นวัตกรรมซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

นายปิยะ นาควัชระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INNOVATIVE EVALUATION SOFTWARE FOR THE INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM

Mr. Piya Narkwatchara

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Technopreneurship and Innovation Management
Inter-Department of Technopreneurship and Innovation Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2019
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	นวัตกรรมซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
โดย	นายปิยะ นาควัชระ
สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ กิตติคุณ ดร.อัจฉรา จันทร์ฉาย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์ กิตติคุณ ดร.อัจฉรา จันทร์ฉาย)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ขวัญรัฐ ส่วนพงษ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อุริช อัชชโคสิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปิยะ นาควัชระ : นวัตกรรมซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ . (INNOVATIVE EVALUATION SOFTWARE FOR THE INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. กิตติคุณ ดร.อัจฉรา จันทร์ฉาย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคโนโลยี ศักยภาพทางการตลาด ปัจจัยการประเมินระบบที่เหมาะสมกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมิน การวิจัยแบ่งเป็น 4 ระยะ 1) การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด ปัจจัยการประเมิน โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก 2) การพัฒนากระบวนการประเมินระบบ โดยการทดลอง การบันทึกข้อมูล และวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง หรือ SEM 3) การศึกษาคุณลักษณะสำคัญของซอฟต์แวร์ การทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก และ 4) การทดสอบการยอมรับซอฟต์แวร์และรูปแบบการใช้ในเชิงพาณิชย์ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

ผลการวิจัยทราบเทคโนโลยีและแนวคิดการออกแบบ การทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้านำมาสร้างสมการทำนาย ผลการพัฒนาดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าระหว่าง 0.949 – 1 และดัชนีฝุ่นละอองในอากาศมีค่าระหว่าง 0.909 – 1 จากนั้นพัฒนาสมการประเมินระบบใหม่ที่ผนวกดัชนีข้างต้น ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสมการแบบปกติและสมการที่พัฒนาขึ้น ($p = 0.001$) ผลการทดสอบสมการคำนวณใหม่มีขนาดของระบบสูงกว่า 2.34% พลังงานที่ผลิตได้และเป้าหมายต่างกัน 1.89% ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างซอฟต์แวร์ *“iDEPV”* กับพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จากโครงการที่ติดตั้งแล้วมีความใกล้เคียงกันความแตกต่างระหว่าง -1.28 ถึง 0.77% นอกจากนั้นผลการยอมรับซอฟต์แวร์แสดงให้เห็นว่าความต้องการใช้งานในระดับมาก ส่วนผลการพัฒนารูปแบบในเชิงพาณิชย์มีอัตราผลตอบแทนภายใน 31.23% และระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 9 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

6087786720 : MAJOR TECHNOPRENEURSHIP AND INNOVATION MANAGEMENT
KEYWORD: RENEWABLE ENERGY, SOLAR ROOFTOP, AREA-BASED POTENTIAL

Piya Narkwatchara : INNOVATIVE EVALUATION SOFTWARE FOR THE INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM. Advisor: Assoc. Prof. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D. Co-advisor: Prof. Emeritus Achara Chandrachai, Ph.D.

This research aims to study technology, market potential and system evaluation factors that are suitable for a tropical climate, and the development of evaluation software. The research was divided into 4 phases: 1) Study on solar cell technology, market potential, evaluation factors by in-depth interviews. 2) Development of the evaluation system by experiment, data recording and structural equation modeling analysis or SEM. 3) Study on key features of software, testing and performance improvement by in-depth interviews. 4) Software acceptance testing and commercial usage through quantitative analysis

The research results present the technology and design concepts. Electric power generation experiment was used to develop the prediction equations. The results of the developed AMT index was in the range of 0.949 - 1 and the PM index was in the range of 0.909 - 1. Then the developed new system evaluation equation including the above indexes. The differences in analysis results between typical and the developed equations ($p = 0.001$): the test results of the new calculated equation had the system size higher than 2.34%. The generated energy and the target energy was of 1.89% difference. The analysis results showed that the differences between the value obtained from the *"iDEPV"* software and electric energy recorded from the installed project were close: between -1.28 and 0.77%. Moreover, the software acceptance result illustrated that the demand was at high level. The development for commercial usage could yield an internal rate of return (IRR) 31.23%, and payback period 2-year 9 months.

Field of Study:	Technopreneurship and Innovation Management	Student's Signature ....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล และท่านอาจารย์ ศาสตราจารย์ กิตติคุณ ดร. อัจฉรา จันทร์ฉาย ที่ให้การสั่งสอน คำแนะนำ รวมถึงการติดตามความก้าวหน้าตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจและสำนึกในพระคุณของท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ไว้ ณ ที่นี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ศาสตราจารย์ ดร. สนอง เอกสิทธิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระ เหมืองสิน อาจารย์ ดร. ขวัญรัฐ ส่วนพงษ์ และ ดร. อุริช อัชชโคสิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาสละเวลาและให้คำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ได้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่กรุณาให้คำแนะนำสำหรับการออกแบบและเก็บข้อมูลในการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงท่านผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ สำหรับทุกขั้นตอนการวิจัย และเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญเพื่อการดำเนินวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และกัลยาณมิตร ที่ช่วยสนับสนุนแรงกายแรงใจ อันเป็นกำลังใจสำคัญจนส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ปิยะ นาควัชระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค
บทคัดย่อภาษาไทย.. ค
.... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. ง
กิตติกรรมประกาศ.. จ
สารบัญ.. ฉ
สารบัญตาราง.. ฐ
สารบัญภาพ .... ณ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย... 3
1.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ... 4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 แนวคิดพื้นฐานด้านพลังงานทดแทน.. 6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ 9
2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อน 10
2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์.. 10
2.2.3 พลังงานลม 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 พลังงานจากชีวมวล 11

2.2.5 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) 11

2.2.6 พลังงานน้ำ 11

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ 11

2.4 แนวคิดการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา 15

2.4.1 เกณฑ์การออกแบบของระบบโซล่าเซลล์ (ขั้นตอนการออกแบบ) 15

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพโซล่าเซลล์ (ขั้นตอนการผลิตพลังงาน) 16

2.4.3 ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบที่เหมาะสมของระบบโซล่าเซลล์ 17

2.5 เทคโนโลยีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 19

2.5.1 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีแบตเตอรี่เก็บพลังงาน 20

