิทักษ์กุล (2561)	Grid Connected System	Amorphous Silicon	20 kWp	1,121,500 บาท (56.07บาท/วัตต์)	5 ปี 3 เดือน
ชนาพล ตันติสัตยกุล,พีรพล รัชมีธรรมโชติ และ เมฆาพร อู่สกุล (2560)	Grid Connected System	Polycrystalline	2140 kWp	117,700,000 บาท (55 บาท/วัตต์)	10 ปี
พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา (2559)	Grid Connected System (Net Metering)	Polycrystalline	100 kWh	7,048,396 บาท (70.5 บาท/วัตต์)	11.76 ปี
ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และ โสภิตสุดา ทองโสภิต (2558)	Grid Connected System	Polycrystalline	-	50 บาท/วัตต์	7.41 ปี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร และเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. เก็บและรวบรวมข้อมูลหลังคาของอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ประเมินค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่
3. ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
4. การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

3.1 เก็บและรวบรวมข้อมูลหลังคาของอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ตั้งอยู่บริเวณละติจูด 14.8818 องศา และลองจิจูด 102.0185 องศา โดยสามารถแบ่งประเภทการใช้พื้นที่ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนที่ตำแหน่งที่ตั้งและการใช้พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจากโปรแกรม Google Earth Pro

3.1.1 ประเมินพื้นที่หลังคาที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประเมินพื้นที่หลังคาอาคารจากแบบแปลนอาคารจริงที่รวบรวมข้อมูลจากส่วนอาคารสถานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาคารที่ไม่สามารถรวบรวมแบบแปลนหลังคาจริงใช้วิธีการประเมินพื้นที่ร่วมกับโปรแกรม Google Earth Pro และวัดองศามุมเอียงของหลังคาอาคารจากพื้นที่จริง โดยการคัดเลือกพื้นที่อาคารทั้งหมดที่สามารถติดตั้งได้จริง โดยอ้างอิงจาก ณัฐพงษ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต (2558) ที่ใช้หลักเกณฑ์การคัดเลือกดังนี้

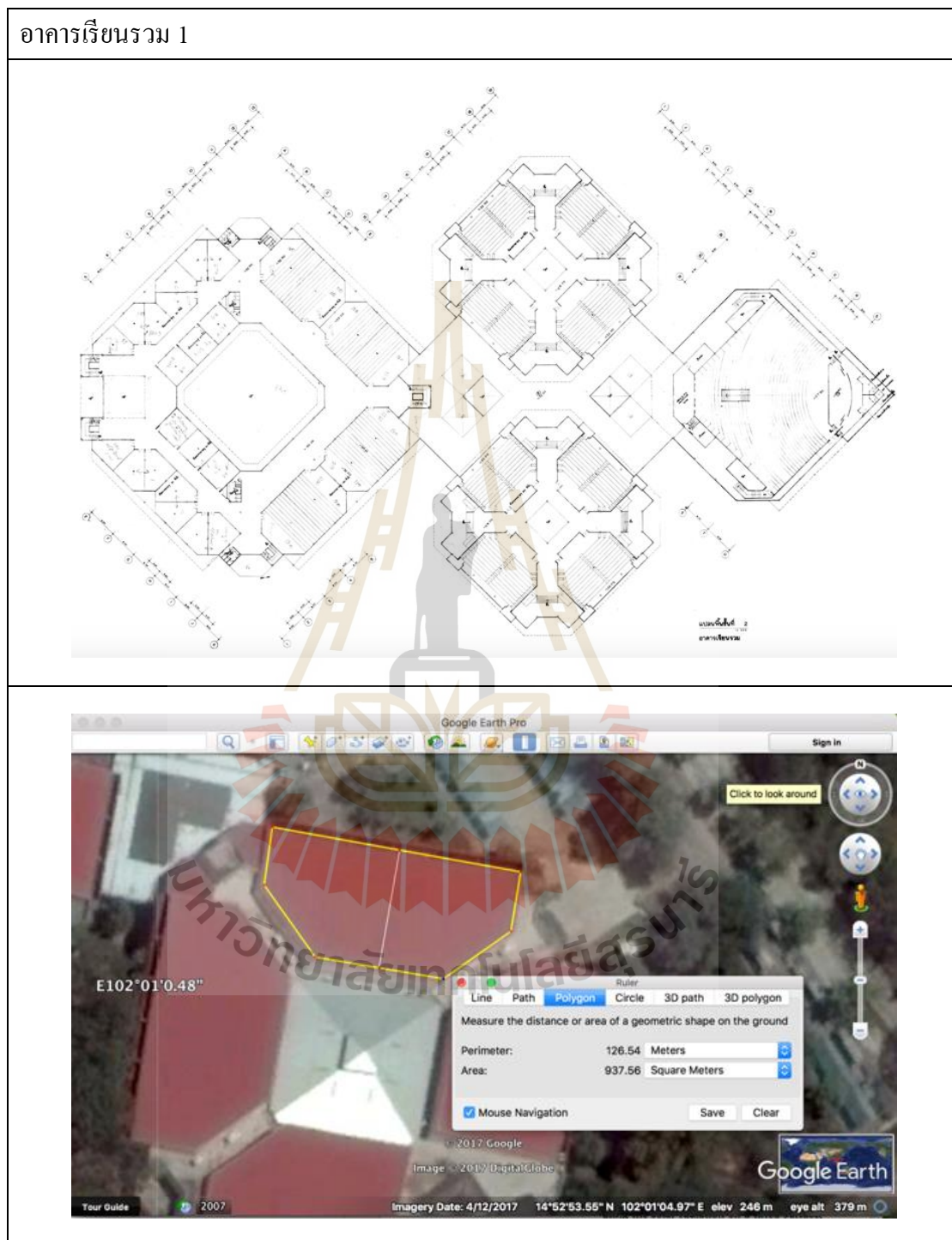
- 1) ทิศทางอาคาร พิจารณาคัดเลือกเฉพาะอาคารที่มีทิศทางอาคารหันด้านทิศใต้ เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุด
- 2) ลักษณะรูปแบบอาคาร จะพิจารณาคัดเลือกเฉพาะอาคารที่ไม่เป็นอาคารเชิงคุณค่าหรืออาคารด้านสถาปัตยกรรมการก่อสร้าง
- 3) พื้นที่การติดตั้ง จะพิจารณาคัดเลือกพื้นที่หลังคาอาคารที่เป็นคาบฟ้าเป็นอันดับแรก เพื่อลดปัจจัยด้านมุมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังของแต่ละอาคาร โดยการประเมินจากข้อมูลเบื้องต้นตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แบบแปลนหลังคาอาคารและตัวอย่างการประเมินพื้นที่หลังคาพร้อมโปรแกรม Google Earth Pro

อาคารเรียนรวม 1



ตารางที่ 3.1 แบบแปลนหลังคาอาคารและตัวอย่างการประเมินพื้นที่หลังคาพร้อมกับโปรแกรม Google Earth Pro (ต่อ)



3.1.2 วัดทิศทางของอาคาร

วัดทิศทางของอาคารตามมุมอะซิมูท เพื่อใช้คำนวณค่าศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบของพื้นที่ โดยใช้โปรแกรม PVsyst ร่วมคำนวณมุมอะซิมูท ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ภาพมุมอะซิมูทจาก โปรแกรม PVsyst V8.6 (Trail)

ภาพแสดงมุมเอียง	อะซิมูท
	อะซิมูท 0 มุมเอียง 15 องศา
	อะซิมูท 10 มุมเอียง 15 องศา
	อะซิมูท -30 มุมเอียง 15 องศา
	อะซิมูท -60 มุมเอียง 15 องศา
	อะซิมูท -80 มุมเอียง 15 องศา

ตารางที่ 3.3 ค่ามุมอะซิมูทที่วัดได้จากทิศทางของอาคารที่ใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณ

ค่ามุมอะซิมูท
0
10
-30
-60
-80
-90

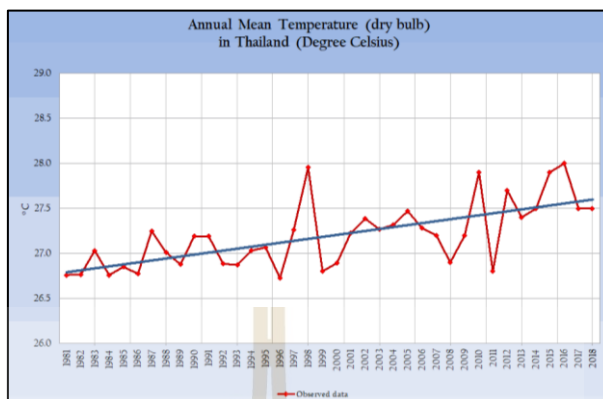
3.1.3 วัดมุมเอียงของหลังคาอาคาร

วัดมุมเอียงของหลังคาอาคารจากแบบแปลนของอาคาร และวัดจากพื้นที่จริงโดยในตารางที่ 3.4 เป็นตารางแสดงค่ามุมเอียงที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อหาค่ามุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 ค่ามุมเอียงของหลังคาอาคารที่ใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณ

ค่ามุมเอียง (°)
0°
10°
15°
20°
30°
45°

3.1.4 รวบรวมข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของพื้นที่ประเทศไทย และจังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524-2561 (ค.ศ.1981-2018)
(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา www.tmd.go.th)

ตารางที่ 3.5 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจังหวัดนครราชสีมา (องศาเซลเซียส) (กรมอุตุนิยมวิทยา)

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) ประเทศไทย	อุณหภูมิเฉลี่ย พ.ศ. 2561 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	อุณหภูมิเฉลี่ย พ.ศ. 2562 จังหวัดนครราชสีมา
มกราคม	24.6	24.5	27.1
กุมภาพันธ์	26.3	24.5	24.5
มีนาคม	28.2	27.5	30.8
เมษายน	29.5	28.5	31.7
พฤษภาคม	28.8	28.6	30.5
มิถุนายน	28.3	28.7	30.4
กรกฎาคม	27.9	27.9	30.2
สิงหาคม	27.6	27.7	29.0
กันยายน	27.3	28.2	27.9
ตุลาคม	26.8	28.0	28.1
พฤศจิกายน	25.7	26.9	26.6
ธันวาคม	24.2	25.9	24.6
ค่าเฉลี่ยทั้งปี	27.1	27.2	28.45

3.1.5 วิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของแต่ละอาคาร

ตารางที่ 3.6 หน่วยการใช้ไฟฟ้าของอาคารต่าง ๆ ของ มทส. เปรียบเทียบปีงบประมาณ 2558-2560 (1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2560)

อาคาร	2558	2559	2560
	จำนวนหน่วย (kWh)	จำนวนหน่วย (kWh)	จำนวนหน่วย (kWh)
อาคารรัตนเวชพัฒน์	2,723,086	3,364,404	3,226,685
อาคารสุรสิงไชย	1,594,779	672,005	605,328
อาคารเรียนรวม 1	1,169,139	1,246,819	930,873
อาคารเครื่องมือ 9	976,000	1,053,500	922,000
อาคารวิจัย	902,505	847,350	763,009
อาคารสุรพัฒน์ 1	764,800	864,480	890,560
อาคารเครื่องมือ 10	756,373	763,575	913,399
อาคารบรรณสาร 2	646,800	699,200	606,000
อาคารบรรณสาร 1	628,106	594,081	523,691
อาคารบริหาร	610,550	620,863	520,799
อาคารศูนย์รังสีวินิจฉัย	495,238	532,221	518,985
อาคารเรียนรวม 2	492,180	542,322	519,979
อาคารวิชาการ 1	475,741	447,472	418,328
อาคารวิชาการ 2	408,711	363,018	361,233
รวมทั้งสิ้น	14,479,848	14,192,370	11,720,869

ที่มา : ข้อมูลหน่วยการใช้กระแสไฟฟ้าจากส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1.6 ประเมินรูปแบบการใช้งานของแต่ละอาคาร

โดยแบ่งกลุ่มอาคารตามการใช้งานดังนี้

- อาคารเรียน ระยะเวลาการใช้งาน 08:00-20:00 น.
- อาคารสำนักงาน 08:30-16:30 น.
- ห้องปฏิบัติการ 08:00-20:00 น.
- ห้องสมุด 08:30-16:30 น.

- โรงพยาบาล 24 ชั่วโมง
- หอพัก 16:00-08:00 น.
- อาคารเอนกประสงค์ 08:00-20:00 น.

3.2 ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.1 ประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบ ต่อกับระบบจำหน่าย

$$E_{grid} = E_{PV} \eta_{inv} \quad (3.1)$$

โดยที่	E_{grid}	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้า (W/m^2)
	E_{PV}	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m^2)
	η_{inv}	คือ ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

3.2.2 ประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

$$E_{PV} = A \eta_e \bar{G}_t \quad (3.2)$$

โดยที่	E_{PV}	คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m^2)
	A	คือ พื้นที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
	η_e	คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ
	\bar{G}_t	คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนของมุมเอียง (W/m^2)

3.2.3 ประเมินค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ

$$\eta_e = \eta_R [1 - \beta(T_C - T_{NOCT})] \quad (3.3)$$

โดยที่	η_e	คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิ
	η_R	คือ ค่าประสิทธิภาพอ้างอิงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- β คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (K^{-1})
 T_C คือ ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline silicon
 T_{NOCT} คือ ค่าอุณหภูมิเซลล์ใช้งานที่อ้างอิงถึง โดยการทดสอบ

3.2.4 ประเมินค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline silicon

$$T_C = 30 + 0.0175(G_t - 300) + 1.14(T_a - 25) \quad (3.4)$$

- โดยที่ T_C คือ ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 G_t คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมบนมุมเอียง
 T_a คือ ค่าอุณหภูมิมสภาพแวดล้อม
(ที่มา : Lasnier and Ang, 1990; via Soteris A. Kalogirou, 2014)

3.2.5 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้คอมพิวเตอร์ โปรแกรม PVsyst V6.86

เนื่องจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมมากขึ้น จึงมีโปรแกรมที่ใช้อำนวยความสะดวกสำหรับการออกแบบระบบหลายโปรแกรม ซึ่ง PVsyst V6.86 เป็นโปรแกรมหนึ่งที่สามารถออกแบบระบบและทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยทดลองคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมุมเอียงจาก โปรแกรม PVsyst เปรียบเทียบกับการคำนวณจากสูตรดังผลลัพธ์ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมุมเอียงที่อะซิมุท 0 ($kWh/m^2/day$)

Slope	ค่าเฉลี่ยจาก การตรวจวัดจริง	ค่าจาก การคำนวณ	การคำนวณจากโปรแกรม PVsyst V8.6
0	4.93	4.93	4.91
10	ไม่ได้ตรวจวัด	5.04	5.06
15		5.05	5.10
20		5.04	5.10
30		4.93	5.02

3.3 ประเมินค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นที่

3.3.1 ประเมินค่าความเข้มของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง

$$G_t = G_{Bt} + G_{Dt} + G_{Gt} \quad (3.5)$$

โดยที่	G_t	คือ ค่าความเข้มของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง
	G_{Bt}	คือ ค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง (W/m^2)
	G_{Dt}	คือ ค่ารังสีกระจายจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง (W/m^2 -rad)
	G_{Gt}	คือ ค่ารังสีสะท้อนจากผิวโลกบนมุมเอียง

3.3.2 ประเมินค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง

$$G_{Bt} = G_B R_B \quad (3.6)$$

โดยที่	G_{Bt}	คือ ค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง (W/m^2)
	G_B	คือ ค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนแนวระนาบ (W/m^2)
	R_B	คือ ค่าตัวประกอบรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง

3.3.3 ประเมินค่าตัวประกอบรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง

$$R_B = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\text{zeith})} \quad (3.7)$$

โดยที่	R_B	คือ ค่าตัวประกอบรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง
	θ	คือ ค่ามุมตกกระทบ
	zenith	คือ ค่ามุมตกกระทบกรณีพื้นราบ (มุมซันิช)

3.3.4 ประเมินค่าความเข้มของค่ารังสีกระจายจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง

$$G_{Dt} = G_D \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] \quad (3.8)$$

โดยที่	G_{Dt}	คือ ค่ารังสีกระจายจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง ($\text{W}/\text{m}^2\text{-rad}$)
	G_D	คือ ค่ารังสีกระจายจากดวงอาทิตย์บนแนวระนาบ
	β	คือ มุมเอียงวัดจากแนวระนาบ

3.3.5 ประเมินค่าความเข้มของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์บนมุมเอียง

$$G_{Gt} = \rho_G (G_B + G_D) \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] \quad (3.9)$$

โดยที่	G_{Gt}	คือ ค่ารังสีสะท้อนจากผิวโลกบนมุมเอียง
	ρ_G	คือ ค่าปริมาณการสะท้อนแสงของพื้นโลก

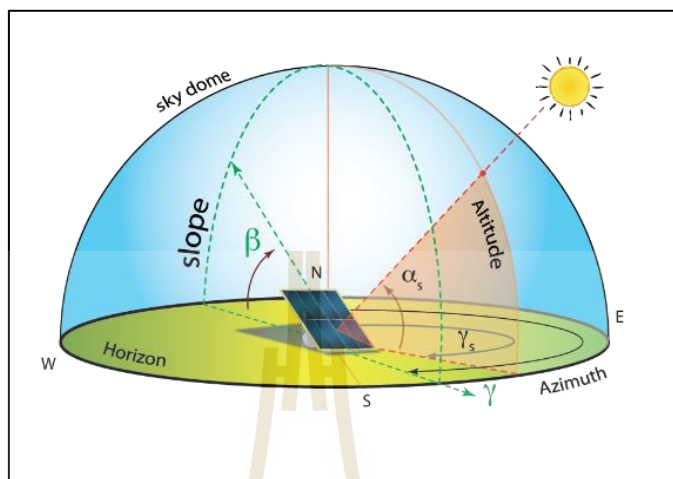
จากข้อ 3.3.1 สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$G_t = R_B G_B + G_D \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] + \rho_G (G_B + G_D) \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \quad (3.10)$$

ซึ่งค่าตัวแปรที่จำเป็นในการประเมินค่าความเข้มของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการเวลา และค่าตัวแปรมุมดวงอาทิตย์ดังนี้