2.5.2 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แบตเตอรี่เก็บพลังงาน 20

2.6 มาตรฐานการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 23

2.6.1 มาตรฐานของประเทศไทย 24

2.6.2 มาตรฐานของต่างประเทศ 25

2.6.3 มาตรฐานที่นำมาใช้ในซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้ง 25

2.7 แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 26

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ 27

2.8.1 ระยะที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) 27

2.8.2 ระยะที่ 2 ระยะดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product development) 28

2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับเทคโนโลยี 31

2.10 ศักยภาพทางการตลาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 34

2.10.1 ข้อมูลแนวโน้ม ทิศทาง การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ 34

2.10.2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของประเทศไทย 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10.3 แนวทางการสนับสนุนของภาครัฐต่อโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 37

2.10.4 การเติบโตของอุตสาหกรรมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) 38

2.10.5 ผู้ให้บริการด้านการออกแบบ การติดตั้ง และจำหน่ายอุปกรณ์ระบบโซล่าเซลล์ 41

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 41

2.11.1 งานวิจัยภายในประเทศ 41

2.11.2 งานวิจัยต่างประเทศ 43

2.12 กรอบแนวคิดในการวิจัย 45

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 47

3.1 ระยะที่ 1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด และปัจจัยการออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ 47

3.1.1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ทฤษฎีด้านไฟฟ้าและมาตรฐานทางวิศวกรรม 47

3.1.2 การศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า 48

3.1.3 การศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา 48

3.2 ระยะที่ 2 การพัฒนากระบวนการประเมินการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ 51

3.2.1 การทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์และสร้างสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม 51

3.2.2 การพัฒนาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์ 55

3.2.3 การสร้างและรวบรวมฐานข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์หลักในระบบโซล่าเซลล์ 56

3.2.4 การศึกษาและกำหนดตัวแบบประเมินทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 58

3.3 ระยะที่ 3 การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ การพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบใช้งาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพ 58

3.3.1 การศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม 58

3.3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบและประเมิน 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.3 การทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์ 61
3.4 ระยะที่ 4 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 62
3.4.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 62
3.4.2 การพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 63
3.5 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย 64
3.6 สรุปความเกี่ยวข้องของวิทยานิพนธ์กับ เทคโนโลยี นวัตกรรม และการจัดการ 64
3.6.1 Technology: New Design and Evaluation 64
3.6.2 Innovation: Product Innovation 64
3.6.3 Management: Commercial plan 65
3.7 สรุปขั้นตอนและแผนการดำเนินการวิจัย 65
3.8 สรุปวัตถุประสงค์ การดำเนินงาน และเครื่องมือที่ใช้ 67
บทที่ 4 การศึกษาเทคโนโลยีโซล่าเซลล์ ศักยภาพการตลาด และปัจจัยการออกแบบ 70
4.1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ทฤษฎีด้านไฟฟ้าและมาตรฐานทางวิศวกรรม 70
4.1.1 การศึกษาเทคโนโลยีของระบบโซล่าเซลล์ 70
4.1.2 การศึกษาทฤษฎีด้านไฟฟ้า มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 74
4.2 การศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า 80
4.2.1 ภาพรวมการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ของประเทศไทย 80
4.2.2 ทิศทางแนวโน้มการติดตั้งโซล่ารูฟท็อปและการสนับสนุนจากภาครัฐ 84
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา 88
4.3.1 กระบวนการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ 89
4.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ 89
4.3.3 ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในกระบวนการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 การพัฒนาแนวคิดการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ 93
5.1 ผลการทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์และสร้างสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม 93
5.1.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา 93
5.1.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 99
5.1.3 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบแยกส่วน 100
5.1.4 การวิเคราะห์สมการโครงสร้าง 103
5.1.5 การพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนี Ambient temperature และ PM 2.5 108
5.2 การพัฒนาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์ 118
5.2.1 การพัฒนาสมการการออกแบบใหม่ 118
5.2.2 การทดสอบสมการคำนวณขนาดระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาใหม่ 121
5.2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากสมการกับโครงการโซล่าเซลล์ที่ดำเนินการแล้ว 124
5.3 การสร้างและรวบรวมฐานข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์หลักในระบบโซล่าเซลล์ 126
5.3.1 แผงโซล่าเซลล์ (Photovoltaic Module) 126
5.3.2 อินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบผู้ให้บริการไฟฟ้า (Grid Tie Inverter) 127
5.4 การศึกษาและกำหนดตัวแบบประเมินทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 128
5.4.1 การหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ 128
5.4.2 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ PVGCS 131
บทที่ 6 การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ การพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบใช้งานและการปรับปรุงประสิทธิภาพ 138
6.1 การศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม 138
6.1.1 ประสบการณ์ใช้ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณ 138
6.1.2 คุณสมบัติของซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณที่พึงประสงค์ 139
6.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า 142

6.2.1 แนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า 143
6.2.2 การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลแผงโซล่าเซลล์ 144
6.2.3 การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบ 146
6.2.4 การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อม 148
6.2.5 ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพฯ 149
6.3 การทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า 158
6.3.1 กระบวนการทดสอบและผลการทดสอบซอฟต์แวร์ 158
6.3.2 ผลการปรับปรุงซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า 168
บทที่ 7 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 169
7.1 ผลทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 169
7.1.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 170
7.1.2 ลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้เพื่อประเมินศักยภาพ............................ 171
7.1.3 ผลการวิเคราะห์การยอมรับเทคโนโลยีซอฟต์แวร์.. 172
7.2 การพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 175
7.2.1 การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PEST Analysis)... 175
7.2.2 การวิเคราะห์สภาวะการแข่งขัน (Five Forces Model)... 176
7.2.3 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT).. 178
7.2.4 การวางแผนการตลาด (Marketing plan) 179
7.2.5 การวิเคราะห์ส่วนประสมทางการตลาด (4P’s) 181
7.2.6 การศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน 182
7.2.7 การประเมินความเป็นไปได้ด้านการเงิน 185
บทที่ 8 สรุปและอภิปรายผล 192
8.1 สรุปผล... 192

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.2 อภิปรายผล 194

8.2.1 อภิปรายผลการศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา 194

8.2.2 อภิปรายผลการศึกษาสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม 195

8.2.3 อภิปรายผลการศึกษาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์ 196

8.2.4 อภิปรายผลการศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม 196

8.2.5 อภิปรายผลการศึกษาการพัฒนาซอฟต์แวร์การประเมิน 197

8.2.6 อภิปรายผลการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ 198

8.2.7 อภิปรายผลการศึกษาการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 199

8.3 ข้อเสนอแนะ 200

8.3.1 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต 200

8.3.2 ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์ 200

บรรณานุกรม 201

ภาคผนวก 209

ภาคผนวก ก การขอรับใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม 210

ภาคผนวก ข แบบสัมภาษณ์ (การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบโซล่าเซลล์) 215

ภาคผนวก ค แบบสัมภาษณ์ (การศึกษาประสบการณ์ใช้และคุณสมบัติซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม) . 222

ภาคผนวก ง แบบสอบถาม (การศึกษาประสบการณ์ใช้และคุณสมบัติซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม) ... 225

ภาคผนวก จ Software diagram 231

ประวัติผู้เขียน 236

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 Design criteria and factors influencing of PV system 18

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสถิติอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ จำแนกตามเขตภูมิอากาศ........ 23

ตารางที่ 3 เป้าหมายและยอดขอรับการส่งเสริมการลงทุน BOI (ปี 2560 – 2562) 40

ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงานวิจัย........ 65

ตารางที่ 5 สรุปวัตถุประสงค์ การดำเนินงาน และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 67

ตารางที่ 6 ค่าคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์จำแนกตามชนิดของระบบและอุปกรณ์ 78

ตารางที่ 7 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ 91

ตารางที่ 8 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาสำหรับจำแนกรายพารามิเตอร์........ 93

ตารางที่ 9 Pearson correlation Coefficient 99

ตารางที่ 10 Partial correlations: Control Solar radiation 100

ตารางที่ 11 Partial correlations: Control PM 2.5........ 101

ตารางที่ 12 Partial correlations: Control PV module temp 101

ตารางที่ 13 Partial correlations: Control Ambient temp 102

ตารางที่ 14 Partial correlations: Control Relative humidity 102

ตารางที่ 15 Model consistency with empirical data........ 104

ตารางที่ 16 Path coefficient of model 105

ตารางที่ 17 All factor score weights 106

ตารางที่ 18 ค่าดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม........ 110

ตารางที่ 19 ค่าดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5)........ 114

ตารางที่ 20 ผลการคำนวณขนาดระบบและเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 122

ตารางที่ 21 ผลการคำนวณขนาดระบบและเปรียบเทียบกับเงื่อนไข PM 2.5 123

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ Paired Sample t-test 124

ตารางที่ 23 ผลการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามความต้องการและที่ติดตั้งแล้ว............ 125

ตารางที่ 24 มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์ 127

ตารางที่ 25 มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ 127

ตารางที่ 26 ตัวคูณปรับค่ามูลค่าปัจจุบัน 134

ตารางที่ 27 สรุปประเด็นสำคัญจากผู้ให้ข้อมูลสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ 140

ตารางที่ 28 รายละเอียดของโครงการอ้างอิงสำหรับการทดสอบซอฟต์แวร์ 158

ตารางที่ 29 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง............. 160

ตารางที่ 30 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดนครปฐม 161

ตารางที่ 31 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดนครราชสีมา 163

ตารางที่ 32 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดชลบุรี 164

ตารางที่ 33 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดเพชรบุรี 166

ตารางที่ 34 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริงและการประเมินจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น 167

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ความถี่และร้อยละ ของข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม............. 170

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ความถี่และร้อยละ ของลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้งาน 171

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านประโยชน์ของซอฟต์แวร์ 172

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านความง่ายของการใช้งานซอฟต์แวร์ 173

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านทัศนคติต่อการใช้งานซอฟต์แวร์ 173

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านความต้องการใช้งานซอฟต์แวร์ 174

ตารางที่ 41 รายละเอียดของบุคลากรในการดำเนินงาน 184

ตารางที่ 42 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการลงทุน 185

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 43 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)....186

ตารางที่ 44 ค่าตัดจำหน่าย (Amortization)....186

ตารางที่ 45 รายละเอียดข้อสมมติทางการเงิน....187

ตารางที่ 46 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน....188

ตารางที่ 47 ประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน....188

ตารางที่ 48 รายละเอียดรายรับจากการดำเนินงาน....189

ตารางที่ 49 ประมาณการรายรับในการดำเนินงาน....189

ตารางที่ 50 ประมาณการงบกำไรขาดทุน....190

ตารางที่ 51 ประมาณการระยะเวลาคืนทุน....191

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ตัวเลือกในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการจัดหาพลังงานที่มีประโยชน์ 7

ภาพที่ 2 การลงทุนใหม่ทั่วโลกด้านพลังงานทดแทนจำแนกตามแหล่งพลังงาน ปี 2017 และอัตราการเติบโตเมื่อเทียบกับ ปี 2016 9

ภาพที่ 3 การส่งผ่านและลดทอนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่ผิวโลก 12

ภาพที่ 4 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทกลุ่มผลึกซิลิคอน (Crystalline silicon)................................... 13

ภาพที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทกลุ่มฟิล์มบาง (Thin film cells).. 14

ภาพที่ 6 องค์ประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.. 14

ภาพที่ 7 Conceptual framework 19

ภาพที่ 8 ตัวอย่างไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 21

ภาพที่ 9 การติดตั้งระบบผลิตระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 24

ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงระยะและขั้นตอนการทำงานในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ 28

ภาพที่ 11 แบบจำลองการกระทำตามหลักเหตุผล (TRA) 31

ภาพที่ 12 แบบจำลองทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (TBP) 32

ภาพที่ 13 แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM)... 33

ภาพที่ 14 แบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) 34

ภาพที่ 15 Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2007-2017 34

ภาพที่ 16 Solar PV Global Capacity, by Country of Region, 2007-2017............................ 35

ภาพที่ 17 Solar PV Global Capacity Additions, Shares of Top 10 Counties and rest of world, 2017 36

ภาพที่ 18 ที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนใหม่ ในกรุงเทพฯ – ปริมณฑล และแนวโน้มปี 2562 36

ภาพที่ 19 การออกใบอนุญาตจัดสรรที่ดินอยู่อาศัยในจังหวัดภูมิภาค และแนวโน้มปี 2562 37