ET	คือ ค่าสมการเวลา
N	คือ วันใน 1 ปี (1-365 วัน)
δ	คือ ค่ามุมเดคลิเนชัน
α	คือ ค่ามุมอัสติจูดดวงอาทิตย์
zenith	คือ ค่ามุมซินิก
L	คือ ละติจูด
h	คือ ค่ามุมชั่วโมง

γ_s คือ ค่ามุมตกกระทบ
 Z_s คือ ค่ามุมอะซิมูทของพื้นผิวรับแสง



รูปที่ 3.3 มุมอะซิมูทและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 (ที่มา: <https://www.e-education.psu.edu>)

3.3.6 สมการเวลา

$$ET = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \sin(B) - 1.5 \sin(B) \text{ [min]} \quad (3.10)$$

และ

$$B = (N - 81) \frac{360}{364} \quad (3.11)$$

3.3.7 ค่ามุมเดคลิเนชัน (Declination, δ)

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{364} (284 + N) \right] \quad (3.12)$$

3.3.8 ค่ามุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude angle, α)

$$\sin(\alpha) = \cos(\text{zenith}) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \quad (3.13)$$

3.3.9 ค่ามุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar azimuth angle, z)

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \cos(h)}{\cos(\alpha)} \quad (3.14)$$

3.3.10 ค่ามุมตกกระทบ (Incidence angle, θ)

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(L) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(Z_s) \\ & + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) \\ & + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) \cos(Z_s) \\ & + \cos(\delta) \sin(h) \sin(\beta) \sin(Z_s) \end{aligned} \quad (3.15)$$

3.4 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

3.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present Value หรือ NPV) หมายถึง ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับเงินสดจ่ายลงทุน ณ อัตราค่าของทุน (Cost of capital)

$$\text{NPV} = \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ} - \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย}$$

$$\text{NPV} = B - C$$

จากสูตรดังกล่าวย่อมมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ขึ้นได้ 3 กรณี คือ

1. $B - C = 0$ แสดงว่าผลตอบแทนเท่ากับต้นทุน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าโครงการไม่มีกำไร ไม่ขาดทุน
2. $B - C > 0$ แสดงว่าผลตอบแทนมากกว่าต้นทุน โครงการมีกำไร
3. $B - C < 0$ แสดงว่าผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุน โครงการขาดทุน

จากสูตรดังกล่าวเป็นการพิจารณาโครงการเพียงปีเดียว หากโครงการลงทุนมีจำนวนหลายปีจะได้สูตรคำนวณดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t} \quad (3.16)$$

โดยที่	NPV	คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
	B_t	คือ กระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ
	K	คือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ
	C_t	คือ เงินสดจ่ายลงทุน
	n	คือ อายุของโครงการ

3.4.2 อัตราผลตอบแทนของโครงการ

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal rate of return หรือ IRR) เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุน

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (3.17)$$

โดยที่	PV	คือ มูลค่าปัจจุบันหรือเงินสดจ่ายลงทุน
	B_t	คือ กระแสเงินสดรับแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ
	C_t	คือ กระแสเงินสดจ่ายแต่ละปีของโครงการ
	r	คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการ
	n	คือ อายุของโครงการ

จากสูตรย่อมทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ได้ 3 กรณี คือ

1. ถ้าค่าของ r ใด ๆ มาแทนค่าในสูตรแล้วทำให้อัตราผลตอบแทนโครงการ (r) มากกว่าค่าของทุน (Cost of capital) แสดงว่าโครงการมีกำไรสมควรลงทุน
2. ถ้าค่าของ r ใด ๆ มาแทนค่าในสูตรแล้วทำให้อัตราผลตอบแทนโครงการเท่ากับค่าของทุน แสดงว่าโครงการนี้ไม่มีกำไรไม่ขาดทุน คือ เสมอตัว

3. ถ้าค่าของ r ใด ๆ มาแทนค่าในสูตรแล้วทำให้อัตราผลตอบแทนโครงการน้อยกว่าค่าของทุน แสดงว่าโครงการนี้ขาดทุนไม่น่าลงทุน

3.4.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit/Cost ratio) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายไปในการดำเนินโครงการ ในทางธุรกิจเรียกอัตราส่วนนี้ว่า “ดัชนีการทำกำไร (Profitability index)”

$$B / C \text{ Ratio} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน}} \quad (3.18)$$

จากสูตรนี้ย่อมมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ได้ 3 กรณี คือ

1. $B/C = 1$ แสดงว่า $B = C$ หรือผลตอบแทนเท่ากับต้นทุน แสดงว่าคุ้มทุน ธุรกิจดำเนินงานแล้วไม่มีกำไร ไม่ขาดทุน

2. $B/C > 1$ แสดงว่า $B > C$ หรือผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนแสดงว่าธุรกิจจะมีกำไร

3. $B/C < 1$ แสดงว่า $B < C$ หรือผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุนแสดงว่าธุรกิจจะขาดทุน

จากสูตรข้างต้นเป็นการพิจารณาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนในกรณีที่มีการลงทุนเพียงปีเดียว หากมีการลงทุนหลายปีโดยคำนึงถึงมูลค่าปัจจุบันของเงินที่มีค่าตามเวลาด้วยแล้วนั้นสามารถเขียนสูตรได้ดังนี้

$$B / C \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}} \quad (3.19)$$

โดยที่	B_t	คือ กระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ
	K	คือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ
	C_t	คือ เงินสดจ่ายลงทุน
	n	คือ อายุของโครงการ

3.4.4 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด

ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period : DPB) หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิโดยคำนึงถึงมูลค่าเงินตามเวลา ส่วนใหญ่จะใช้นับเป็นจำนวนปี โดยหาระยะเวลาการคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่น่าลงทุนกว่าโครงการที่มีระยะเวลาในการคืนทุนยาว และระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการจะต้องไม่นานกว่าอายุการใช้งานของโครงการ โดยระยะเวลาคืนทุนของโครงการสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$DPB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \quad (3.20)$$

3.4.5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าปรับเฉลี่ย

ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าปรับเฉลี่ย (Levelized Cost of energy : LCOE) คือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่คิดเฉลี่ยตลอดอายุโครงการ (บาท/kWh) ที่คำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลาดังสมการต่อไปนี้

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r/100)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r/100)^t}} \quad (3.21)$$

โดยที่	I_t	คือ เงินลงทุนในระบบในปีที่ t (บาท)
	M_t	คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับดำเนินการและบำรุงรักษาในปีที่ t (บาท/ปี)
	E_t	คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีในปีที่ t (kWh/ปี)
	r	คือ อัตราคิดลด (Discount rate) เท่ากับ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ

3.4.6 การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)

การวิเคราะห์ความไวเป็นการประเมินค่าโครงการอีกครั้งหนึ่ง โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปจากการคาดการณ์เดิม ซึ่งปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงนี้สามารถส่งผลกระทบต่อโครงการ และรายได้รวมของโครงการ เช่น อัตราดอกเบี้ย ราคาต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV), อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal rate of return : IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit/Cost ratio), ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period : DPB), ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าปรับเฉลี่ย (Levelized Cost of energy : LCOE), การวิเคราะห์ความไว สามารถคำนวณโดยคำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลาได้จากสมการและตัวประกอบในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สูตรการคำนวณค่าเงินตามเวลา

หาค่า	ทราบค่า	ตัวประกอบ	สมการ	สูตร
P	F	$(P/F, i\%, n)$	$P=F(P/F, i\%, n)$	$P = F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$
F	P	$(F/P, i\%, n)$	$F=P(F/P, i\%, n)$	$F = P(1+i)^n$
P	A	$(P/A, i\%, n)$	$P=A(P/A, i\%, n)$	$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$
A	P	$(A/P, i\%, n)$	$A=P(A/P, i\%, n)$	$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$
A	F	$(A/F, i\%, n)$	$A=F(A/F, i\%, n)$	$A = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$
F	A	$(F/A, i\%, n)$	$F=A(F/A, i\%, n)$	$F = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$

- เมื่อ n คือ ระยะเวลาหรือช่วงเวลา
 I คือ อัตราดอกเบี้ย
 P คือ จำนวนเงินมีมูลค่าเริ่มต้นหรือปัจจุบัน
 F คือ จำนวนเงินมีมูลค่าสุดท้ายหรืออนาคต
 A คือ จำนวนเงินที่รับหรือจ่ายเท่า ๆ กันทุกช่วงเวลา

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลสำหรับการลงทุน

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)	การตัดสินใจลงทุน
มากกว่า 0	มากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้	มากกว่า 1	คุ้มค่ากับการลงทุน
น้อยกว่า 0	น้อยกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้	น้อยกว่า 1	ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน
เท่ากับ 0	เท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้	เท่ากับ 1	พิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ก่อนการลงทุน

3.4.7 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ โดยมีสมมติฐานทางการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 3.10 และการวิเคราะห์ความไวของโครงการในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.10 สมมติฐานทางการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	ค่าที่ใช้	ที่มา
ตำแหน่งที่ตั้ง	ละติจูด 14.8818 ลองจิจูด 102.0185	พิกัดที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อายุโครงการ	25 ปี	ระยะเวลารับประกันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Polycrystalline	
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้	310 วัตต์ ต่อแผ่น	
ขนาดแผง	100 × 200 cm	
อัตราเสื่อมสภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	0.5% ต่อปี	
ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14.64%	
สมรรถนะระบบ	85%	
ต้นทุนระบบ	50 บาท ต่อวัตต์	ข้อมูลจากผู้ติดตั้งระบบ

ตารางที่ 3.10 สมมติฐานทางการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ (ต่อ)

รายการ	ค่าที่ใช้	ที่มา
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	1% ของต้นทุนระบบต่อปี	
อัตราเงินเฟ้อ	3%	อัตราเงินเฟ้อย้อนหลัง 10 ปี
อัตราดอกเบี้ยคิดลด	6.00%	อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ (Minimum Loan Rate, MLR) ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.00%
อัตราค่าไฟฟ้า	4.35	ค่าเฉลี่ยจากบิลค่าไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2560 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อัตราส่วนหนี้สิน/ต้นทุน	0	เงินลงทุนทั้งหมดเป็นของเจ้าของโครงการ

ตารางที่ 3.11 ปัจจัยที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ความไว

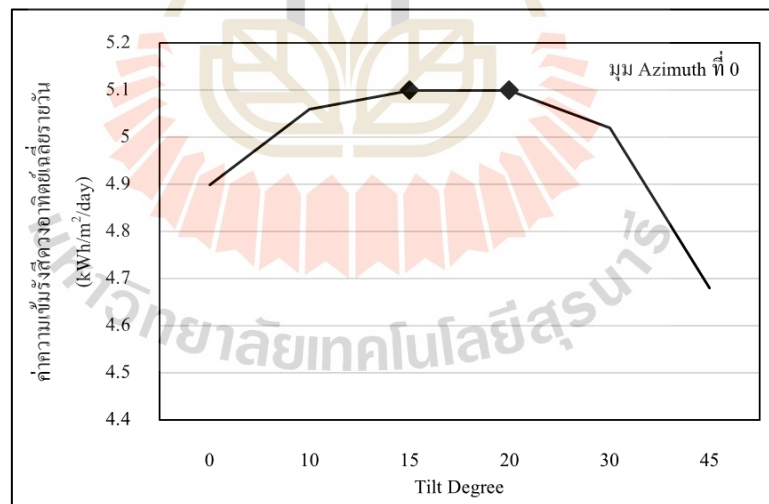
ปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์	ค่าที่ใช้
ราคาต้นทุนของระบบต่อวัตต์	45 บาท ต่อวัตต์

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยต่อวันของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนมุมเอียงและทิศทางตามหลังคาอาคารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยต่อวันของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนมุมเอียงและทิศทางตามหลังคาอาคารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีพบว่า ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียงมุขที่ 0 หรือทิศทางของหลังคาอาคารทางทิศใต้ที่ 0 และมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 15 องศา และ 20 องศา มีปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $5.10 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ โดยค่าจากการตรวจวัดที่สถานีจากการตรวจวัดสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครราชสีมา มีค่าเฉลี่ยรายวันจากการเก็บข้อมูลจริงเท่ากับ $4.93 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียงมุขที่ 0

โดยผลการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันจากทิศทาง และมุมเอียงของหลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตามพื้นที่ที่ตั้งที่ 14.8818, 102.0185 ดังแสดงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในมุมเอียงหลังคาและมุมเอียงมุขที่แตกต่างกันในตารางที่ 4.1 พบว่า นอกเหนือ

จากมุมเอียงของหลังคาอาคารแล้วนั้นทิศทางของอาคารเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อการรับแสง โดยเฉพาะอาคารที่จำเป็นต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาโดยไม่ได้เพิ่มเงินลงทุน ส่วนของขาตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติม โดยความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในมุมอะซิมุทและมุมเอียงที่ต่างกันเฉลี่ยรายวันแสดงค่าในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในมุมเอียงและมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (kWh/m²/day)

		ทิศทางอาคาร (Azimuth)					
		0	10	-30	-60	-80	-90
มุมเอียง (Slope)	0	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
	10	5.06	5.06	5.03	4.97	4.92	4.88
	15	5.10	5.09	5.06	4.97	4.89	4.84
	20	5.10	5.09	5.05	4.95	4.85	4.79
	30	5.02	5.01	4.97	4.84	4.7	4.62
	45	4.68	4.68	4.64	4.53	4.39	4.29

โดยสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในแต่ละเดือนได้รูปที่ 4.2 โดยแสดงมุมอะซิมุท และมุมเอียง ดังนี้ เช่น A-30S15 คือ มุมอะซิมุทที่ -30 และมุมเอียงของหลังคาที่ 15 ซึ่งจากกราฟแสดงค่าศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์พบว่า มุมอะซิมุทที่ 0, 10 และ -30 ที่มุมเอียง 10, 15 และ 20 องศา มีศักยภาพรายเดือนตลอดทั้งปีของความเข้มแสงอาทิตย์ต่อวันผลรวมมากกว่า 60 kWh/m²/day โดยที่มุมอะซิมุทที่ -60 ที่มุมเอียง 45 องศา มีผลรวมศักยภาพรายเดือนตลอดทั้งปีน้อยที่สุด โดยมีค่าน้อยกว่า 54.39 kWh/m²/day ซึ่งหากพิจารณาคัดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ควรพิจารณาคัดตั้งในทิศทางอาคารที่มีมุมอะซิมุทที่ 0,10 และ -30 ที่มุมเอียงที่ 10, 15 และ 20 องศา ก่อนเนื่องจากเป็นทิศทางและมุมเอียงที่มีศักยภาพในการรับรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด



รูปที่ 4.2 ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมอะซิมุท และมุมเอียงที่แตกต่างกัน

4.2 ผลการศึกษาพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทิศทาง (อะซิมุท) และมุมเอียงของ หลังคาอาคารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการคำนวณพื้นที่จากแบบแปลนจริงของหลังคาอาคาร ร่วมกับการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก โปรแกรม Google Earth สามารถสรุปผลการศึกษาเรียงลำดับตาม อาคารที่มีการใช้หน่วยไฟฟ้าสูงสุดจากข้อมูลปีงบประมาณ 2560 ทั้งสิ้น 32 อาคาร โดยในแต่ละ อาคารมีศักยภาพในการติดตั้งที่แตกต่างกันไป โดยพิจารณาจากทิศทาง ของหลังคาที่สามารถรับ แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะหลังคาอาคารดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ศักยภาพของหลังคาอาคารพิจารณาจากทิศทาง มุมเอียง และขนาดพื้นที่หลังคาอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง โดยจัดเรียงจากอาคารที่มีการใช้หน่วยพลังงานไฟฟ้าสูงในปีงบประมาณ 2560 ทั้งสิ้น 32 อาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่	ชื่ออาคาร	Azimuth (องศา)	Slope (องศา)	ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ บนพื้นเอียง (kWh/m ² /day)	ขนาดพื้นที่หลังคา สำหรับติดตั้งแผง เซลล์แสงอาทิตย์ (m ²)
1	รัตนเวชพัฒน์	0	0	4.9	400
2	เรียนรวม 1	10	10	5.06	900
		-80	10	4.92	900
3	อาคารเครื่องมือ 9	-60	20	4.95	650
4	อาคารเครื่องมือ 10	-60	20	4.95	240
		-30	20	5.05	240
5	วิจัย	10	30	5.01	250
		-80	30	4.7	250
6	บรรณสาร 2	10	30	5.01	100
7	สุรเริงไชย	0	15	5.1	3,150
		-30	30	4.97	200
		-60	30	4.84	400
8	บริหาร	10	30	5.01	200
		-80	30	4.7	200
9	บรรณสาร 1	10	30	5.01	300
		-80	30	4.7	300
10	เรียนรวม 2	0	15	5.1	800
11	ศูนย์รังสีวินิจฉัย	0	15	5.1	1,000
12	วิชาการ 1	10	20	5.09	350
		-80	20	4.85	350
13	อาคารเครื่องมือ 3	10	30	5.01	800

ตารางที่ 4.2 ศักยภาพของหลังคาอาคารพิจารณาจากทิศทาง มุมเอียง และขนาดพื้นที่หลังคาอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง โดยจัดเรียงจากอาคารที่มีการใช้หน่วยพลังงานไฟฟ้าสูงในปีงบประมาณ 2560 ทั้งสิ้น 32 อาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ต่อ)

ที่	ชื่ออาคาร	Azimuth (องศา)	Slope (องศา)	ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ บนพื้นเอียง (kWh/m ² /day)	ขนาดพื้นที่หลังคา สำหรับติดตั้งแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ (ม ²)
14	วิชาการ 2	10	20	5.09	120
		-80	20	4.85	180
15	อาคารเครื่องมือ 1	10	30	5.01	300
		-80	30	4.7	500
16	อาคารเครื่องมือ 4	10	30	5.01	800
17	อาคารเครื่องมือ 11	10	20	5.09	400
		-30	20	5.05	700
18	ศูนย์วิจัยมันฯ	0	15	5.1	1,400
19	ศูนย์เครื่องมือฯ 7	-60	45	4.53	200
		-60	45	4.53	200
		-30	45	4.64	200
20	กีฬาภิรมย์	-80	20	4.85	350
21	หอพัก นศ. แพทย์	0	20	5.1	360
		-90	20	4.79	160
22	ขนส่ง 1	10	15	5.09	700
23	ศูนย์สร้างเสริม สุขภาพ	-90	20	4.79	150
24	สุรพัฒน์ 2	-30	45	4.64	500
		-60	45	4.53	550
25	ศูนย์สหกิจ ฯ	10	20	5.09	300
26	สุขนิवास 4	0	20	5.1	450
27	สุขนิवास 8	0	20	5.1	450