ภาพที่ 20 อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 21 ยอดขาย-เช่าที่ดินของนิคมอุตสาหกรรม (ไตรมาสที่ 4 ปี 2560 - ไตรมาสที่ 1 ปี 2562) 40

ภาพที่ 22 กรอบแนวคิดการวิจัย 46

ภาพที่ 23 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง 54

ภาพที่ 24 ไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและเครื่องมือวัด 55

ภาพที่ 25 แบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) 62

ภาพที่ 26 กระบวนการดำเนินงานวิจัย 64

ภาพที่ 27 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงและเกิดการไฟล์ของกระแสไฟฟ้า 71

ภาพที่ 28 PV cell, module, panel and array 71

ภาพที่ 29 Best Research-Cell Efficiency Chart 72

ภาพที่ 30 สัญลักษณ์อินเวอร์เตอร์ในวงจรไฟฟ้า 73

ภาพที่ 31 Grid Connect Invertor 74

ภาพที่ 32 กำลังการผลิตติดตั้ง Grid-connected PV system in 2018 81

ภาพที่ 33 การติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ขนาดใหญ่ในประเทศไทย 82

ภาพที่ 34 MEA self-consumption using PV systems by range of installed systems capacity in 2018 83

ภาพที่ 35 PEA self-consumption number of installed systems by range of installed systems capacity in regions in 2018 84

ภาพที่ 36 โครงการที่อยู่อาศัยเปิดขายใหม่ กรุงเทพฯ - ปริมณฑล ปี 2562 และแนวโน้มปี 2563 .. 85

ภาพที่ 37 จำนวนหน่วยการโอนกรรมสิทธิ์ที่อยู่อาศัยจังหวัดภูมิภาค ปี 2562 และแนวโน้มปี 256386

ภาพที่ 38 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในกระบวนการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ 92

ภาพที่ 39 Descriptive statistics classified by parameters 94

ภาพที่ 40 Scatter plot of Active power data by date 95

ภาพที่ 41 Scatter plot of Solar radiation data by date 95

ภาพที่ 42 Scatter plot of Particulate matter 2.5 data by date 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 43 Scatter plot of PV module temperature data by date 96
ภาพที่ 44 Scatter plot of Ambient temperature data by date 96
ภาพที่ 45 Scatter plot of Relative humidity data by date 97
ภาพที่ 46 Mean of all parameters classified by date 98
ภาพที่ 47 Unstandardized estimates model 103
ภาพที่ 48 Standardized estimates model 104
ภาพที่ 49 Radar chart for standardized Path coefficient 106
ภาพที่ 50 Clustered chart for standardized factor score weights 107
ภาพที่ 51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและค่าดัชนี 112
ภาพที่ 52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศและค่าดัชนี 116
ภาพที่ 53 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมและค่าดัชนี 117
ภาพที่ 54 ผลต่างของการคำนวณสมการทั่วไปและสมการใหม่ภายใต้ AMT 123
ภาพที่ 55 ผลต่างของการคำนวณสมการทั่วไปและสมการใหม่ภายใต้ PM 2.5 124
ภาพที่ 56 ไดอะแกรมของระบบ PVGCS และค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพและสมรรถนะ 131
ภาพที่ 57 กราฟสรุปประเด็นสำคัญจากผู้ให้ข้อมูลสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ 142
ภาพที่ 58 สรุปแนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบและประเมิน 144
ภาพที่ 59 ตัวอย่างคุณสมบัติด้านเทคนิคทางด้านไฟฟ้า 145
ภาพที่ 60 ตัวอย่างการแสดงประสิทธิภาพ และมาตรฐานที่ผ่านการทดสอบ 145
ภาพที่ 61 ตัวอย่างคุณสมบัติทั่วไปและกายภาพของผลิตภัณฑ์ 146
ภาพที่ 62 ตัวอย่างแสดงความสอดคล้องกับคุณสมบัติตามมาตรฐาน 147
ภาพที่ 63 ตัวอย่างคุณสมบัติด้านเทคนิคทางด้านไฟฟ้าทั้งด้าน Input และ Output 147
ภาพที่ 64 ตัวอย่างแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จำแนกตามแรงดันระบบ 148
ภาพที่ 65 การป้อนข้อมูลที่สำคัญลงในซอฟต์แวร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ 152
ภาพที่ 66 การแสดงผลวิเคราะห์ข้อมูลจากซอฟต์แวร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ 153

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 67 ตัวอย่างเอกสารสรุปการประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า........................157
ภาพที่ 68 โครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง 159
ภาพที่ 69 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง 160
ภาพที่ 70 โครงการอ้างอิง จังหวัดนครปฐม..161
ภาพที่ 71 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดนครปฐม..........162
ภาพที่ 72 โครงการอ้างอิง จังหวัดนครราชสีมา..162
ภาพที่ 73 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดนครราชสีมา....163
ภาพที่ 74 โครงการอ้างอิง จังหวัดชลบุรี 164
ภาพที่ 75 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดชลบุรี 165
ภาพที่ 76 โครงการอ้างอิง จังหวัดเพชรบุรี...165
ภาพที่ 77 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดเพชรบุรี...........166
ภาพที่ 78 แบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) 169
ภาพที่ 79 การวางตำแหน่งของซอฟต์แวร์ iDEPV 181
ภาพที่ 80 ผังโครงสร้างองค์กร 183

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบพลังงานของโลกจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่ก่อนหน้านี้ระบบจัดหาหรือผลิตพลังงานจะต้องพึงพาเชื้อเพลิงที่มีแหล่งกำเนิดจากฟอสซิลเป็นหลัก โดยจะถูกแทนที่ด้วยพลังงานหมุนเวียนซึ่งนับวันจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด (IRENA, 2018) แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานน้ำ (Hydropower) พลังงานชีวมวลและชีวภาพ (Bio-power) พลังงานความร้อนใต้พื้นพิภพ (Geothermal power) พลังงานเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Solar PV) พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Concentrating Solar Power) พลังงานลม (Wind power) และพลังงานจากมหาสมุทร (Ocean energy) ซึ่งในปี 2017 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานทดแทนรวม 2,195 GW โดยพลังงานเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ผลิตได้เป็นลำดับที่สาม 402 GW (REN21, 2018)

REN21 (2018) กล่าวว่าความเติบโตของโครงการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์สูงถึง 55% ของโครงการพลังงานทดแทนทุกประเภทที่ติดตั้งใหม่ในปี 2017 ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด ได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เยอรมนี และอิตาลี ตามลำดับ หากพิจารณาจากเงินลงทุนในโครงการติดตั้งใหม่ปี 2017 มีมูลค่าสูงขึ้น 18% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า ในทางกลับกันพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่นพบว่ามูลค่าการลงทุนมีแนวโน้มลดลงจากปีก่อนหน้า (BNEF, 2018)

ประเทศไทยมีแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Thailand Power Development Plan)หรือ PDP2018 ซึ่งเป็นแผนแม่บทในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าของประเทศในระยะยาว 20 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 – 2580 เพื่อบรรลุ 3 ประเด็นสำคัญด้านพลังงาน ได้แก่ ประเด็นความมั่นคง (Security) เศรษฐกิจ (Economy) และสิ่งแวดล้อม (Ecology) โดยจุดเด่นประการหนึ่งของแผนพัฒนาฯ นี้คือ ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้าทั้งด้านการผลิตไฟฟ้าและด้านการใช้ไฟฟ้า (EPPO, 2018c) โดยแผน PDP2018 จะมุ่งเน้นใช้ระบบไฟฟ้าในอนาคต ออกแบบให้รองรับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ (Distributed Generation: DG) (กระทรวงพลังงาน, 2558) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนบางประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ด้วยการออกแบบระบบไฟฟ้าสามารถไหลได้สองทิศทางคือทั้งผลิตและรับพลังงานไฟฟ้า ซึ่งอนาคตบทบาทของผู้ใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นผู้ผลิตไฟฟ้า (Prosumer) สามารถบริหารจัดการพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (EPPO, 2018b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2561 จำแนกตามแหล่งพลังงานต้นทุนพบว่า ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนประมาณ 7% จากยอดรวมกำลังการผลิต 201,166 GWh (EPPO, 2018a) โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นับว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่งที่ได้รับการสนับสนุนจากนโยบายภาครัฐ (DEDE, 2015; EPPO, 2018c; IRENA, 2017) รวมถึงสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาความยั่งยืนของระบบพลังงานในนานาประเทศ (BNEF, 2018; IRENA, 2018)

ด้วยเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ โดยนำเทคโนโลยีมาช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อให้สิ่งที่ออกแบบเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งานและสอดคล้องกับศักยภาพในเชิงพื้นที่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น รวมถึงการช่วยเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เข้ากันได้ (Compatible) เมื่อประกอบและทำงานร่วมกันเป็นระบบให้เกิดความเหมาะสมของระบบในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม รวมถึงประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในรูปแบบต่าง ๆ ที่สามารถปรับเปลี่ยนการให้บริการออกแบบระบบฯ ในรูปแบบเดิมที่ต้องใช้ข้อมูล เวลา ความรู้ด้านวิศวกรรมค่อนข้างสูง ให้กลายมาเป็นนวัตกรรมการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อการสนองตอบแก่ผู้ใช้งานที่เป็นกลุ่มวิศวกรออกแบบ วิศวกรที่ปรึกษา รวมถึงวิศวกรติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด และปัจจัยการออกแบบและประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2. เพื่อพัฒนากระบวนการประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสม และผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

3. เพื่อศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ซึ่งบูรณาการสมการคำนวณใหม่ร่วมกับข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องในเชิงพื้นที่ และมาตรฐานวิศวกรรมของอุปกรณ์หลักในระบบ เพื่อให้มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม

4. เพื่อทดสอบการใช้งาน ความเที่ยงตรง และปรับปรุงประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

5. เพื่อทดสอบการยอมรับซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Chulalongkorn University

6. เพื่อพัฒนาการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สำหรับซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาออกแบบและประเมินประสิทธิภาพในการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ครอบคลุมถึงวรรจรไฟฟ้ากระแสตรงจนถึงการแปลงเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งประกอบด้วยแผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ ไม่รวมการพิจารณาส่งจ่ายพลังงานไปยังบริภัณฑ์ใช้สอย (Utilization equipment)

2. ศึกษาระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบออนกริด (On-Grid solar system) ที่ติดตั้งบนหลังคา (Rooftop) เท่านั้น

3. ศึกษาระบบผลิตพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ระดับแรงดันกระแสสลับ 220 V 1 Phase และ 380 V 3 Phase ความถี่ 50 Hz ขนาดไม่เกิน 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์

4. ศึกษาออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอ้างอิงค่าความเข้มแสงเชิงพื้นที่ (Global solar atlas: GSA) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature: AMT) และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Particulate matter: PM 2.5)

5. ไม่ครอบคลุมระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเชื่อมต่อกับแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงหมุนเวียนประเภทอื่น

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ อ้างอิงค่าความเข้มแสงเชิงพื้นที่ (GSA) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM2.5) ซึ่งเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี ทั้งนี้หากมีปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของโลกในลักษณะที่มีความรุนแรงและต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง มีความแตกต่างจากผลการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์นี้

1.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. พลังงานทดแทน (Renewable energy) หมายถึง พลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด หรือสามารถหมุนเวียนมาใหใช้อย่างต่อเนื่อง เชน พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย พลังงานกาซชีวภาพ พลังงานชีวมวล เป็นต้น

2. เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell) หมายถึง อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยเซลล์โฟโตวอลเทอิก ซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงหรือโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยองค์ประกอบหลักที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทต่าง ๆ

3. ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array) หมายถึง ชุดประกอบของ PV module, PV string หรือ PV sub-array ที่เชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า และส่วนประกอบอื่น ๆ จนถึงขั้วต่อสายด้านเข้าไฟฟ้ากระแสตรงของอินเวอร์เตอร์ หรืออุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า หรือโหลดไฟฟ้ากระแสตรง (EIT, 2016)

4. ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic systems) หมายถึง การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า หลายหน่วยย่อยนำมาต่อเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มแรงดันและกระแสให้เหมาะสม ด้วยอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบที่ทำงานร่วมกันเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