ตารางที่ 4.2 ศักยภาพของหลังคาอาคารพิจารณาจากทิศทาง มุมเอียง และขนาดพื้นที่หลังคาอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง โดยจัดเรียงจากอาคารที่มีการใช้หน่วยพลังงานไฟฟ้าสูงในปีงบประมาณ 2560 ทั้งสิ้น 32 อาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ต่อ)

ที่	ชื่ออาคาร	Azimuth (องศา)	Slope (องศา)	ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ บนพื้นเอียง (kWh/m ² /day)	ขนาดพื้นที่หลังคา สำหรับติดตั้งแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ (m ²)
28	สุขนิवास 7	0	20	5.1	450
29	สุขนิवास 2	0	20	5.1	450
30	สุขนิवास 6	0	20	5.1	450
31	สุขนิवास 3	0	20	5.1	450
32	สุขนิवास 1	0	20	5.1	450

จากตารางที่ 4.2 สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดกลุ่มตาม ทิศทาง และมุมเอียงของหลังคาอาคารพบว่า ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาที่มีศักยภาพค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียงสูง มีพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงที่สุดคือ 6,350 ตร.ม. โดยคิดเป็น 27% ของพื้นที่ติดตั้งทั้งหมดคือ 23,200 ตร.ม. และมีอาคารที่ประเมินสำหรับการติดตั้งทั้งสิ้น 32 อาคาร แต่มีหลังคาที่สามารถติดตั้งได้แตกต่างกันเนื่องจากมีทิศทาง และมุมเอียงของหลังคาแตกต่างกันรวมทั้งสิ้น 47 หลังคาอาคารดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ศักยภาพของพื้นที่หลังคาอาคารในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จัดกลุ่มตามทิศทาง และมุมเอียงโดยเรียงลำดับจากมุมอะซิมูท และมุมเอียงที่มีศักยภาพทางพื้นที่สูงสุด

Azimuth (องศา)	Slope (องศา)	ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง (kWh/m ² /day)	จำนวนหลังคา อาคาร	พื้นที่ติดตั้ง (m ²)
0	15	5.65	4	6,350
0	20	5.84	8	3,510
10	30	6.1	7	2,750
-80	30	4.85	4	1,250
10	20	5.83	4	1,170
-60	45	5.19	3	950

ตารางที่ 4.3 ศักยภาพของพื้นที่หลังคาอาคารในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จัดกลุ่มตามทิศทาง และมุมเอียงโดยเรียงลำดับจากมุมเอียง และมุมเอียงที่มีศักยภาพทางพื้นที่สูงสุด (ต่อ)

Azimuth (องศา)	Slope (องศา)	ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง (kWh/m ² /day)	จำนวนหลังคา อาคาร	พื้นที่ติดตั้ง (ม ²)
-30	20	5.68	2	940
-80	10	4.94	1	900
10	10	5.41	1	900
-60	20	5.28	2	890
-80	20	4.93	3	880
-30	45	5.92	2	700
10	15	5.63	1	700
-60	30	5.32	1	400
0	0	4.85	1	400
-90	20	4.75	2	310
-30	30	5.89	1	200
-30	15	5.52	0	0
รวมทั้งสิ้น			47	23,200

4.3 ผลการวิเคราะห์โหลดทางไฟฟ้าของแต่ละอาคาร

การวิเคราะห์โหลดทางไฟฟ้าจากข้อมูลบิลค่าไฟฟ้าจริง โดยอ้างอิงข้อมูลหน่วยการใช้ไฟจริง โดยแยกตามจุดมิเตอร์ไฟฟ้าของปีงบประมาณ 2560 (1 ตุลาคม 2559 ถึง 30 กันยายน 2560) ข้อมูลจากส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อประกอบการพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid System) ซึ่งข้อมูลปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่นำมาคำนวณเป็นข้อมูลจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าจริง 24 ชั่วโมง ในระยะเวลาหนึ่งปี จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายเดือน และรายวันเพื่อพิจารณาประกอบกับศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลหน่วยการใช้ไฟฟ้าในตารางที่ 4.4 นี้เป็นข้อมูลที่อ้างอิงตามจุดมิเตอร์ไฟฟ้าจริง ซึ่งในบางอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงจะมีมิเตอร์มากกว่า 1 จุด เช่น อาคารรัตนเวชพัฒน์ (1), อาคารรัตนเวชพัฒน์ (2) ซึ่งการจัดเรียงข้อมูลจัดเรียงจากค่าหน่วยการใช้ไฟฟ้าจากมากไปหาน้อยทั้งสิ้น 38 อาคาร

ตารางที่ 4.4 หน่วยการใช้ไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2560 ของอาคารต่าง ๆ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี

ที่	ชื่อมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วยการใช้ไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2560 (1 ตุลาคม 2559 ถึง 30 กันยายน 2560)		
		หน่วยการใช้ไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า
		รวม (kWh)	ต่อเดือน (kWh)	ต่อวัน (kWh)
1	รัตนเวชพัฒนา (1)	1,675,916	139,659.7	4,591.6
2	รัตนเวชพัฒนา (2)	1,550,769	129,230.8	4,248.7
3	เรียนรวม 1	930,873	77,572.8	2,550.3
4	อาคารเครื่องมือ 9	922,000	76,833.3	2,526.0
5	สุรพัฒนา 1	890,560	74,213.3	2,439.9
6	อาคารเครื่องมือ 10	913,399	76,116.6	2,502.5
7	วิจัย	763,009	63,584.1	2,090.4
8	บรรณสาร 2	606,000	50,500.0	1,660.3
9	สุรเรียงไชย	605,328	50,444.0	1,658.4
10	บริหาร	520,799	43,400.0	1,426.8
11	บรรณสาร 1	523,691	43,640.9	1,434.8
12	เรียนรวม 2	519,979	43,331.6	1,424.6
13	ศูนย์รังสีวินิจฉัย	518,985	43,248.8	1,421.9
14	วิชาการ 1	418,328	34,860.7	1,146.1
15	อาคารเครื่องมือ 3	320,692	26,724.4	878.6
16	วิชาการ 2	361,233	30,102.8	989.7
17	อาคารเครื่องมือ 1	279,642	23,303.5	766.1
18	อาคารเครื่องมือ 4	236,000	19,666.7	646.6
19	อาคารเครื่องมือ 11	523,030	43,585.8	1,433.0
20	ศูนย์วิจัยมันฯ	464,148	38,679.0	1,271.6
21	ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	229,957	19,163.1	630.0

ตารางที่ 4.4 หน่วยการใช้ไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2560 ของอาคารต่าง ๆ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี (ต่อ)

ที่	ชื่อมิเตอร์ไฟฟ้า	หน่วยการใช้ไฟฟ้าประจำปีงบประมาณ 2560 (1 ตุลาคม 2559 ถึง 30 กันยายน 2560)		
		หน่วยการใช้ไฟฟ้า รวม (kWh)	ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า ต่อเดือน (kWh)	ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า ต่อวัน (kWh)
22	ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	183,238	15,269.8	502.0
23	ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	145,541	12,128.4	398.7
24	กีฬาภิรมย์	197,370	16,447.5	540.7
25	หอพัก นศ แพทย์ (1)	91,350	7,612.5	250.3
26	หอพัก นศ แพทย์ (2)	58,450	4,870.8	160.1
27	ขนส่ง 1	157,280	13,106.7	430.9
28	ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	84,600	7,050.0	231.8
29	สุรพัฒน์ 2	52,125	4,343.8	142.8
30	ศูนย์สหกิจฯ	50,000	4,166.7	137.0
31	สุขนิवास 4	46,560	3,880.0	127.6
32	สุขนิवास 8	36,660	3,055.0	100.4
33	สุขนิवास 7	36,780	3,065.0	100.8
34	สุขนิवास 2	25,050	2,087.5	68.6
35	สุขนิवास 6	22,620	1,885.0	62.0
36	สุขนิवास 3	26,150	2,179.2	71.6
37	ส่วนอาคารสถานที่	23,360	1,946.7	64.0
38	สุขนิवास 1	18,200	1,516.7	49.9

4.4 ผลการคำนวณศักยภาพการผลิตไฟฟ้าบนหลังคาอาคารใน มทส.

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าศักยภาพการผลิตไฟฟ้าบนหลังคาอาคารใน มทส. ทั้ง 32 อาคาร ที่ได้รับการประเมิน โดยค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าต่อวันได้นำข้อมูลจากค่าเฉลี่ยพลังงานที่ใช้ต่อวันของแต่ละอาคารและพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ขนาดของระบบ และพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบรายวัน เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจากค่าศักยภาพแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมุมเอียง

และมุมมองชิมูชของแต่ละหลังคาอาคาร และการคำนวณการชดเชยโหลดไฟฟ้าได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยพลังงานที่ใช้ต่อวัน เปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้รับจากระบบรายวันดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และร้อยละการใช้ไฟฟ้า เพื่อลดโหลดการใช้ไฟฟ้า โดยอ้างอิงข้อมูลจากค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคารต่าง ๆ ในปีงบประมาณ 2560

ที่	ชื่ออาคาร	ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าต่อวัน (kWh)	พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m ²)	ขนาดของระบบ (kWp)	พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบรายวัน (kWh)	ใช้ PV ชดเชยโหลดไฟฟ้าจริง (ร้อยละ)
1	รัตนเวชพัฒนา	8,840	320	49.6	195	0.02
2	เรียนรวม 1	2,550	1,440	223.2	894	0.35
3	อาคารเครื่องมือ 9	2,526	520	80.6	320	0.13
4	อาคารเครื่องมือ 10	2,502	384	59.52	239	0.10
5	วิจัย	2,090	400	62	242	0.12
6	บรรณสาร 2	1,660	80	12.4	50	0.03
7	สุรเริงไชย	1,658	3,000	465	1891	1.14
8	บริหาร	1,427	320	49.6	193	0.14
9	บรรณสาร 1	1,435	480	74.4	290	0.20
10	เรียนรวม 2	1,425	640	99.2	406	0.29
11	ศูนย์รังสีวินิจฉัย	1,422	800	124	508	0.36
12	วิชาการ 1	1,146	560	86.8	346	0.30
13	อาคารเครื่องมือ 3	879	640	99.2	399	0.45
14	วิชาการ 2	990	240	37.2	148	0.15
15	อาคารเครื่องมือ 1	766	640	99.2	384	0.50
16	อาคารเครื่องมือ 4	647	640	99.2	399	0.62
17	อาคารเครื่องมือ 11	1,433	880	136.4	555	0.39
18	ศูนย์วิจัยมันฯ	1,272	1,120	173.6	711	0.56

ตารางที่ 4.5 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และร้อยละการใช้ไฟฟ้า เพื่อลดโหลดการใช้ไฟฟ้า โดยอ้างอิงข้อมูลจากค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคารต่าง ๆ ในปีงบประมาณ 2560 (ต่อ)

ที่	ชื่ออาคาร	ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าต่อวัน (kWh)	พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m ²)	ขนาดของระบบ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบรายวัน (kWh)	ใช้ PV ชดเชยโหลดไฟฟ้าจริง (ร้อยละ)
19	ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	630	160	24.8	90	0.14
	ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	502	160	24.8	90	0.18
	ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	399	160	24.8	92	0.23
20	กีฬาภิรมย์	541	280	43.4	169	0.31
21	หอพัก นศ แพทย์ (1)	250	288	44.64	183	0.73
	หอพัก นศ แพทย์ (2)	160	128	19.84	76	0.48
22	ขนส่ง 1	431	560	86.8	355	0.82
23	ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	232	120	18.6	72	0.31
24	สุรพัฒน์ 2	143	840	130.2	479	3.35
25	ศูนย์สหกิจ ฯ	137	240	37.2	152	1.11
26	สุขนิवास 4	128	360	55.8	228	1.79
27	สุขนิवास 8	100	360	55.8	228	2.27
28	สุขนิवास 7	101	360	55.8	228	2.27
29	สุขนิवास 2	69	360	55.8	228	3.33
30	สุขนิवास 6	62	360	55.8	228	3.69
31	สุขนิवास 3	72	360	55.8	228	3.19
32	สุขนิवास 1	50	360	55.8	228	4.58

โดยจากตารางที่ 4.5 สามารถนำมาจัดกลุ่มของอาคาร ตามการแบ่งกลุ่มการใช้ไฟของอาคาร ในปีงบประมาณ 2560 ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าการชดเชยโหลดไฟฟ้าเมื่อจัดแบ่งตามกลุ่มอาคารแล้วนั้น กลุ่มอาคาร โรงพยาบาลนำพลังงานที่ได้จากระบบชดเชยโหลดไฟฟ้าได้

น้อยที่สุดโดยชดเชยโหลดไฟฟ้าจริงที่ร้อยละ 0.05 และกลุ่มที่ชดเชยการใช้งานจริงสูงที่สุดคือกลุ่มบ้านพักบุคลากร โดยไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสามารถชดเชยโหลดการใช้งานจริงในอาคารได้ถึงร้อยละ 1.19

ตารางที่ 4.6 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และร้อยละการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดโหลดการใช้ไฟฟ้าโดยอ้างอิงข้อมูลจากค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าจริงแบ่งตามกลุ่มอาคารในปีงบประมาณ 2560

ข้อมูลปีงบประมาณ 2560			ข้อมูลจากการคำนวณ			
กลุ่มอาคาร	หน่วยไฟฟ้าใช้งานจริงต่อปี (kWh)	(A) โหลดไฟฟ้าใช้งานเฉลี่ยต่อวัน	พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m ²)	ขนาดของระบบ (kWh)	(B) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ (kWh/day)	ใช้ PV ชดเชยโหลดไฟฟ้าจริง : (B)/(A)
ที่ทำการ	2,744,678	7,520	2,080	322.4	1,284	0.17
สถานีกีฬา	1,070,298	2,932	3,280	508.4	2,060	0.70
หอพักนักศึกษา	3,207,600	8,788	-	-	-	-
ฟาร์ม	941,423	2,579	-	-	-	-
เทคโนโลยี	2,272,418	6,226	1,960	303.8	1,190	0.19
เรียนรวม	2,880,971	7,893	2,880	446.4	1,792	0.23
โรงพยาบาล	7,456,217	20,428	1,656	256.7	1,033	0.05
ศูนย์เครื่องมือ	3,251,585	8,908	4,184	648.5	2,568	0.29
บ้านพักบุคลากร	491,243	1,346	2,520	390.6	1,599	1.19
ไฟถนน	111,941	307	-	-	-	-
รวม	24,428,374	66,927	18,560	2,876.8	11,527	

4.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

จากการคำนวณตามสมมติฐานการคำนวณในตารางที่ 3.10 พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่า 0 ทุกอาคาร, อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ย

เงินกู้ที่ได้กำหนดไว้คือ 6.0%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) มีค่ามากกว่า 1 คือ สัดส่วนผลตอบแทนสูงกว่าต้นทุน และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มีค่าน้อยกว่าระยะเวลาของโครงการซึ่งกำหนดไว้ที่ 25 ปี ตามระยะเวลารับประกันการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ยของทั้งโครงการเท่ากับ 1.94 บาทต่อหน่วย ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แยกแต่ละอาคาร

อาคาร	ขนาดระบบ (kWp)	เงินลงทุนในปีแรก	NPV (บาท)	IRR (%)	B/C Ratio	Payback Period (ปี)	LCOE (บาท/หน่วย)
รัตนเวชพัฒนา	49.6	(2,194,806)	610,022	8.86	1.38	10	1.96
เรียนรวม 1	223.2	(9,852,979)	3,787,706	9.62	1.40	9	1.93
อาคารเครื่องมือ 9	80.6	(3,562,113)	1,398,941	9.63	1.39	9	1.94
อาคารเครื่องมือ 10	59.52	(2,626,435)	1,080,414	9.79	1.40	9	1.92
วิจัย	62	(2,747,026)	994,937	9.37	1.36	10	1.98
บรรณสาร 2	12.4	(546,981)	227,343	9.83	1.41	9	1.92
สุรสิงไชย	465	(20,484,836)	8,840,638	9.96	1.42	9	1.90
บริหาร	49.6	(2,197,621)	795,950	9.37	1.36	10	1.98
บรรณสาร 1	74.4	(3,296,432)	1,193,925	9.37	1.36	10	1.98
เรียนรวม 2	99.2	(4,365,788)	1,936,419	10.06	1.43	9	1.89
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	124	(5,457,235)	3,205,354	11.23	1.43	8	1.89
วิชาการ 1	86.8	(3,833,709)	1,534,775	9.70	1.40	9	1.93
อาคารเครื่องมือ 3	99.2	(4,375,849)	1,818,742	9.83	1.41	9	1.92
วิชาการ 2	37.2	(1,644,199)	643,945	9.62	1.39	10	1.94
อาคารเครื่องมือ 1	99.2	(4,400,091)	1,535,189	9.26	1.35	10	1.99
อาคารเครื่องมือ 4	99.2	(4,375,849)	1,818,742	9.83	1.41	9	1.92
อาคารเครื่องมือ 11	136.4	(6,007,130)	2,613,777	9.99	1.42	9	1.89

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แยกแต่ละอาคาร

อาคาร	ขนาดระบบ (kWp)	เงินลงทุนในปีแรก	NPV (บาท)	IRR (%)	B/C Ratio	Payback Period (ปี)	LCOE (บาท/หน่วย)
ศูนย์วิจัยมันฯ	173.6	(7,466,529)	5,516,473	12.38	1.43	8	1.89
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	24.8	(1,109,224)	276,175	8.37	1.27	10	2.12
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	24.8	(1,109,224)	276,175	8.37	1.27	10	2.12
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	24.8	(1,105,633)	318,177	8.72	1.30	10	2.07
กีฬากีฬารมย์	43.4	(1,923,745)	686,794	9.33	1.36	10	1.98
หอพัก นศ แพทย์ (1)	44.64	(1,964,346)	874,415	10.08	1.43	9	1.88
หอพัก นศ แพทย์ (2)	19.84	(880,851)	422,059	10.35	1.34	9	2.01
ขนส่ง 1	86.8	(3,820,522)	1,689,012	10.05	1.43	9	1.89
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	18.6	(825,798)	278,711	9.16	1.34	10	2.01
สุรพัฒน์ 2	130.2	(5,814,448)	1,554,924	8.54	1.29	10	2.09
ศูนย์สหกิจ ฯ	37.2	(1,637,112)	726,841	10.07	1.43	9	1.89
สุนนิवास 4	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88
สุนนิवास 8	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88
สุนนิवास 7	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88
สุนนิवास 2	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88
สุนนิवास 6	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88
สุนนิवास 3	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88
สุนนิवास 1	55.8	(2,455,432)	1,093,019	10.08	1.43	9	1.88

ข้อมูลจากตารางที่ 4.7 สามารถจัดกลุ่มอาคารได้ตามตารางที่ 4.8 โดยเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจริงกับข้อมูลไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ โดยคำนวณค่าไฟที่ลดได้ในอัตรา 4.35 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 4.8 การประเมินปริมาณหน่วยพลังงาน และค่าไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ

ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าปีงบประมาณ 2560			ข้อมูลจากการคำนวณค่าเฉลี่ยรายปี		
กลุ่มอาคาร	ค่าไฟฟ้า (บาท)	จำนวนหน่วย (kWh)	เงินลงทุน ระบบ (บาท)	ปริมาณไฟฟ้า ที่ผลิตได้ต่อปี (kWh)	ค่าไฟฟ้า (4.35 บาท)
ที่ทำการ	11,914,122	2,744,678	(14,243,078)	416,393	1,811,309
สถานกีฬา	4,656,568	1,070,298	(22,408,580)	667,173	2,902,204
เทคโนโลยี	9,855,871	2,272,418	(13,280,976)	385,584	1,677,292
เรียนรวม	12,546,955	2,880,971	(19,699,292)	581,017	2,527,423
โรงพยาบาล	32,463,731	7,456,217	(11,323,037)	334,913	1,456,873
ศูนย์เครื่องมือ	14,140,289	3,251,585	(28,671,547)	833,290	3,624,812
บ้านพักบุคลากร	2,133,814	491,243	(17,188,026)	518,371	2,254,913

โดยสามารถสรุปการประเมินโครงการในทางเศรษฐศาสตร์สามารถประเมินตามกลุ่มอาคารได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การประเมินโครงการในทางเศรษฐศาสตร์โดยจัดกลุ่มอาคาร

กลุ่มอาคาร	NPV (บาท)	IRR (%)	B/C Ratio	Payback Period (ปี)	LCOE (บาท/หน่วย)
ที่ทำการ	5,658,619	9.62	1.39	9.6	1.94
สถานกีฬา	9,527,432	9.64	1.39	9.5	1.94
เทคโนโลยี	7,071,397	10.46	1.36	9.0	1.99
เรียนรวม	7,872,233	9.79	1.41	9.2	1.92
โรงพยาบาล	5,390,562	9.93	1.39	9.2	1.95
ศูนย์เครื่องมือ	11,136,333	9.31	1.36	9.4	1.99
บ้านพักบุคลากร	7,651,135	10.08	1.43	9.0	1.88

4.6 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

จากการคำนวณตามสมมุติฐานในตารางที่ 3.11 สามารถคำนวณความอ่อนไหวของโครงการ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4.10 เนื่องจากโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นโครงการที่ใช้เงินลงทุนครั้งแรกสูง ดังนั้นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการจึงวิเคราะห์ตามแนวโน้มต้นทุนการติดตั้งระบบที่ลดลงและเพิ่มขึ้นคือ 45 บาทต่อวัตต์, 55 บาทต่อวัตต์ และ 60 บาทต่อวัตต์ ซึ่งพบว่าแม้ต้นทุนสูงขึ้น โดยอยู่ที่ 60 บาทต่อวัตต์ โครงการในภาพรวมยังอยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุน

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่ต้นทุนของระบบต่อวัตต์

รายการ	45 บาทต่อวัตต์	50 บาทต่อวัตต์	55 บาทต่อวัตต์	60 บาทต่อวัตต์
เงินลงทุนในปีแรก	(112,304,055)	(126,814,535)	(141,325,015)	(155,835,495)
NPV (บาท)	70,236,430	54,307,710	38,378,990	22,450,270
IRR (%)	11.35%	9.75%	8.48%	7.31%
B/C Ratio	1.54	1.39	1.26	1.16
Payback Period (ปี)	8.31	9.3	10.33	10.71
LCOE (บาท/หน่วย)	1.75	1.94	2.14	2.33

4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบ

โดยหากพิจารณาหน่วยการใช้ไฟฟ้าจริงในปีงบประมาณ 2560 ควบคู่กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ โดยพบว่าปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากระบบ ผลิตได้น้อยกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จริงในแต่ละอาคาร โดยแสดงข้อมูลสรุปในรูปแบบที่ 4.3

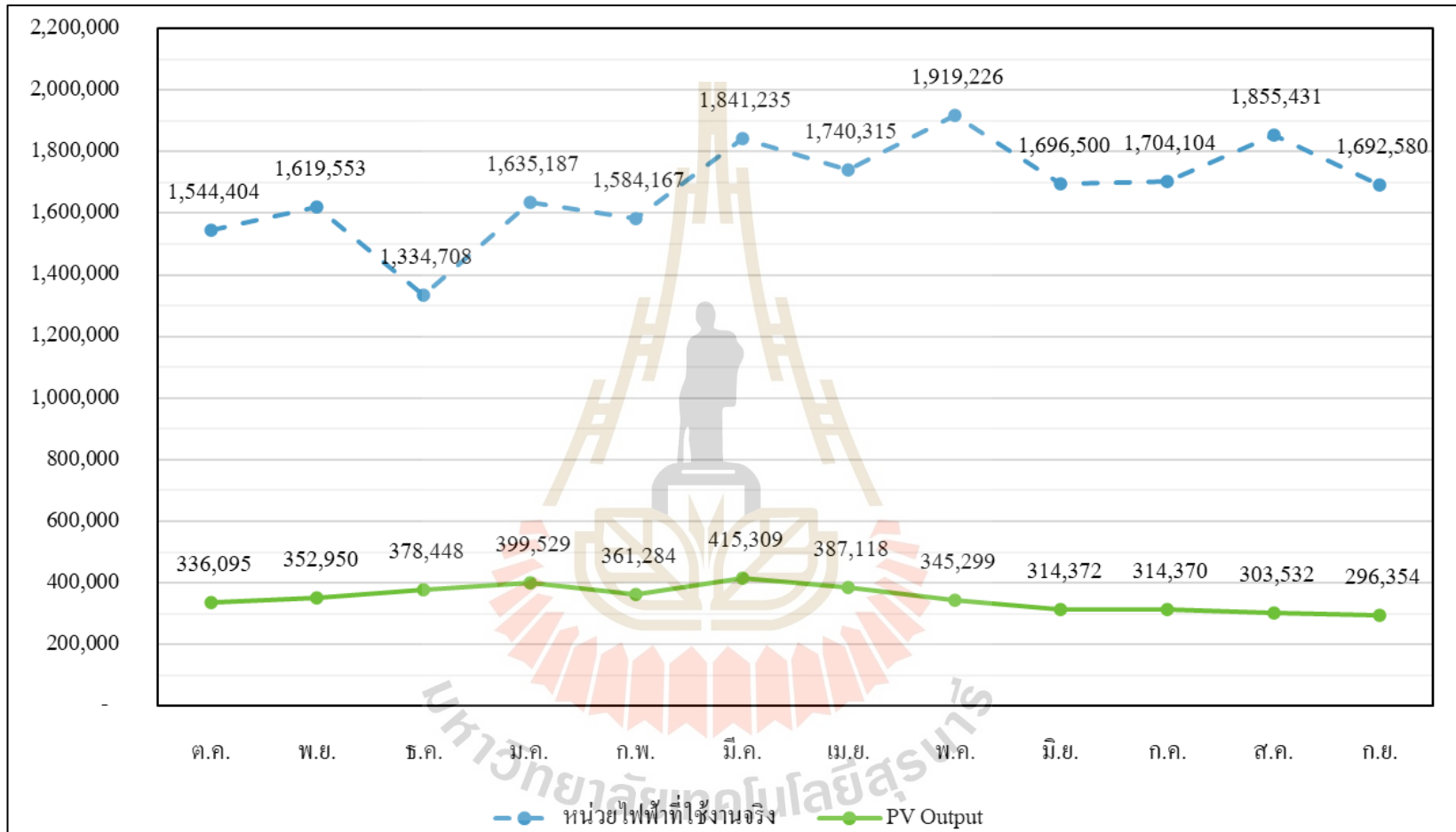
ตารางที่ 4.11 หน่วยการใช้ไฟฟ้ารายเดือนแยกตามกลุ่มอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2560

กลุ่มอาคาร	ต.ค. 59	พ.ย. 59	ธ.ค. 59	ม.ค. 60	ก.พ. 60	มี.ค. 60	เม.ย. 60	พ.ค. 60	มิ.ย. 60	ก.ค. 60	ส.ค. 60	ก.ย. 60
ที่ทำการ	258,095	200,582	156,832	265,373	317,721	293,879	233,063	206,433	228,015	188,610	204,033	192,042
สถานกีฬา	63,403	64,007	97,035	64,873	123,744	94,415	94,231	90,010	87,770	90,600	106,710	93,500
เทคโนโลยี	145,886	167,378	134,789	163,472	224,368	239,230	192,871	203,408	203,227	188,358	220,640	188,791
เรียนรวม	203,857	227,756	146,316	269,138	164,668	253,731	227,492	306,866	281,383	251,821	283,822	264,121
โรงพยาบาล	536,135	629,683	608,265	501,061	503,650	611,989	659,192	784,350	618,058	646,076	726,138	631,620
ศูนย์เครื่องมือ	295,311	292,637	161,060	335,577	217,349	305,029	291,004	277,400	233,258	296,939	264,745	281,276
บ้านพักบุคลากร	41,717	37,510	30,411	35,693	32,667	42,962	42,462	50,759	44,789	41,700	49,343	41,230
รวม	1,544,404	1,619,553	1,334,708	1,635,187	1,584,167	1,841,235	1,740,315	1,919,226	1,696,500	1,704,104	1,855,431	1,692,580

ตารางที่ 4.12 หน่วยไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบแยกตามกลุ่มอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กลุ่มอาคาร	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ที่ทำกร	37,293	38,864	41,507	43,889	39,954	46,235	43,423	38,994	35,580	35,521	34,139	33,133
สถานกีฬา	59,793	62,312	66,592	70,453	64,074	74,122	69,570	62,364	56,963	56,826	54,630	53,017
เทคโนโลยี	34,972	37,241	40,268	42,355	37,808	42,902	39,385	34,743	31,454	31,596	30,736	30,408
เรียนรวม	51,745	53,352	56,683	60,114	55,175	64,410	61,159	55,328	50,718	50,495	48,251	46,342
โรงพยาบาล	29,795	30,601	32,476	34,456	31,712	37,125	35,346	32,030	29,403	29,263	27,903	26,742
ศูนย์เครื่องมือ	75,543	80,532	86,969	91,489	81,722	92,771	85,175	75,080	67,919	68,186	66,459	65,789
บ้านพักบุคลากร	46,954	50,049	53,953	56,772	50,839	57,744	53,059	46,759	42,334	42,482	41,413	40,923
รวม	336,095	352,950	378,448	399,529	361,284	415,309	387,118	345,299	314,372	314,370	303,532	296,354





รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟจริง กับปริมาณไฟฟ้าที่คาดว่าจะได้รับจากระบบ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเพื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โดยหัวข้อที่ทำการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ทิศทางและมุมเอียงของหลังคาอาคารที่ควรพิจารณาติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ควรพิจารณาติดตั้งในทิศทางอาคารที่มีมุมอะซิมุทที่ 0, 10 และ -30 ที่มุมเอียงที่ 10, 15 และ 20 องศา ก่อนเนื่องจากเป็นทิศทาง และมุมเอียงของหลังคาอาคารที่มีศักยภาพในการรับรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด

2. พื้นที่หลังคาที่สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประเมินจากกลุ่มอาคารที่มีความเป็นไปได้ในการติดตั้ง คือ กลุ่มอาคารที่ทำการ, สถานกีฬา, เทคโนโลยีธานี, เรียงรวม, โรงพยาบาล, ศูนย์เครื่องมือ และบ้านพักบุคลากร ทั้งสิ้น 32 อาคาร รวมพื้นที่ที่มีศักยภาพที่สามารถติดตั้งระบบอยู่ที่ 23,200 ตารางเมตร โดยจากการคำนวณสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 100×200 เซนติเมตรได้ 9,280 แผง หากต้องการลงทุนทั้งระบบ

3. พลังงานไฟฟ้าที่เข้าสู่สายส่งหากมีการจัดการ โดยแบ่งมิเตอร์เป็นกลุ่มอาคารจะสามารถชดเชยการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งระบบโดยรวมอยู่ที่ 17% โดยคำนวณเฉพาะกลุ่มอาคารที่มีการติดตั้งระบบ

4. การลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หากประเมินในทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการลงทุนทั้งระบบ (32 อาคารที่ประเมิน) จะใช้เงินลงทุนครั้งแรกทั้งสิ้น 126,814,535 บาท โดยมีขนาดระบบรวม 2876.8 kWp ซึ่งหากมีต้นทุนต่อวัตต์อยู่ที่ 50 บาทต่อวัตต์ จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) รวมเท่ากับ 54, 307, 710 และ NPV มีค่ามากกว่า 0 ทุกอาคาร,

5. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เฉลี่ยทุกอาคารเท่ากับ 9.75% โดยมีค่ามากกว่า อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ได้กำหนดไว้คือ 6.0%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) เฉลี่ยทุกอาคารเท่ากับ 1.39 โดยมีค่ามากกว่า 1 คือสัดส่วนผลตอบแทนสูงกว่าต้นทุน และระยะเวลา คืนทุน (Payback Period) มีค่าเฉลี่ยทุกอาคารเท่ากับ 9.3 ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาของโครงการ ซึ่งกำหนดไว้ที่ 25 ปี ตามระยะเวลารับประกันการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีต้นทุน การผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ยของทั้งโครงการเท่ากับ 1.94 บาทต่อหน่วย

6. การพิจารณาความอ่อนไหวของโครงการที่ตั้งสมมติฐานให้ต้นทุนต่อวัตต์ลดลงนั้นทำให้โครงการมีความน่าสนใจในการลงทุนมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกศึกษาเฉพาะรูปแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline Silicon Cells เท่านั้น ซึ่งหากมีการศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นจะให้ปริมาณไฟฟ้าและต้นทุน ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ที่แตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นการนำค่าเฉลี่ยต่อหน่วยไฟฟ้าจริงของมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารีมาเพื่อคำนวณ และเป็นการติดตั้งเพื่อลดโหลดการใช้ไฟฟ้าเท่านั้น ยังไม่ได้ รวบรวมรายได้อื่น ๆ เช่นรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต หรือรายได้จากการใช้มาตรการต่าง ๆ ของ รัฐเข้ามาช่วยเหลือ ซึ่งในครั้งต่อไปผู้ที่สนใจศึกษาอาจวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนโดยอาจ นำรายได้ดังกล่าวเข้ามาเป็นตัวแปรในการคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ เพิ่มเติมได้

3. แม้ว่าในภาพรวมจากการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์พบว่าอาคารที่ประเมินมีความคุ้มค่า ในการลงทุน แต่หากจะมีการลงทุนจริงนั้น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีไม่ได้เป็นผู้ลงทุน แต่เพียงผู้เดียว การร่วมลงทุนกับหน่วยธุรกิจอื่น ๆ อาจจะมีตัวแปรเพิ่มเติมในการคำนวณ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4. เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในโซนหอพักนักศึกษา เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มี เวลาการใช้งานในหลายช่วงเวลา อีกทั้งหลังคาอาคารของแต่ละหอพักมีความแตกต่างกันคือมี หอพักห้องเดี่ยวชั้นเดียว และหอพักรวมที่มีหลายชั้น ซึ่งในโซนหอพักนักศึกษาไม่ได้ถูกประเมิน ความเป็นไปได้ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งนี้ แต่ทั้งนี้หากต้องการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในโซนหอพัก นักศึกษาท่านสามารถใช้ข้อมูลมูเอียงและอะซิมูทจากงานวิจัยนี้ เพื่อคำนวณค่าศักยภาพของรังสี แสงอาทิตย์ได้

รายการอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2560). อัตราการใช้ประโยชน์ของโรงไฟฟ้า กับระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศ. [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://goo.gl/4UfHiL>.
- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.dede.go.th>.
- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579.
- ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และ โสภิตสุดา ทองโสภิต. (2558). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วารสารวิจัยพลังงาน. 12(2): 59-74.
- ธนาพล ตันติสัตยกุล, พีรพล รัศมีโชติ และเมฆาพร อุษสกุล. (2560). การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงานสิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(6): 1083-1099. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://tujournals.tu.ac.th>
- ชนัญญ์ ลังกาดี และอรรถกร อาสนคำ. (2559). การประเมินสมรรถนะโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 23(3):130-141.
- ธนาพล ตันติสัตยกุล, พีรพล รัศมีธรรมโชติและเมฆาพร อุษสกุล. (2560). การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงานสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(6), 1083-1099.
- พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา. (2559). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นเพื่อการประหยัดพลังงาน. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 15 (1), 183-200.