5. ศักยภาพในการติดตั้ง (Installation potential) หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบฯ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านมายังบริเวณที่ติดตั้งระบบผลิตพลังงาน สภาพแวดล้อมของสถานที่ติดตั้ง ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบของระบบ ตลอดจนความคุ้มค่าทางการเงินและสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการพิจารณาตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้คาดว่าจะได้รับประโยชน์หลายมิติ ทั้งในด้านวิชาการ และการนำไปประยุกต์ใช้งานในวงการวิศวกรรมไฟฟ้า พลังงานทดแทน และบุคคลที่สนใจ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ทางวิชาการ

1. ได้สมการสำหรับคำนวณขนาดของระบบโซล่าเซลล์ ซึ่งเป็นสมการที่ได้รับการปรับปรุงขึ้นใหม่ โดยคำนึงถึงปัจจัยนำเข้าเพื่อการคำนวณที่หลากหลายและมีความเหมาะสม รวมถึงการเพิ่มปัจจัยใหม่ในตัวแบบ คือ อุณหภูมิสภาวะแวดล้อม และปัจจัยด้านคุณภาพอากาศ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

2. ได้กระบวนการประเมินประสิทธิภาพในการติดตั้งเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมในเชิงพื้นที่

ประโยชน์ในการนำไปใช้งาน

1. ได้ซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งบูรณาการข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานวิศวกรรม ศักยภาพเชิงพื้นที่ การเลือกวัสดุอุปกรณ์ ที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม

2. ได้แผนเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสม สำหรับซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้เพื่อสร้างนวัตกรรมซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดกรอบเพื่อการศึกษาค้นคว้าจากตำราวิชาการ บทความวิจัย บทความวิชาการ ตลอดจนข้อมูลของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อบูรณาการองค์ความรู้มาสู่กรอบแนวคิดในการวิจัยให้มีความชัดเจน รวมถึงกำหนดสมมติฐานที่เหมาะสม มีลำดับเนื้อหา ดังนี้

2.1 แนวคิดพื้นฐานด้านพลังงานทดแทน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 แนวคิดการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา

2.5 เทคโนโลยีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.6 มาตรฐานการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.7 แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับเทคโนโลยี

2.10 ศักยภาพทางการตลาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

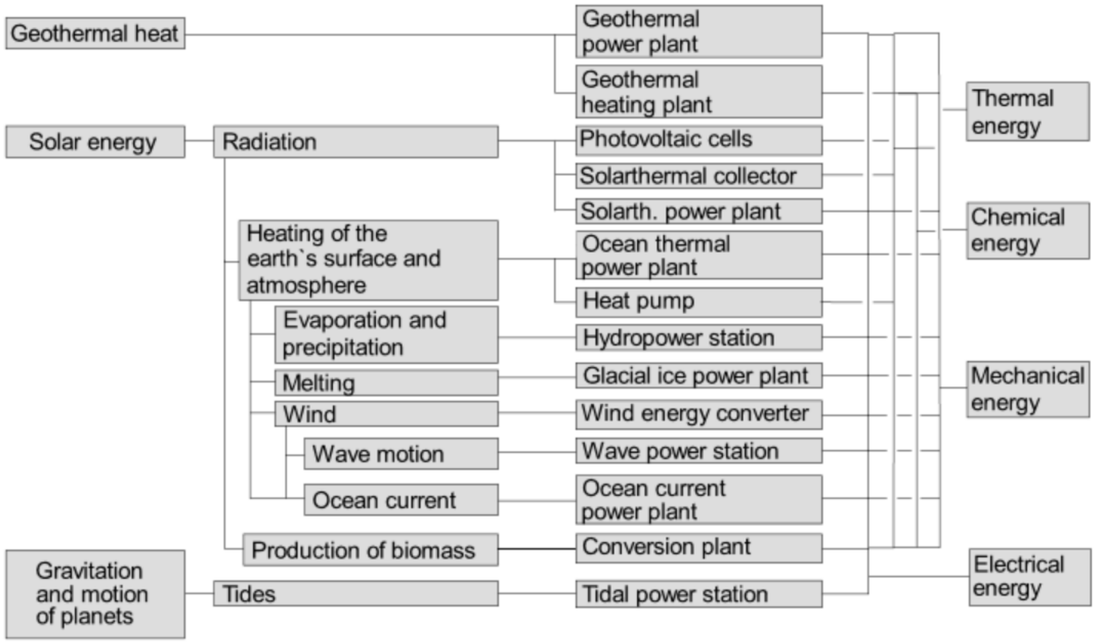
2.12 กรอบแนวคิดการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1 แนวคิดพื้นฐานด้านพลังงานทดแทน

ในปัจจุบันและอนาคต ปัจจัยด้านพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ มีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การดำรงชีวิตของพลเมือง ซึ่งนับวันจะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาทิ พลังงานที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจ และครัวเรือน ทางเลือกที่สำคัญและมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคตคือพลังงานทดแทน (Renewable energy) คือ พลังงานที่ใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งอาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่สิ้นเปลือง อาทิ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน ทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนจากแหล่งที่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้โดยไม่หมดไป อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น (อนุตร จำลองกุล, 2555) ส่วนแนวคิดของ Kaltschmitt and Streicher (2007) กล่าวถึงพลังงานทดแทนที่ใช้ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นการนำพลังงานมาใช้ในทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม ประเภทของพลังงานมีปริมาณที่จะนำมาใช้ประโยชน์

ได้แตกต่างกันตามแต่ละชนิดของพลังงานโดยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแหล่งพลังงานและการนำมาใช้เป็นพลังงานขั้นสุดท้าย อ้างอิงตามศักยภาพในเชิงพื้นที่ ซึ่งประกอบด้วยพลังงานที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์ พลังงานจากลม พลังงานจากน้ำ พลังงานใต้พิภพ ซึ่งหากกล่าวถึงแนวทางการเลือกใช้พลังงานทดแทนให้ใช้ประโยชน์ได้ตามพลังงานขั้นสุดท้าย ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานด้านเคมี พลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า อาจจำแนกได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวเลือกในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อการจัดหาพลังงานที่มีประโยชน์
ที่มา: Kaltschmitt and Streicher (2007)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากแผนภาพข้างต้นพบว่าต้นกำเนิดพลังงานหลักประกอบด้วยแหล่งความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานที่ประยุกต์จากแรงโน้มถ่วงหรือการเคลื่อนไหวของโลก เป็นต้น และพลังงานที่ได้ออกมาจำแนกเป็น 4 ประเภทข้างต้น ซึ่งพลังงานที่ได้รับอาจมาจากแหล่งพลังงานประเภทเดียวหรือจากหลายแหล่งพลังงานก็ย่อมได้ (Kaltschmitt & Streicher, 2007)

พลังงานทดแทนมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นในอนาคต จะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนที่สูงขึ้นเมื่อพิจารณาจากแหล่งพลังงานที่ใช้ทั้งหมดซึ่งรวมถึงแหล่งพลังงานแบบดั้งเดิม สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งคือเมื่อแหล่งพลังงานชนิดเดิมซึ่งมีปริมาณจำกัดและกำลังจะหมดไปในไม่ช้า โดยสำนักงานพลังงานทดแทนระหว่างประเทศ หรือ International Renewable Energy Agency (IRENA) ได้วางกรอบการดำเนินงานแก่กลุ่มประเทศสมาชิกให้ร่วมกันปฏิบัติตามแผน ที่กำหนดไว้นั้น คือ “A roadmap to 2050” โดยมีเป้าหมายในการรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้สูงเกินกว่า 2

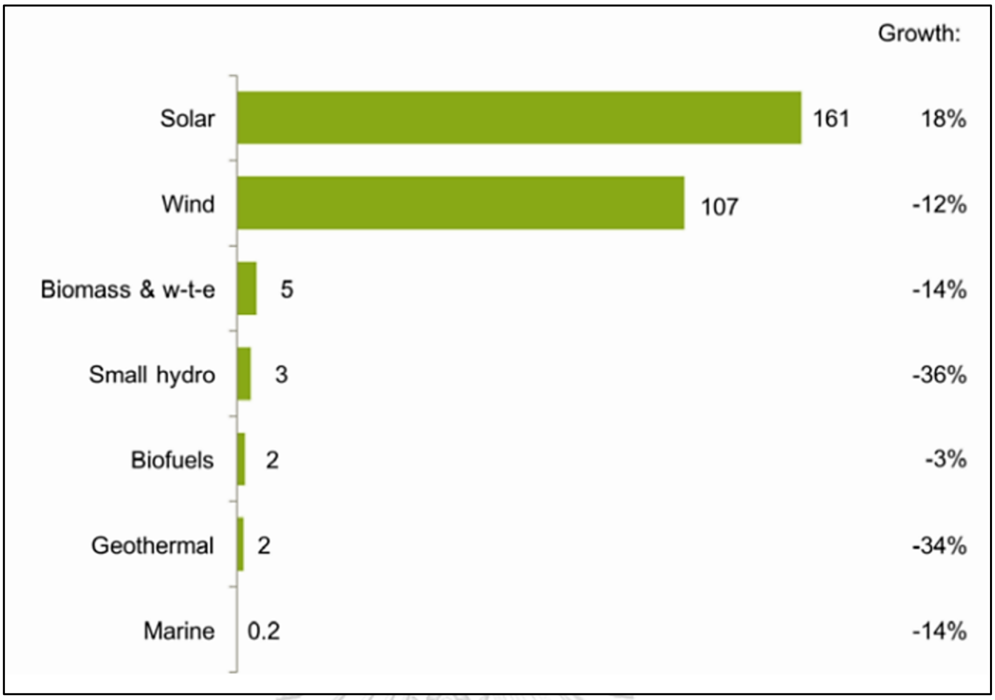
องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดผลดีทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสภาวะทางเศรษฐกิจ ทางสังคม และทางนิเวศวิทยา มากกว่าแผนงานและแนวทางในปัจจุบันที่ดำเนินการอยู่ (IRENA, 2018) นอกจากนี้เครือข่ายนโยบายพลังงานทดแทนสำหรับศตวรรษที่ 21 หรือ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) ได้ร่วมพิจารณาถึงศักยภาพอันสำคัญของพลังงานทดแทนที่จะมีบทบาทมากยิ่งขึ้นในอนาคตและมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานแบบดั้งเดิม (REN21, 2018) อย่างไรก็ตามการขับเคลื่อนในเรื่องดังกล่าวอาจยังมีความไม่เท่าเทียมกันในทุกภาคส่วน แต่หากพิจารณาด้านการลงทุนเพื่อการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนมีเรื่องที่น่าสนใจและเป็นทิศทางที่ดีเนื่องจากพบว่าในปี 2560 ที่ผ่านมาการลงทุนทั่วทั้งโลกในด้านพลังงานทดแทนมีมูลค่าถึง 279.8 พันล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งสูงกว่าปี 2559 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (BNEF, 2018)

โดยพลังงานทดแทนที่เติบโตและมีการลงทุนมากขึ้น ได้แก่ พลังงานชีวภาพ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานน้ำ พลังจากคลื่นในมหาสมุทร พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้มข้นสูง (CSP) การทำความร้อนและความเย็นจากแสงอาทิตย์ และพลังงานลม สิ่งเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญต่อไปในอนาคต (REN21, 2018)

หากพิจารณามุ่งเน้นไปยังการผลิตไฟฟ้าจากพลังแสงอาทิตย์ข้อมูลที่ปรากฏในปี 2560 พบสิ่งที่น่าสนใจว่ากำลังการผลิตติดตั้งใหม่เพิ่มขึ้นเป็นประวัติการณ์ โดยมีการติดตั้งทั่วโลกรวมกันสูงถึง 98 GW ซึ่งทำให้ปริมาณสะสมของพลังงานแสงอาทิตย์ขยับมาสู่ 38% ของกำลังการผลิตติดตั้งใหม่สุทธิจากปีก่อนหน้า (BNEF, 2018)

จากรายงาน Global Trends in Renewable Energy Investment 2018 จะพบว่าทั่วโลกมีการตื่นตัวและเพิ่มการลงทุนในการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน จากข้อมูลในปี 2017 พบว่ามูลค่าการลงทุนใหม่จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล พลังงานน้ำ ไบโอดีเซล พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากทะเล ดังภาพที่ 2

CHULALONGKORN UNIVERSITY



Unit: Billion US dollars

ภาพที่ 2 การลงทุนใหม่ทั่วโลกด้านพลังงานทดแทนจำแนกตามแหล่งพลังงาน ปี 2017 และอัตราการเติบโตเมื่อเทียบกับ ปี 2016