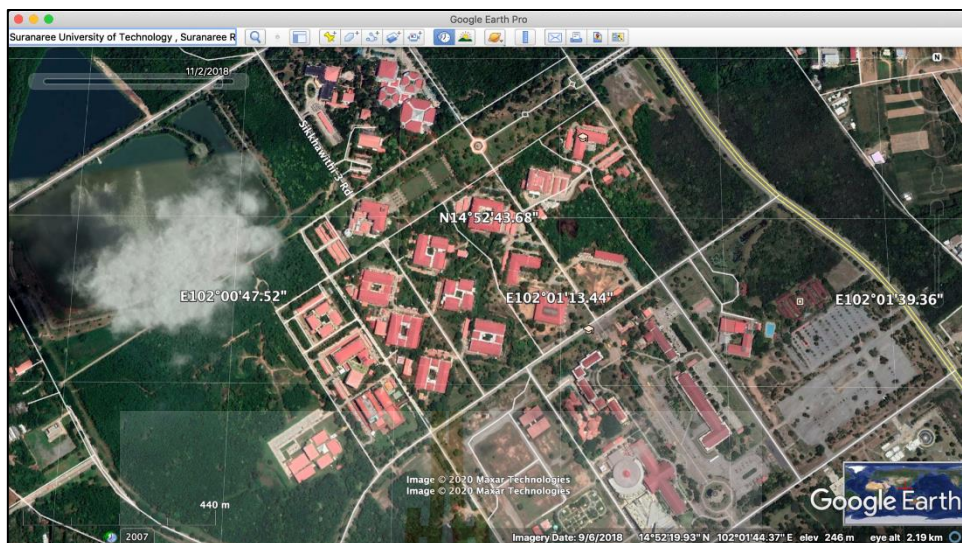
- พีระวุฒิ ชินวรรังสี, ศศิวิมล ทรงไตร, ญัฐกานต์ อุดมเดชาฉัตติ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, อัสวิน หงษ์สิงห์ทอง, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์, จรัญ ศรีธราธิคุณ และกอบศักดิ์ ศรีประภา. (2558). การประเมินสมรรถนะและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย. *วิศวกรรมลาดกระบัง*. 32(2): 19-24.
- วิรัตน์ พิชิตบุญชรและกิริติ ชยะกุลศิริ. (2561). การออกแบบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารกองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*. 29(1), 25-36.
- สุรกิจ ทองสุก. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 10(19), 157-168.
- ส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. *หน่วยการใช้กระแสไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปีงบประมาณ 2557*.
- Amornrat Limmanee, Sasiwimon Songtrai, Nuttakarn Udomdachanut, Songpakit Kaewniyompanit, Yukinobu Sato, Masaki Nakaishi, Songkiate Kittisontirak, Kobsak Sriprapha and Yukitaka Sakamoto. (2017). Degradation analysis of photovoltaic modules under tropical climatic conditions and its impacts on LCOE. *Renewable Energy*. 102: 199-204.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: Processes and systems*. Burlington, MA: Elsevier/Academic Press. M. Benganem. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*. 88: 1427-1433.
- Jongsung Lee, Byungik Chang, Can Aktas and Ravi Gorthala. (2016). Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England. *Renewable Energy*. 99: 452-464.
- Tarek O. Kaddoura, Makbul A.M. Ramli and Yusuf A. Al-Turki. (2016). On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 65: 626-634.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. [On-line]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- Zhen Ye, Andre Nobre, Thomas Reindl, Joachim Luther and Christian Reise. (2013). On PV module temperatures in tropical regions. *Solar Energy*. 88: 80-87.



ภาคผนวก ก

แผนผังพื้นที่หลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จากโปรแกรม Google Earth Pro



รูปที่ ก.2 หลังคาอาคารรัตนเวชพัฒน์ และศูนย์รังสีวินิจฉัย



รูปที่ ก.3 หลังคาอาคารวิชาการ 1 และอาคารวิชาการ 2



รูปที่ ก.4 หลังคากลุ่มอาคารศูนย์เครื่องมือ



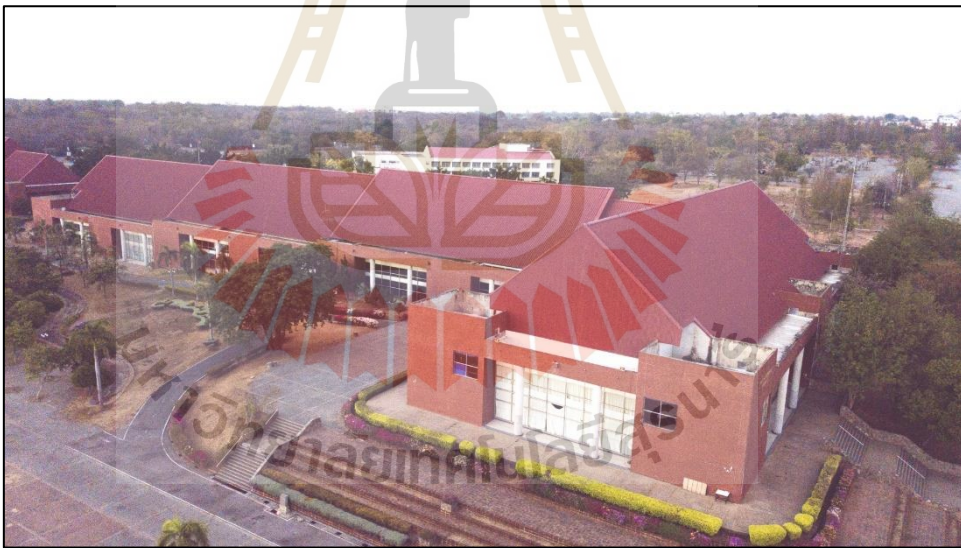
รูปที่ ก.5 หลังคาอาคารเรียนรวม 1



รูปที่ ก.6 หลังคาอาคารบรรณสาร



รูปที่ ก.7 หลังคาอาคารศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง



รูปที่ ก.8 หลังคาอาคารสุรพัฒน์ 2



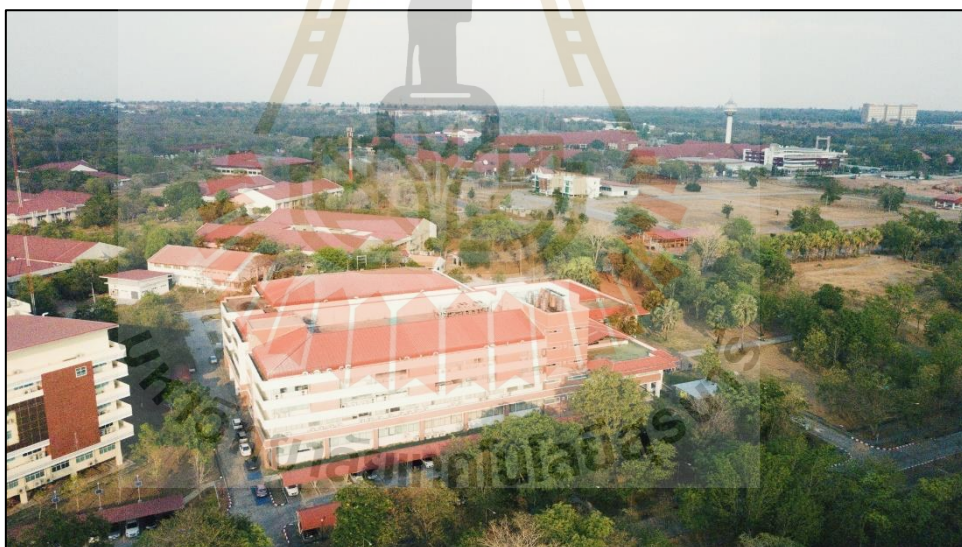
รูปที่ ก.9 หลังคาอาคารศูนย์เครื่องมือ 7



รูปที่ ก.10 หลังคาอาคารสุรเร่งิไชย



รูปที่ ก.11 หลังคาอาคารกีฬาภิรมย์



รูปที่ ก.12 หลังคาอาคารศูนย์เครื่องมือ 9



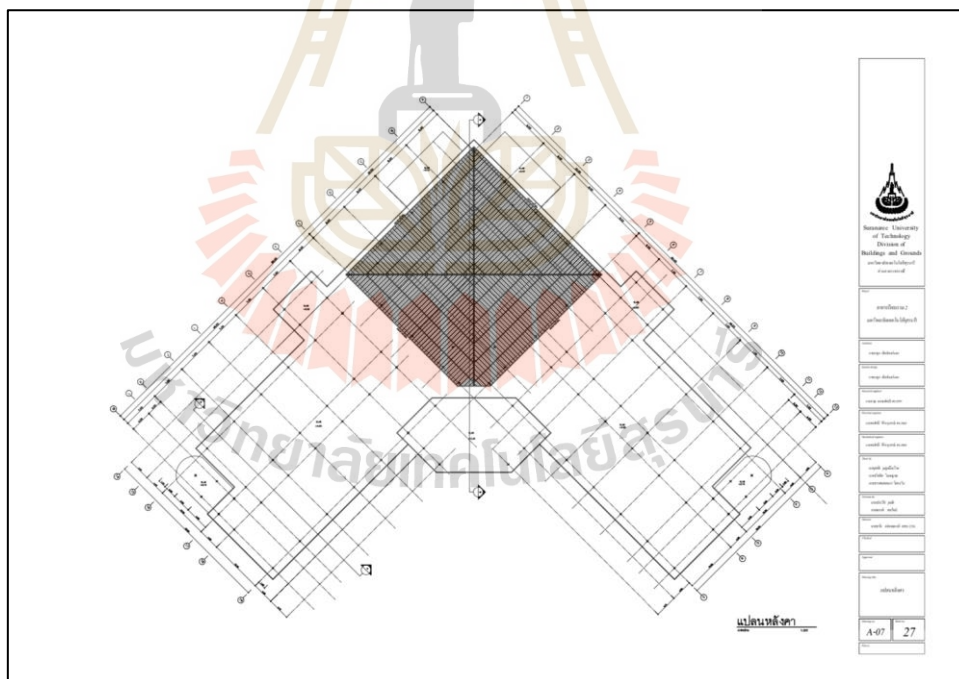
รูปที่ ก.13 หลังคาอาคารศูนย์เครื่องมือ 10 และ 11



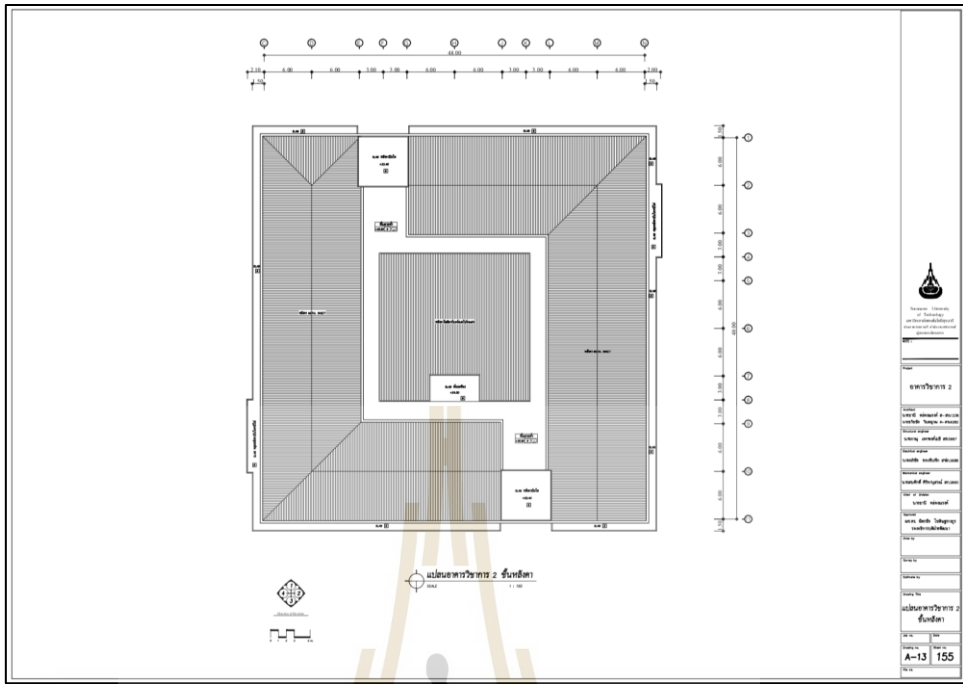
รูปที่ ก.14 หลังคาอาคารหอพัก 18



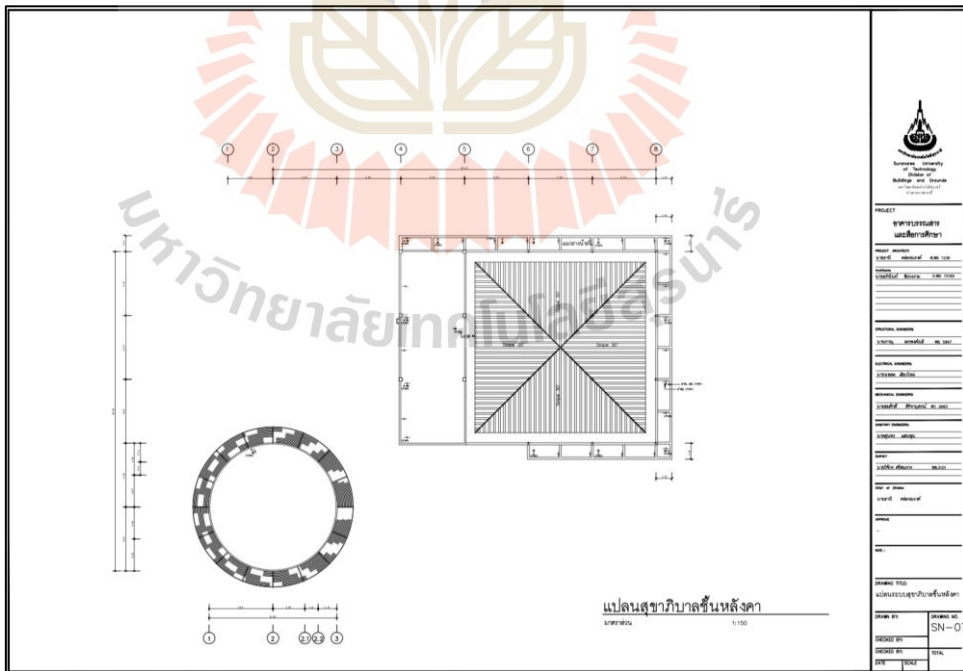
รูปที่ ก.15 หลังคาอาคารสร้างเสริมสุขภาพ



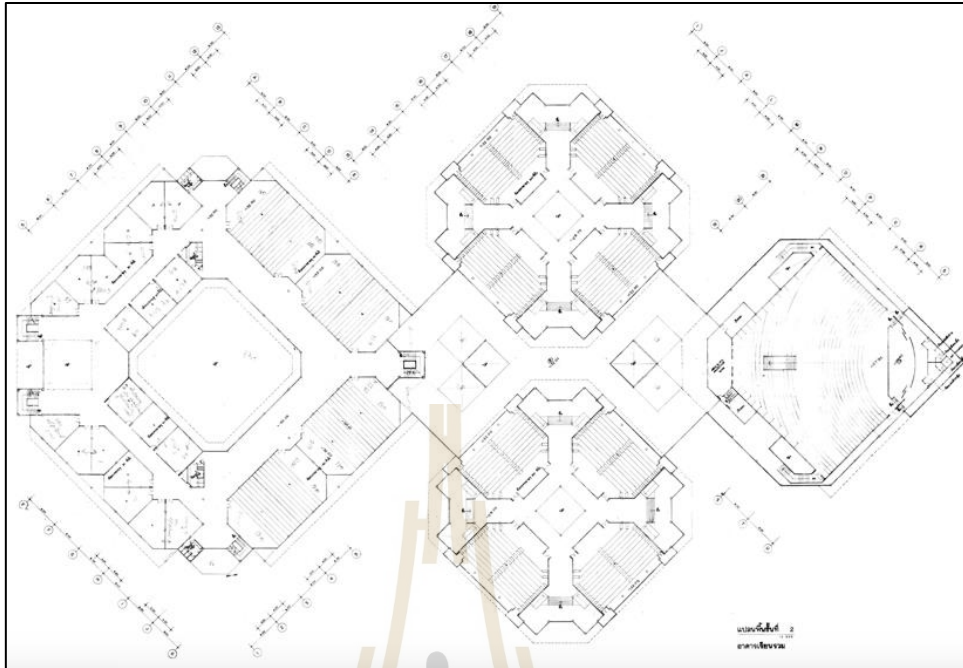
รูปที่ ก.16 แบบแปลนหลังคาอาคารเรียนรวม 2



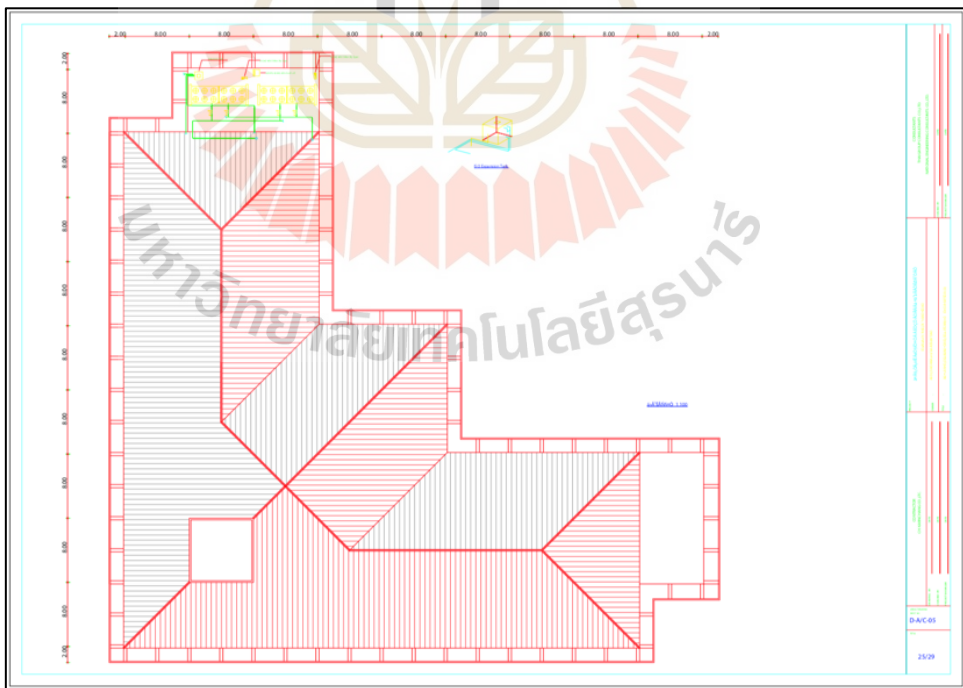
รูปที่ ก.17 แบบแปลนห้องคาอาการวิชาการ 2



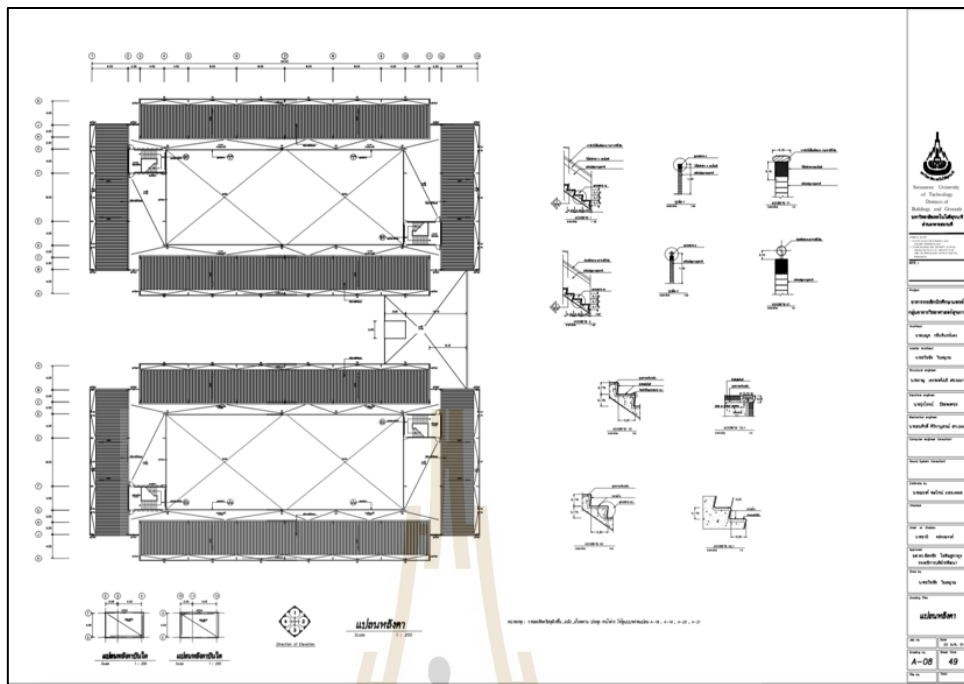
รูปที่ ก.18 แบบแปลนห้องคาอาการบรรณสาร 2



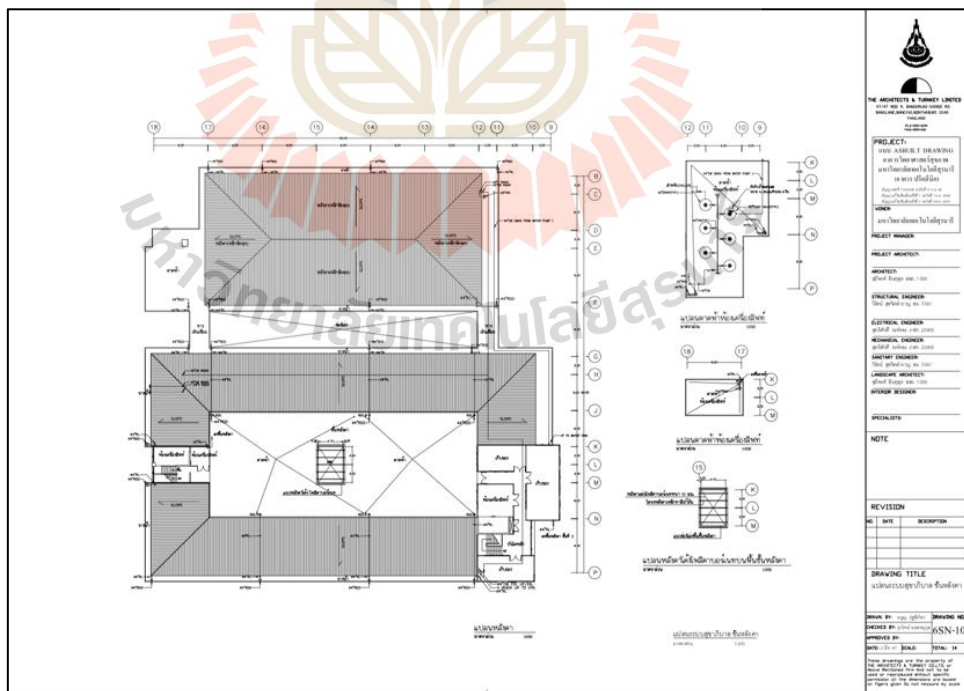
รูปที่ ก.21 แบบแปลนพื้นที่ชั้น 2 อาคารเรียนรวม 1



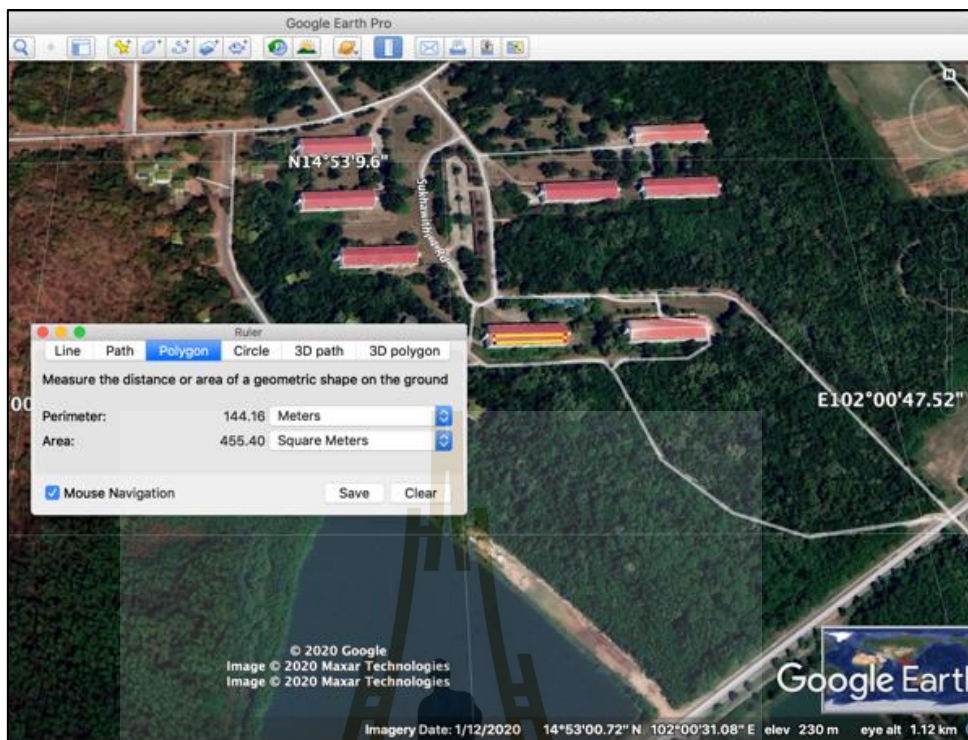
รูปที่ ก.22 แบบแปลนหลังคาอาคารบรรณสาร 1



รูปที่ ก.23 แบบแปลนหลังคาอาคารหอพักนักศึกษาแพทย์



รูปที่ ก.24 แบบแปลนหลังคาอาคารเครื่องมือ



รูปที่ ก.25 การประเมินหลังคาอาคารกลุ่มอาคารที่พักบุคลากร





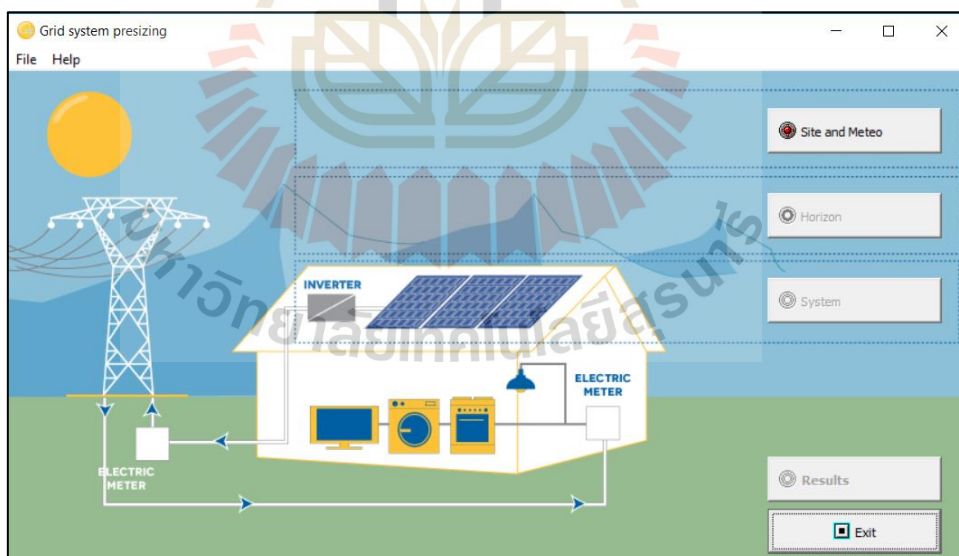
ภาคผนวก ข

ตัวอย่างโปรแกรม Photovoltaic System Software PVsyst V8.6 (Trail)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



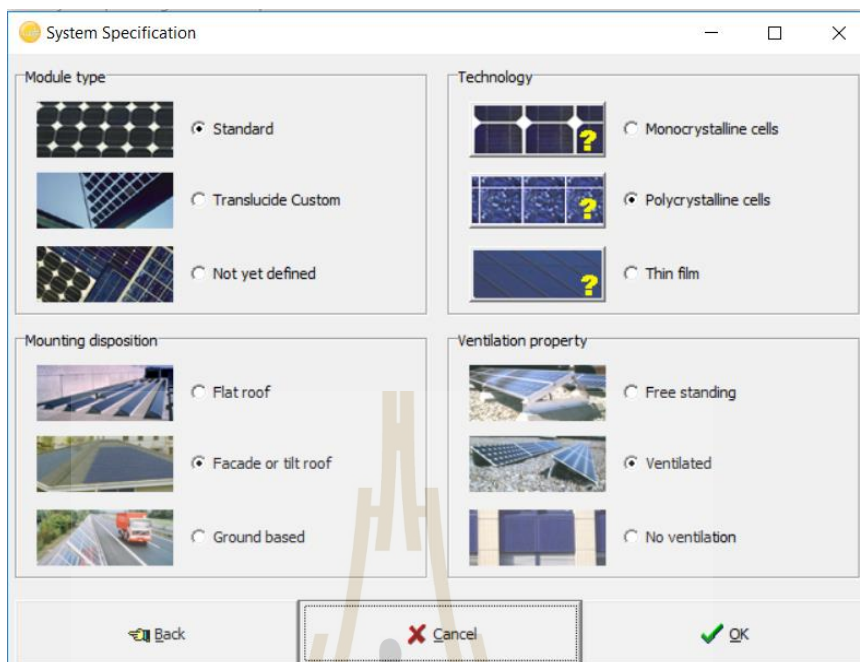
รูปที่ ข.1 หน้าจอการเข้าใช้งานโปรแกรม PVsyst V8.6 (Trail)



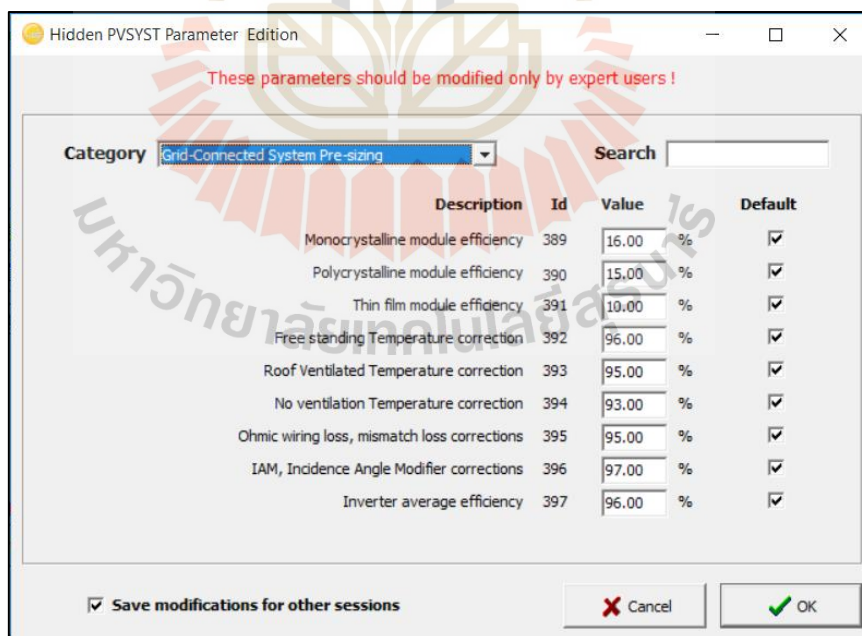
รูปที่ ข.2 หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ ข.3 หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ ข.4 หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดพื้นที่ มุมเอียง และอะซิมุทของระบบ



รูปที่ ข.5 หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดการติดตั้งระบบ



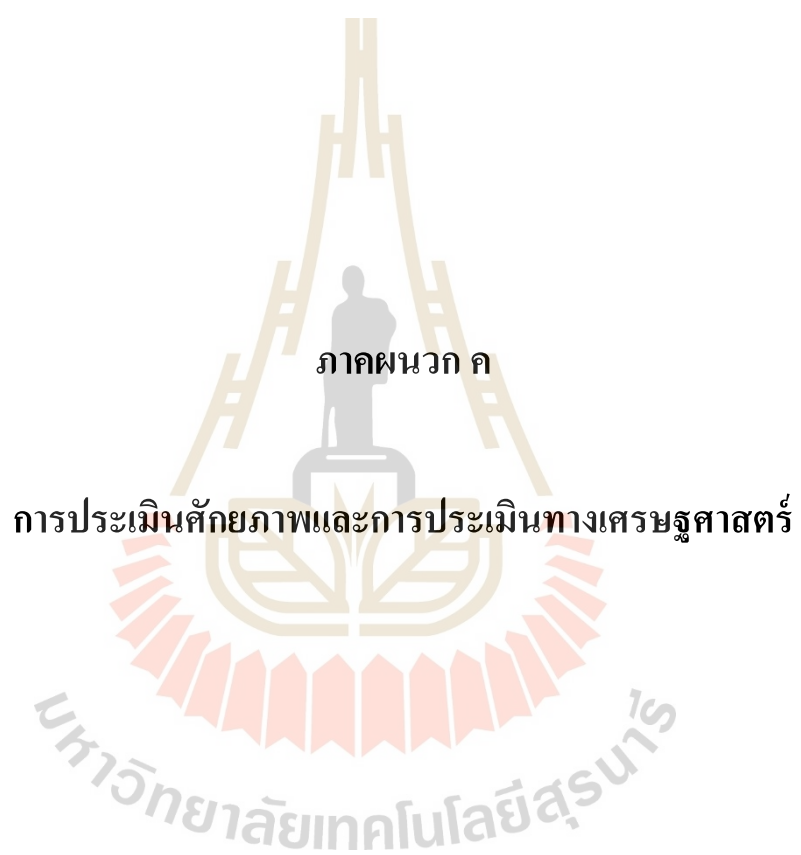
รูปที่ ข.6 หน้าจอการตั้งค่ารายละเอียดตัวแปรที่นำมาคำนวณ

Results

Input Data		Parameters		Results	
PV Rooftop SUT Plane: tilt 15°, azimuth 0°		Area	360.0 m ²	Nominal power	54.0 kW
		Module Cost	32.83 THB/Wp	Annual Yield	82.6 MWh/yr
		Technology	Polycrystalline	Investment	6357628 THB
				Energy cost	5.11 THB/kWh

	GL. horiz. kWh/m ² .day	Coll. Plane kWh/m ² .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	4.85	5.65	250.8	7775
Feb.	5.14	5.68	252.3	7064
Mar.	5.65	5.92	262.9	8151
Apr.	5.80	5.73	254.7	7641
May	5.25	4.96	220.5	6836
June	5.05	4.68	207.7	6231
July	4.83	4.52	200.8	6224
Aug.	4.50	4.35	193.4	5994
Sep.	4.29	4.37	194.2	5827
Oct.	4.46	4.78	212.3	6582
Nov.	4.51	5.16	229.3	6880
Dec.	4.53	5.34	237.3	7355
Year	4.90	5.09	226.2	82560

รูปที่ ข.7 หน้าจอแสดงผลการคำนวณจากการตั้งค่า



ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในมุมเอียง และมุมอะซิมูทที่แตกต่างกันรายเดือนในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (kWh/m²/day)

มุมอะซิมูท	Slope	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย	รวม
0	20	5.84	5.79	5.94	5.64	4.81	4.5	4.37	4.26	4.35	4.83	5.32	5.55	5.10	61.2
10	20	5.83	5.78	5.93	5.64	4.82	4.51	4.38	4.26	4.35	4.82	5.31	5.53	5.10	61.16
0	15	5.65	5.68	5.92	5.73	4.96	4.68	4.52	4.35	4.37	4.78	5.16	5.34	5.10	61.14
10	15	5.63	5.67	5.91	5.73	4.97	4.68	4.53	4.35	4.37	4.77	5.15	5.33	5.09	61.09
-30	15	5.52	5.59	5.87	5.73	5	4.72	4.56	4.36	4.35	4.73	5.06	5.22	5.06	60.71
10	10	5.41	5.53	5.86	5.79	5.09	4.83	4.65	4.43	4.37	4.69	4.97	5.09	5.06	60.71
-30	20	5.68	5.67	5.88	5.65	4.86	4.57	4.43	4.28	4.33	4.76	5.18	5.39	5.06	60.68
10	30	6.1	5.89	5.86	5.37	4.45	4.1	4.01	4.01	4.23	4.84	5.51	5.83	5.02	60.2
-30	30	5.89	5.74	5.79	5.4	4.53	4.21	4.1	4.05	4.21	4.76	5.33	5.62	4.97	59.63
-60	20	5.28	5.39	5.74	5.67	4.99	4.73	4.56	4.33	4.28	4.59	4.85	4.98	4.95	59.39
-80	10	4.94	5.19	5.67	5.78	5.21	5	4.78	4.47	4.29	4.49	4.58	4.62	4.92	59.02
0	0	4.85	5.14	5.65	5.8	5.25	5.05	4.83	4.5	4.29	4.46	4.51	4.53	4.91	58.86
-80	20	4.93	5.15	5.6	5.66	5.08	4.86	4.65	4.37	4.23	4.44	4.56	4.62	4.85	58.15
-60	30	5.32	5.36	5.63	5.46	4.75	4.47	4.32	4.15	4.16	4.53	4.87	5.04	4.84	58.06
-90	20	4.75	5.02	5.52	5.66	5.12	4.92	4.7	4.38	4.2	4.36	4.41	4.43	4.79	57.47
-80	30	4.85	5.04	5.45	5.47	4.88	4.66	4.47	4.21	4.1	4.33	4.48	4.55	4.71	56.49

ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในมุมเอียงและมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันรายเดือนในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (kWh/m²/day) (ต่อ)

มุมอะซิมุท	Slope	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย	รวม
-30	45	5.92	5.58	5.43	4.82	3.92	3.56	3.53	3.57	3.87	4.55	5.31	5.71	4.65	55.77
-60	45	5.19	5.13	5.27	5.01	4.28	4	3.9	3.79	3.87	4.3	4.71	4.94	4.53	54.39



ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การคำนวณค่าพลังงานที่ได้รับจากระบบของหลังคาอาคารที่มีมุมเอียง และมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน

อาคาร	Azimuth Slope	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
รัตนเวชพัฒนา	A0S0	5,987	5,731	6,975	6,929	6,481	6,033	5,962	5,555	5,125	5,506	5,388	5,592	71,263
เรียนรวม 1	A10S10	15,026	13,873	16,276	15,563	14,137	12,983	12,915	12,304	11,746	13,026	13,359	14,137	165,347
เรียนรวม 1	A-80S10	13,721	13,020	15,748	15,536	14,471	13,440	13,276	12,415	11,531	12,471	12,311	12,832	160,772
อาคารเครื่องมือ 9	A-60S20	10,592	9,766	11,514	11,007	10,010	9,182	9,147	8,686	8,309	9,207	9,415	9,990	116,825
อาคารเครื่องมือ 10	A-60S20	3,911	3,606	4,251	4,064	3,696	3,390	3,377	3,207	3,068	3,400	3,476	3,689	43,135
อาคารเครื่องมือ 10	A-30S20	4,207	3,793	4,355	4,050	3,600	3,276	3,281	3,170	3,104	3,526	3,713	3,992	44,066
วิจัย	A10S30	4,706	4,105	4,521	4,009	3,433	3,061	3,094	3,094	3,158	3,734	4,114	4,498	45,528
วิจัย	A-80S30	3,742	3,512	4,205	4,084	3,765	3,479	3,449	3,248	3,061	3,341	3,345	3,510	42,742
บรรณสาร 2	A10S30	1,883	1,642	1,808	1,604	1,373	1,224	1,238	1,238	1,263	1,494	1,646	1,799	18,211
สุรเริงไชย	A0S15	54,925	49,873	57,550	53,906	48,217	44,028	43,940	42,287	41,111	46,468	48,544	51,911	582,761
สุรเริงไชย	A-30S30	3,635	3,200	3,574	3,225	2,796	2,515	2,531	2,500	2,515	2,938	3,184	3,469	36,081
สุรเริงไชย	A-60S30	6,567	5,976	6,950	6,523	5,864	5,340	5,333	5,123	4,970	5,592	5,818	6,222	70,277
บริหาร	A10S30	3,765	3,284	3,617	3,208	2,747	2,449	2,475	2,475	2,527	2,987	3,291	3,598	36,422
บริหาร	A-80S30	2,994	2,810	3,364	3,267	3,012	2,783	2,759	2,599	2,449	2,673	2,676	2,808	34,193
บรรณสาร 1	A10S30	5,648	4,925	5,425	4,811	4,120	3,673	3,713	3,713	3,790	4,481	4,937	5,398	54,634

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การคำนวณค่าพลังงานที่ได้รับจากระบบของหลังคาอาคารที่มีมุมเอียง และมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน (ต่อ)

อาคาร	Azimuth Slope	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
บรรณสาร 1	A-80S30	4,490	4,215	5,046	4,901	4,518	4,175	4,138	3,898	3,673	4,009	4,014	4,213	51,290
เรียนรวม 2	A0S15	13,949	12,666	14,616	13,690	12,246	11,182	11,159	10,740	10,441	11,801	12,329	13,184	148,003
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	A0S15	17,437	15,833	18,270	17,113	15,307	13,977	13,949	13,425	13,051	14,752	15,411	16,480	185,003
วิชาการ 1	A10S20	6,297	5,639	6,405	5,895	5,206	4,714	4,731	4,601	4,547	5,206	5,551	5,973	64,767
วิชาการ 1	A-80S20	5,325	5,024	6,049	5,916	5,487	5,080	5,023	4,720	4,422	4,796	4,767	4,990	61,599
อาคารเครื่องมือ 3	A10S30	15,060	13,134	14,468	12,830	10,987	9,796	9,900	9,900	10,107	11,949	13,165	14,394	145,690
วิชาการ 2	A10S20	2,159	1,933	2,196	2,021	1,785	1,616	1,622	1,578	1,559	1,785	1,903	2,048	22,206
วิชาการ 2	A-80S20	2,739	2,584	3,111	3,043	2,822	2,613	2,583	2,428	2,274	2,466	2,451	2,566	31,679
อาคารเครื่องมือ 1	A10S30	5,648	4,925	5,425	4,811	4,120	3,673	3,713	3,713	3,790	4,481	4,937	5,398	54,634
อาคารเครื่องมือ 1	A-80S30	7,484	7,024	8,410	8,168	7,530	6,959	6,897	6,496	6,122	6,681	6,690	7,021	85,483
อาคารเครื่องมือ 4	A10S30	15,060	13,134	14,468	12,830	10,987	9,796	9,900	9,900	10,107	11,949	13,165	14,394	145,690
อาคารเครื่องมือ 11	A10S20	7,197	6,445	7,320	6,738	5,950	5,388	5,407	5,259	5,197	5,950	6,343	6,826	74,019
อาคารเครื่องมือ 11	A-30S20	12,270	11,063	12,702	11,812	10,499	9,554	9,570	9,246	9,052	10,283	10,829	11,644	128,525
ศูนย์วิจัยมันฯ	A0S15	24,411	22,166	25,578	23,958	21,430	19,568	19,529	18,794	18,272	20,652	21,575	23,072	259,005
ศูนย์เครื่องมือ 7 (1)	A-60S45	3,203	2,860	3,253	2,993	2,642	2,389	2,407	2,339	2,312	2,654	2,813	3,049	32,914

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การคำนวณค่าพลังงานที่ได้รับจากระบบของหลังคาอาคารที่มีมุมเอียง และมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน (ต่อ)

อาคาร	Azimuth Slope	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
ศูนย์เครื่องมือ 7 (2)	A-60S45	3,203	2,860	3,253	2,993	2,642	2,389	2,407	2,339	2,312	2,654	2,813	3,049	32,914
ศูนย์เครื่องมือ 7 (3)	A-30S45	3,654	3,111	3,352	2,879	2,420	2,126	2,179	2,203	2,312	2,808	3,172	3,524	33,740
กีฬาภิรมย์	A-80S20	5,325	5,024	6,049	5,916	5,487	5,080	5,023	4,720	4,422	4,796	4,767	4,990	61,599
หอพักนศแพทย์ (1)	A0S20	6,488	5,810	6,599	6,064	5,344	4,838	4,855	4,733	4,677	5,366	5,720	6,166	66,661
หอพักนศแพทย์ (2)	A-90S20	2,345	2,239	2,726	2,705	2,528	2,351	2,321	2,163	2,007	2,153	2,107	2,187	27,832
ขนส่ง 1	A10S15	12,162	11,063	12,767	11,979	10,737	9,784	9,786	9,397	9,136	10,305	10,767	11,514	129,397
ศสสร้างเสริมสุขภาพ	A-90S20	2,199	2,099	2,555	2,536	2,370	2,204	2,176	2,028	1,882	2,018	1,976	2,051	26,092
สุรพัฒน์ 2	A-30S45	9,135	7,777	8,379	7,198	6,049	5,316	5,447	5,509	5,779	7,021	7,929	8,811	84,349
สุรพัฒน์ 2	A-60S45	8,809	7,865	8,945	8,229	7,265	6,570	6,620	6,433	6,357	7,299	7,737	8,385	90,514
ศูนย์สหกิจ ฯ	A10S20	5,398	4,833	5,490	5,053	4,463	4,041	4,055	3,944	3,897	4,463	4,758	5,120	55,514
สุนนิवास 4	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326
สุนนิवास 8	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326
สุนนิवास 7	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326
สุนนิवास 2	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326
สุนนิवास 6	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การคำนวณค่าพลังงานที่ได้รับจากระบบของหลังคาอาคารที่มีมุมเอียง และมุมอะซิมุทที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน (ต่อ)

อาคาร	Azimuth Slope	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
สุขนิवास 3	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326
สุขนิवास 1	A0S20	8,110	7,263	8,249	7,580	6,680	6,048	6,069	5,916	5,846	6,708	7,150	7,708	83,326



ตารางที่ ก.3 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 1-12

อาคาร	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12
รัตนเวชพัฒนา	71,263	70,550	69,845	69,146	68,455	67,770	67,093	66,422	65,757	65,100	64,449	63,804
เรียนรวม 1	326,120	322,859	319,630	316,434	313,269	310,137	307,035	303,965	300,925	297,916	294,937	291,988
อาคารเครื่องมือ 9	116,825	115,656	114,500	113,355	112,221	111,099	109,988	108,888	107,799	106,721	105,654	104,598
อาคารเครื่องมือ 10	87,201	86,329	85,466	84,611	83,765	82,927	82,098	81,277	80,464	79,660	78,863	78,074
วิจัย	88,270	87,387	86,513	85,648	84,792	83,944	83,104	82,273	81,450	80,636	79,830	79,031
บรรณสาร 2	18,211	18,029	17,849	17,670	17,494	17,319	17,146	16,974	16,804	16,636	16,470	16,305
สุรเริงไชย	689,118	682,227	675,405	668,651	661,964	655,345	648,791	642,303	635,880	629,521	623,226	616,994
บริหาร	70,616	69,910	69,211	68,518	67,833	67,155	66,483	65,819	65,160	64,509	63,864	63,225
บรรณสาร 1	105,924	104,864	103,816	102,778	101,750	100,732	99,725	98,728	97,741	96,763	95,796	94,838
เรียนรวม 2	148,003	146,523	145,058	143,607	142,171	140,749	139,342	137,948	136,569	135,203	133,851	132,513
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	185,003	183,153	181,322	179,509	177,714	175,936	174,177	172,435	170,711	169,004	167,314	165,641
วิชาการ 1	126,366	125,102	123,851	122,613	121,387	120,173	118,971	117,781	116,603	115,437	114,283	113,140
อาคารเครื่องมือ 3	145,690	144,233	142,791	141,363	139,949	138,550	137,164	135,793	134,435	133,090	131,759	130,442
วิชาการ 2	53,885	53,346	52,813	52,285	51,762	51,244	50,732	50,225	49,722	49,225	48,733	48,246

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 1-12 (ต่อ)

อาคาร	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12
อาคารเครื่องมือ 1	140,117	138,716	137,329	135,955	134,596	133,250	131,917	130,598	129,292	127,999	126,719	125,452
อาคารเครื่องมือ 4	145,690	144,233	142,791	141,363	139,949	138,550	137,164	135,793	134,435	133,090	131,759	130,442
อาคารเครื่องมือ 11	202,545	200,519	198,514	196,529	194,564	192,618	190,692	188,785	186,897	185,028	183,178	181,346
ศูนย์วิจัยมันฯ	259,005	256,415	253,851	251,312	248,799	246,311	243,848	241,409	238,995	236,605	234,239	231,897
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	32,914	32,585	32,259	31,937	31,617	31,301	30,988	30,678	30,371	30,068	29,767	29,469
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	32,914	32,585	32,259	31,937	31,617	31,301	30,988	30,678	30,371	30,068	29,767	29,469
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	33,740	33,402	33,068	32,737	32,410	32,086	31,765	31,447	31,133	30,822	30,513	30,208
กีฬากิจกรรม	61,599	60,983	60,373	59,769	59,172	58,580	57,994	57,414	56,840	56,272	55,709	55,152
หอพัก นศ แพทย์ (1)	66,661	65,994	65,334	64,681	64,034	63,394	62,760	62,132	61,511	60,896	60,287	59,684
หอพัก นศ แพทย์ (2)	27,832	27,554	27,278	27,005	26,735	26,468	26,203	25,941	25,682	25,425	25,171	24,919
ขนส่ง 1	129,397	128,103	126,822	125,554	124,298	123,055	121,825	120,607	119,401	118,207	117,025	115,854
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	26,092	25,831	25,573	25,317	25,064	24,814	24,565	24,320	24,077	23,836	23,597	23,362
สุรพัฒน์ 2	174,863	173,114	171,383	169,669	167,972	166,293	164,630	162,983	161,354	159,740	158,143	156,561
ศูนย์สหกิจฯ	55,514	54,959	54,410	53,866	53,327	52,794	52,266	51,743	51,226	50,713	50,206	49,704

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 1-12 (ต่อ)

อาคาร	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12
สุขนิवास 4	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605
สุขนิवास 8	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605
สุขนิवास 7	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605
สุขนิवास 2	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605
สุขนิवास 6	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605
สุขนิवास 3	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605
สุขนิवास 1	83,326	82,493	81,668	80,851	80,043	79,242	78,450	77,665	76,889	76,120	75,358	74,605

ตารางที่ ก.4 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 13-25

อาคาร	ปีที่ 13	ปีที่ 14	ปีที่ 15	ปีที่ 16	ปีที่ 17	ปีที่ 18	ปีที่ 19	ปีที่ 20	ปีที่ 21	ปีที่ 22	ปีที่ 23	ปีที่ 24	ปีที่ 25
รัตนเวชพัฒนา	63,166	62,535	61,909	61,290	60,677	60,071	59,470	58,875	58,286	57,704	57,127	56,555	55,990
เรียนรวม 1	289,068	286,177	283,315	280,482	277,677	274,900	272,151	269,430	266,736	264,068	261,428	258,813	256,225
อาคารเครื่องมือ 9	103,552	102,516	101,491	100,476	99,471	98,477	97,492	96,517	95,552	94,596	93,650	92,714	91,787
อาคารเครื่องมือ 10	77,294	76,521	75,756	74,998	74,248	73,506	72,771	72,043	71,322	70,609	69,903	69,204	68,512
วิจัย	78,241	77,459	76,684	75,917	75,158	74,406	73,662	72,926	72,196	71,474	70,760	70,052	69,352
บรรณสาร 2	16,142	15,981	15,821	15,663	15,506	15,351	15,198	15,046	14,895	14,746	14,599	14,453	14,308
สุรเริงไชย	610,824	604,716	598,669	592,682	586,755	580,888	575,079	569,328	563,635	557,998	552,418	546,894	541,425
บริหาร	62,593	61,967	61,347	60,734	60,126	59,525	58,930	58,341	57,757	57,180	56,608	56,042	55,481
บรรณสาร 1	93,889	92,950	92,021	91,101	90,190	89,288	88,395	87,511	86,636	85,769	84,912	84,063	83,222
เรียนรวม 2	131,187	129,876	128,577	127,291	126,018	124,758	123,510	122,275	121,052	119,842	118,644	117,457	116,283
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	163,984	162,344	160,721	159,114	157,523	155,947	154,388	152,844	151,316	149,802	148,304	146,821	145,353
วิชาการ 1	112,009	110,889	109,780	108,682	107,595	106,519	105,454	104,399	103,355	102,322	101,299	100,286	99,283
อาคารเครื่องมือ 3	129,137	127,846	126,568	125,302	124,049	122,808	121,580	120,364	119,161	117,969	116,790	115,622	114,465
วิชาการ 2	47,763	47,285	46,813	46,344	45,881	45,422	44,968	44,518	44,073	43,632	43,196	42,764	42,336

ตารางที่ ก.4 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 13-25 (ต่อ)

อาคาร	ปีที่ 13	ปีที่ 14	ปีที่ 15	ปีที่ 16	ปีที่ 17	ปีที่ 18	ปีที่ 19	ปีที่ 20	ปีที่ 21	ปีที่ 22	ปีที่ 23	ปีที่ 24	ปีที่ 25
อาคารเครื่องมือ 1	124,198	122,956	121,726	120,509	119,304	118,111	116,930	115,760	114,603	113,457	112,322	111,199	110,087
อาคารเครื่องมือ 4	129,137	127,846	126,568	125,302	124,049	122,808	121,580	120,364	119,161	117,969	116,790	115,622	114,465
อาคารเครื่องมือ 11	179,533	177,737	175,960	174,200	172,458	170,734	169,026	167,336	165,663	164,006	162,366	160,742	159,135
ศูนย์วิจัยมันฯ	229,578	227,282	225,009	222,759	220,532	218,326	216,143	213,982	211,842	209,723	207,626	205,550	203,494
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	29,175	28,883	28,594	28,308	28,025	27,745	27,467	27,193	26,921	26,651	26,385	26,121	25,860
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	29,175	28,883	28,594	28,308	28,025	27,745	27,467	27,193	26,921	26,651	26,385	26,121	25,860
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	29,906	29,607	29,311	29,018	28,728	28,441	28,156	27,875	27,596	27,320	27,047	26,776	26,508
กีฬาภิรมย์	54,600	54,054	53,514	52,979	52,449	51,924	51,405	50,891	50,382	49,878	49,380	48,886	48,397
หอพัก นศ แพทย์ (1)	59,087	58,496	57,911	57,332	56,759	56,191	55,629	55,073	54,522	53,977	53,437	52,903	52,374
หอพัก นศ แพทย์ (2)	24,670	24,423	24,179	23,937	23,698	23,461	23,226	22,994	22,764	22,536	22,311	22,088	21,867
ขนส่ง 1	114,696	113,549	112,413	111,289	110,176	109,074	107,984	106,904	105,835	104,777	103,729	102,691	101,665
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	23,128	22,897	22,668	22,441	22,217	21,994	21,774	21,557	21,341	21,128	20,916	20,707	20,500
สุรพัฒน์ 2	154,996	153,446	151,911	150,392	148,888	147,399	145,925	144,466	143,021	141,591	140,175	138,773	137,386
ศูนย์สหกิจฯ	49,207	48,715	48,228	47,746	47,268	46,796	46,328	45,864	45,406	44,952	44,502	44,057	43,617

ตารางที่ ก.4 ผลลัพธ์การคำนวณพลังงานที่ได้รับจากระบบในปีที่ 13-25 (ต่อ)

อาคาร	ปีที่ 13	ปีที่ 14	ปีที่ 15	ปีที่ 16	ปีที่ 17	ปีที่ 18	ปีที่ 19	ปีที่ 20	ปีที่ 21	ปีที่ 22	ปีที่ 23	ปีที่ 24	ปีที่ 25
สุขนิवास 4	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467
สุขนิवास 8	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467
สุขนิवास 7	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467
สุขนิवास 2	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467
สุขนิवास 6	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467
สุขนิवास 3	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467
สุขนิवास 1	73,859	73,120	72,389	71,665	70,949	70,239	69,537	68,841	68,153	67,471	66,797	66,129	65,467



ตารางที่ ค.5 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 1-9

ชื่ออาคาร	เงินลงทุน ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9
รัตนเวชพัฒนา	-2,480,000	285,194	282,094	279,025	275,987	272,979	270,001	267,053	264,134	261,245
เรียนรวม 1	-11,160,000	1,307,021	1,292,835	1,278,791	1,264,887	1,251,122	1,237,495	1,224,004	1,210,648	1,197,425
อาคารเครื่องมือ 9	-4,030,000	467,887	462,805	457,774	452,793	447,862	442,981	438,148	433,364	428,627
อาคารเครื่องมือ 10	-2,976,000	349,565	345,772	342,016	338,298	334,618	330,974	327,367	323,795	320,260
วิจัย	-3,100,000	352,974	349,134	345,332	341,569	337,843	334,155	330,503	326,888	323,310
บรรณสาร 2	-620,000	73,019	72,227	71,442	70,666	69,897	69,136	68,383	67,637	66,899
สุรเวงไชย	-23,250,000	2,765,164	2,735,188	2,705,511	2,676,131	2,647,044	2,618,249	2,589,742	2,561,519	2,533,579
บริหาร	-2,480,000	282,379	279,307	276,266	273,255	270,275	267,324	264,403	261,511	258,648
บรรณสาร 1	-3,720,000	423,568	418,961	414,399	409,883	405,412	400,986	396,604	392,266	387,971
เรียนรวม 2	-4,960,000	594,212	587,774	581,400	575,090	568,843	562,659	556,536	550,475	544,474
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	-6,200,000	742,765	804,145	796,792	788,831	780,942	773,133	765,402	757,748	750,170
วิชาการ 1	-4,340,000	506,291	500,794	495,353	489,965	484,631	479,351	474,124	468,948	463,825
อาคารเครื่องมือ 3	-4,960,000	584,151	577,814	571,540	565,328	559,179	553,091	547,064	541,098	535,191
วิชาการ 2	-1,860,000	215,801	213,457	211,136	208,839	206,564	204,313	202,084	199,877	197,692

ตารางที่ ค.5 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 1-9 (ต่อ)

ชื่ออาคาร	เงินลงทุน ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9
อาคารเครื่องมือ 1	-4,960,000	559,909	553,814	547,780	541,806	535,892	530,037	524,241	518,502	512,821
อาคารเครื่องมือ 4	-4,960,000	584,151	577,814	571,540	565,328	559,179	553,091	547,064	541,098	535,191
อาคารเครื่องมือ 11	-6,820,000	812,870	804,059	795,336	786,701	778,152	769,688	761,309	753,014	744,802
ศูนย์วิจัยมันฯ	-8,680,000	1,213,471	1,202,204	1,191,050	1,180,008	1,169,076	1,158,253	1,147,538	1,136,931	1,126,430
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	-1,240,000	130,776	129,344	127,927	126,524	125,135	123,759	122,398	121,050	119,715
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	-1,240,000	130,776	129,344	127,927	126,524	125,135	123,759	122,398	121,050	119,715
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	-1,240,000	134,367	132,899	131,446	130,008	128,584	127,174	125,778	124,397	123,029
กีฬาทิรมย์	-2,170,000	246,255	243,576	240,923	238,297	235,697	233,123	230,575	228,052	225,554
หอพัก นศ แพทย์ (1)	-2,232,000	267,654	264,754	261,884	259,042	256,228	253,443	250,685	247,955	245,252
หอพัก นศ แพทย์ (2)	-992,000	111,149	120,969	119,869	118,671	117,485	116,310	115,147	113,995	112,855
ขนส่ง 1	-4,340,000	519,478	513,849	508,277	502,760	497,298	491,891	486,538	481,239	475,992
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	-930,000	104,202	103,067	101,943	100,831	99,729	98,639	97,560	96,491	95,433
สุรพัฒน์ 2	-6,510,000	695,552	687,946	680,415	672,960	665,580	658,273	651,039	643,878	636,788
ศูนย์สหกิจ ฯ	-1,860,000	222,888	220,473	218,082	215,716	213,372	211,053	208,756	206,483	204,232

ตารางที่ ค.5 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 1-9 (ต่อ)

ชื่ออาคาร	เงินลงทุน ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9
สุขนิवास 4	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565
สุขนิवास 8	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565
สุขนิवास 7	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565
สุขนิवास 2	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565
สุขนิवास 6	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565
สุขนิवास 3	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565
สุขนิवास 1	-2,790,000	334,568	330,943	327,355	323,802	320,285	316,803	313,356	309,944	306,565



ตารางที่ ค.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 10-20

ชื่ออาคาร	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12	ปีที่ 13	ปีที่ 14	ปีที่ 15	ปีที่ 16	ปีที่ 17	ปีที่ 18	ปีที่ 19	ปีที่ 20
รัตนเวชพัฒนา	258,385	255,553	252,749	249,974	247,226	244,506	241,813	239,146	236,507	233,894	231,307
เรียนรวม 1	1,184,335	1,171,376	1,158,546	1,145,844	1,133,270	1,120,821	1,108,497	1,096,296	1,084,217	1,072,259	1,060,420
อาคารเครื่องมือ 9	423,938	419,295	414,699	410,149	405,645	401,185	396,771	392,400	388,073	383,789	379,548
อาคารเครื่องมือ 10	316,760	313,295	309,864	306,468	303,105	299,777	296,481	293,219	289,989	286,792	283,626
วิจัย	319,766	316,259	312,786	309,348	305,945	302,575	299,240	295,937	292,668	289,431	286,227
บรรณสาร 2	66,168	65,444	64,728	64,018	63,316	62,621	61,933	61,252	60,577	59,909	59,248
สุรเวงไชย	2,505,918	2,478,534	2,451,424	2,424,584	2,398,014	2,371,708	2,345,666	2,319,885	2,294,361	2,269,092	2,244,076
บริหาร	255,813	253,007	250,229	247,479	244,756	242,060	239,392	236,750	234,134	231,545	228,981
บรรณสาร 1	383,720	379,511	375,343	371,218	367,134	363,090	359,088	355,125	351,201	347,317	343,472
เรียนรวม 2	538,533	532,652	526,830	521,065	515,359	509,709	504,116	498,579	493,097	487,670	482,297
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	742,668	665,815	727,195	720,603	713,404	706,270	699,208	692,216	685,293	678,440	671,656
วิชาการ 1	458,753	453,731	448,760	443,838	438,966	434,142	429,367	424,639	419,959	415,325	410,738
อาคารเครื่องมือ 3	529,343	523,553	517,822	512,148	506,530	500,969	495,463	490,013	484,616	479,274	473,986
วิชาการ 2	195,529	193,388	191,268	189,169	187,092	185,035	182,998	180,982	178,987	177,011	175,055

ตารางที่ ค.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 10-20 (ต่อ)

ชื่ออาคาร	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12	ปีที่ 13	ปีที่ 14	ปีที่ 15	ปีที่ 16	ปีที่ 17	ปีที่ 18	ปีที่ 19	ปีที่ 20
อาคารเครื่องมือ 1	507,197	501,629	496,117	490,660	485,257	479,909	474,613	469,371	464,182	459,044	453,957
อาคารเครื่องมือ 4	529,343	523,553	517,822	512,148	506,530	500,969	495,463	490,013	484,616	479,274	473,986
อาคารเครื่องมือ 11	736,672	728,623	720,655	712,767	704,957	697,225	689,571	681,993	674,492	667,065	659,712
ศูนย์วิจัยฯ	1,116,033	932,141	1,095,552	1,085,464	1,075,478	1,065,591	1,055,803	1,046,113	1,036,520	1,027,022	1,017,620
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	118,394	117,086	115,791	114,509	113,240	111,984	110,740	109,509	108,289	107,083	105,888
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	118,394	117,086	115,791	114,509	113,240	111,984	110,740	109,509	108,289	107,083	105,888
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	121,674	120,334	119,006	117,692	116,391	115,103	113,828	112,566	111,316	110,079	108,854
กีฬาภิรมย์	223,082	220,634	218,211	215,812	213,437	211,085	208,757	206,453	204,171	201,912	199,676
หอพัก นศ แพทย์ (1)	242,576	239,927	237,305	234,709	232,138	229,594	227,075	224,581	222,112	219,667	217,248
หอพัก นศ แพทย์ (2)	111,727	99,572	109,393	108,407	107,324	106,251	105,189	104,137	103,095	102,064	101,044
ขนส่ง 1	470,799	465,657	460,566	455,526	450,537	445,598	440,708	435,867	431,074	426,329	421,632
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	94,386	93,349	92,323	91,306	90,300	89,304	88,318	87,342	86,376	85,419	84,472
สุรพัฒน์ 2	629,769	622,820	615,941	609,131	602,389	595,714	589,106	582,563	576,087	569,675	563,327
ศูนย์สหกิจฯ	202,003	199,797	197,613	195,451	193,311	191,192	189,094	187,017	184,961	182,925	180,910

ตารางที่ ค.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 10-20 (ต่อ)

ชื่ออาคาร	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12	ปีที่ 13	ปีที่ 14	ปีที่ 15	ปีที่ 16	ปีที่ 17	ปีที่ 18	ปีที่ 19	ปีที่ 20
สุขนิवास 4	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559
สุขนิवास 8	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559
สุขนิवास 7	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559
สุขนิवास 2	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559
สุขนิवास 6	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559
สุขนิवास 3	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559
สุขนิवास 1	303,221	299,909	296,631	293,386	290,173	286,992	283,843	280,726	277,640	274,584	271,559



ตารางที่ ค.7 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 21-25

ชื่ออาคาร	ปีที่ 21	ปีที่ 22	ปีที่ 23	ปีที่ 24	ปีที่ 25
รัตนเวชพัฒนา	-515,254	226,210	223,700	221,215	218,755
เรียนรวม 1	304,700	1,037,097	1,025,610	1,014,238	1,002,980
อาคารเครื่องมือ 9	375,350	371,193	367,078	363,005	358,971
อาคารเครื่องมือ 10	280,492	277,390	274,318	271,278	268,267
วิจัย	283,055	279,914	276,805	273,727	270,680
บรรณสาร 2	58,594	57,946	57,304	56,669	56,041
สุรสิงไชย	2,219,311	2,194,792	2,170,519	2,146,489	2,122,699
บริหาร	226,444	223,931	221,444	218,981	216,544
บรรณสาร 1	339,666	335,897	332,166	328,472	324,816
เรียนรวม 2	476,978	471,713	466,499	461,338	456,229
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	664,939	658,290	651,707	645,190	638,738
วิชาการ 1	406,196	401,700	397,249	392,843	388,480
อาคารเครื่องมือ 3	468,750	463,566	458,434	453,354	448,325
วิชาการ 2	173,118	171,201	169,303	167,424	165,564

ตารางที่ ค.7 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีี่ 21-25 (ต่อ)

ชื่ออาคาร	ปีี่ 21	ปีี่ 22	ปีี่ 23	ปีี่ 24	ปีี่ 25
อาคารเครื่องมือ 1	448,922	443,937	439,001	434,115	429,278
อาคารเครื่องมือ 4	468,750	463,566	458,434	453,354	448,325
อาคารเครื่องมือ 11	652,433	645,227	638,092	631,029	624,037
ศูนย์วิจัยมันฯ	1,008,312	999,097	989,974	980,942	972,001
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (1)	104,705	103,534	102,374	101,227	100,090
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (2)	104,705	103,534	102,374	101,227	100,090
ศูนย์เครื่องมือฯ 7 (3)	107,642	106,441	105,253	104,076	102,912
กีฬาภิรมย์	197,463	195,271	193,101	190,953	188,827
หอพัก นศ แพทย์ (1)	214,852	212,480	210,132	207,808	205,506
หอพัก นศ แพทย์ (2)	100,033	99,033	98,043	97,062	96,092
ขนส่ง 1	416,982	412,378	407,820	403,308	398,841
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	83,534	82,606	81,687	80,777	79,876
สุรพัฒน์ 2	557,043	550,822	544,662	538,565	532,528
ศูนย์สหกิจ ฯ	178,915	176,940	174,984	173,048	171,132

ตารางที่ ค.7 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (NPV) ในปีที่ 21-25 (ต่อ)

ชื่ออาคาร	ปีที่ 21	ปีที่ 22	ปีที่ 23	ปีที่ 24	ปีที่ 25
สุขนิवास 4	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883
สุขนิवास 8	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883
สุขนิवास 7	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883
สุขนิवास 2	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883
สุขนิवास 6	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883
สุขนิवास 3	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883
สุขนิवास 1	268,565	265,600	262,665	259,760	256,883

ตารางที่ ค.8 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ชื่ออาคาร	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
รัตนเวชพัฒนา	-2,194,806	1,912,713	1,633,688	1,357,701	1,084,723	814,722	547,669	283,535	22,290	236,095
เรียนรวม 1	-9,852,979	8,560,144	7,281,353	6,016,467	4,765,345	3,527,850	2,303,846	1,093,199	104,226	1,288,561
อาคารเครื่องมือ 9	-3,562,113	3,099,308	2,641,533	2,188,740	1,740,878	1,297,897	859,749	426,385	2,242	426,180
อาคารเครื่องมือ 10	-2,626,435	2,280,664	1,938,647	1,600,349	1,265,731	934,757	607,390	283,595	36,665	353,425
วิจัย	-2,747,026	2,397,893	2,052,560	1,710,991	1,373,148	1,038,993	708,489	381,601	58,291	261,475
บรรณสาร 2	-546,981	474,754	403,312	332,646	262,748	193,612	125,229	57,592	9,307	75,475
สุรเริงไชย	-20,484,836	17,749,648	15,044,137	12,368,006	9,720,962	7,102,713	4,512,971	1,951,452	582,127	3,088,045
บริหาร	-2,197,621	1,918,314	1,642,048	1,368,793	1,098,518	831,194	566,791	305,281	46,633	209,180
บรรณสาร 1	-3,296,432	2,877,471	2,463,072	2,053,189	1,647,777	1,246,791	850,187	457,921	69,950	313,770
เรียนรวม 2	-4,365,788	3,778,014	3,196,614	2,621,524	2,052,680	1,490,022	933,485	383,011	161,464	699,997
ศูนย์รังสีวินิจฉัย	-5,457,235	4,653,090	3,856,298	3,067,468	2,286,525	1,513,392	747,991	9,757	759,927	1,502,595
วิชาการ 1	-3,833,709	3,332,914	2,837,562	2,347,597	1,862,965	1,383,614	909,491	440,542	23,282	482,035
อาคารเครื่องมือ 3	-4,375,849	3,798,035	3,226,495	2,661,167	2,101,988	1,548,896	1,001,832	460,734	74,456	603,799
วิชาการ 2	-1,644,199	1,430,742	1,219,606	1,010,767	804,203	599,890	397,806	197,929	237	195,292

ตารางที่ ค.8 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน เพื่อหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) (ต่อ)

ชื่ออาคาร	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
อาคารเครื่องมือ 1	-4,400,091	3,846,277	3,298,497	2,756,691	2,220,799	1,690,761	1,166,521	648,018	135,197	372,000
อาคารเครื่องมือ 4	-4,375,849	3,798,035	3,226,495	2,661,167	2,101,988	1,548,896	1,001,832	460,734	74,456	603,799
อาคารเครื่องมือ 11	-6,007,130	5,203,072	4,407,735	3,621,035	2,842,883	2,073,194	1,311,885	558,871	185,932	922,604
ศูนย์วิจัยมันฯ	-7,466,529	6,264,325	5,073,274	3,893,267	2,724,191	1,565,938	418,399	718,532	1,844,961	2,960,995
ศูนย์เครื่องมือ 7 (1)	-1,109,224	979,879	851,952	725,428	600,294	476,535	354,137	233,087	113,372	5,022
ศูนย์เครื่องมือ 7 (2)	-1,109,224	979,879	851,952	725,428	600,294	476,535	354,137	233,087	113,372	5,022
ศูนย์เครื่องมือ 7 (3)	-1,105,633	972,733	841,287	711,279	582,695	455,521	329,743	205,346	82,318	39,357
กีฬากีฬารมย์	-1,923,745	1,680,169	1,439,246	1,200,949	965,252	732,129	501,554	273,502	47,948	175,134
หอพัก นศ แพทย์ (1)	-1,964,346	1,699,591	1,437,708	1,178,666	922,438	668,995	418,310	170,355	74,897	317,473
หอพัก นศ แพทย์ (2)	-880,851	759,882	640,013	521,341	403,857	287,547	172,400	58,404	54,451	166,178
ขนส่ง 1	-3,820,522	3,306,673	2,798,397	2,295,637	1,798,339	1,306,448	819,909	338,670	137,322	608,121
ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	-825,798	722,731	620,788	519,957	420,228	321,589	224,029	127,538	32,105	62,281
สุรพัฒน์ 2	-5,814,448	5,126,502	4,446,086	3,773,126	3,107,546	2,449,273	1,798,234	1,154,356	517,568	112,201
ศูนย์สหกิจ ฯ	-1,637,112	1,416,639	1,198,557	982,841	769,469	558,416	349,660	143,177	61,054	263,058

ตารางที่ ค.8 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์การหามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน เพื่อหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) (ต่อ)

ชื่ออาคาร	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
สุขนิवास 4	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841
สุขนิवास 8	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841
สุขนิवास 7	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841
สุขนิवास 2	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841
สุขนิवास 6	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841
สุขนิवास 3	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841
สุขนิवास 1	-2,455,432	2,124,489	1,797,135	1,473,332	1,153,047	836,244	522,888	212,944	93,621	396,841



ประวัติผู้เขียน

นางสาวอชิฐฐาน ทิพย์พงษ์ธร เกิดวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2531 ณ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุนารีวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ (หลักสูตรระบบสารสนเทศเพื่อ การจัดการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งโปรแกรมเมอร์สถานที่ ปฏิบัติงาน โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีความสนใจเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานหมุนเวียน จึงได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม การจัดการพลังงาน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