ที่มา: BNEF (2018)

จากข้อมูลข้างต้นพบว่ามีความเติบโตในการลงทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนประเภทพลังงานแสงอาทิตย์ 161 พันล้านเหรียญสหรัฐ ($161 billion) ซึ่งเติบโตสูงขึ้นจากปีก่อนหน้า (2016) ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ ในทางกลับกันการลงทุนผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนประเภทอื่น กลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า ด้วยเหตุนี้การศึกษา วิจัย และพัฒนาแหล่งพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ย่อมมีนวัตกรรมใหม่ เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่องอย่างก้าวกระโดด และยังเป็นแหล่งพลังงานหลักที่จะสามารถทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลต่อไปในอนาคตอันใกล้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์

จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแนวโน้มการวิจัย พัฒนา และลงทุนติดตั้งอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในเชิงพื้นที่ เศรษฐกิจและสังคมของแต่ละประเทศ โดยพลังงานทดแทนที่กล่าวในข้างต้นได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ (อนุตร จำลองกุล, 2555)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อน

พลังงานรูปแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ โดยผู้วิจัยขอนำมาอธิบายในส่วนที่สำคัญ อาทิ

1) การทำน้ำร้อน หรือของเหลวร้อน ซึ่งการใช้งานมีหลากหลายระดับความร้อนเพื่อใช้ตามบ้านพักอาศัยส่วนมากมักมีอุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 100 °C หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 °C โดยหลักของการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เกิดความร้อนแก่ของเหลว ประกอบด้วยแผ่นดูดแสงอาจทำจากท่อทองแดงที่มีครีบทองแดง อะลูมิเนียมที่เคลือบผิวเลือกรังสี พลาสติกสังเคราะห์พิเศษ ประกอบเข้ากับฝาปิดที่เป็นวัสดุพลาสติกใสหรือกระจก หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม อุปกรณ์รับแสงมักมีส่วนพิเศษขึ้น อาทิ ประเภทท่อสุญญากาศ คอมปาวด์พาราโบลิก เป็นต้น

2) การผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการความร้อน ซึ่งอาจจำแนกเป็นแบบกระจายตัวรับแสง เช่นแบบรางและพาราโบลิก วัสดุสะท้อนแสงอาจเป็นกระจก อะลูมิเนียม หรือโลหะไร้สนิม รวมถึงอีกประเภทหนึ่งคือแบบหอคอยกลาง มักใช้ฮีลิโอสแตทในการสะท้อนแสงมาเข้าเป้ารับแสง ซึ่งติดตั้งอยู่บนหอคอยสูง

3) สระแสงอาทิตย์ โดยสระหรือบ่อที่มีเกลือเข้มข้นอยู่ที่ก้นบ่อลึกประมาณ 1-2 เมตร ซึ่งรับและผลิตปรับอุณหภูมิน้ำเกลือบริเวณก้นบ่อได้มากกว่า 70 °C เกลือที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมไนเตรต เป็นต้น ทั้งนี้สระแสงอาทิตย์ที่ดีจะต้องมีความเข้มข้นสูงสุดที่ก้นบ่อ ตัวอย่างการใช้งานพบได้ในประเทศอิสราเอลด้วยการกั้นส่วนหนึ่งของทะเลเดดซี และนำความร้อนจากสระไปผลิตไอสารอินทรีย์สำหรับหมุนกังหันเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป

2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เป็นการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยผลิตจากแว่นผลึกเดี่ยวของซิลิคอน แว่นผลึกย่อย และแว่นผลึกรูปเหลี่ยม ซึ่งแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพและราคาแตกต่างกันไป ในปัจจุบันเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่เกี่ยวข้องโดยละเอียดต่อไป

2.2.3 พลังงานลม

เป็นการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลด้วยการใช้กังหันลมเป็นตัวเปลี่ยนพลังงาน และนำไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย อาทิ การสูบน้ำ การขับเครื่องมือทางกลในสมัยก่อน สำหรับปัจจุบันได้นำพลังงานลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกังหันลมมีทั้งแบบแกนนอนและแกนตั้ง โดยในประเทศไทยมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมด้วยกังหันลมแบบแกนนอนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพื้นที่ที่มีความเร็วลมเฉลี่ยในกรณีรวมช่วงเวลาลมสงบประมาณ 6-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีความเร็วลมเฉลี่ยกรณีไม่รวมช่วงเวลาลมสงบประมาณ 9-17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 พลังงานจากชีวมวล

เป็นพลังงานที่ได้มาจากพืชและสัตว์โดยกระบวนการเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานหลัก 2 ประการ ได้แก่ 1) Thermochemical Conversion เช่น การเผาไหม้โดยตรง, Pyrolysis, Gasification รวมถึง Producer Gas อีกประการหนึ่งคือ 2) Biochemical Conversion เช่น การย่อยสลายในที่ไม่มีอากาศเพื่อให้ได้แก๊สมีเทน (เกิดก๊าซชีวภาพ) เพื่อการหุ้งต้ม การผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ หรือที่คุ้นเคยกันดีในชื่อของน้ำมันแก๊สโซฮอล ซึ่งนับได้ว่าเป็นการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยทางอ้อม

2.2.5 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

เป็นเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าที่อาศัยกระบวนการทางเคมีระหว่างไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งจะให้พลังงานไฟฟ้าและความร้อน อาจจำแนกตามชนิดของสารพาประจุไฟฟ้า (Electrolyte) ได้เป็น 4 ประเภท คือ 1) เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริค (Phosphoric Acid Fuel Cell: PAFC) 2) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอมเหลว (Molten Carbonate Fuel Cell: MCFC) 3) เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC) และ 4) เซลล์เชื้อเพลิงแบบด่าง (Alkaline Fuel Cell: AFC)

2.2.6 พลังงานน้ำ

เป็นการนำพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของน้ำอยู่ในรูปของพลังงานกลและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่นการประยุกต์กับการสูบน้ำ การนำมาเป็นแหล่งต้นกำลังสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วยการใช้พลังงานศักย์จากน้ำไปขับเพลาที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยในประเทศไทยมีเขื่อนที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำตามเขื่อนขนาดใหญ่อยู่ทั่วทุกภูมิภาค อาทิ เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น

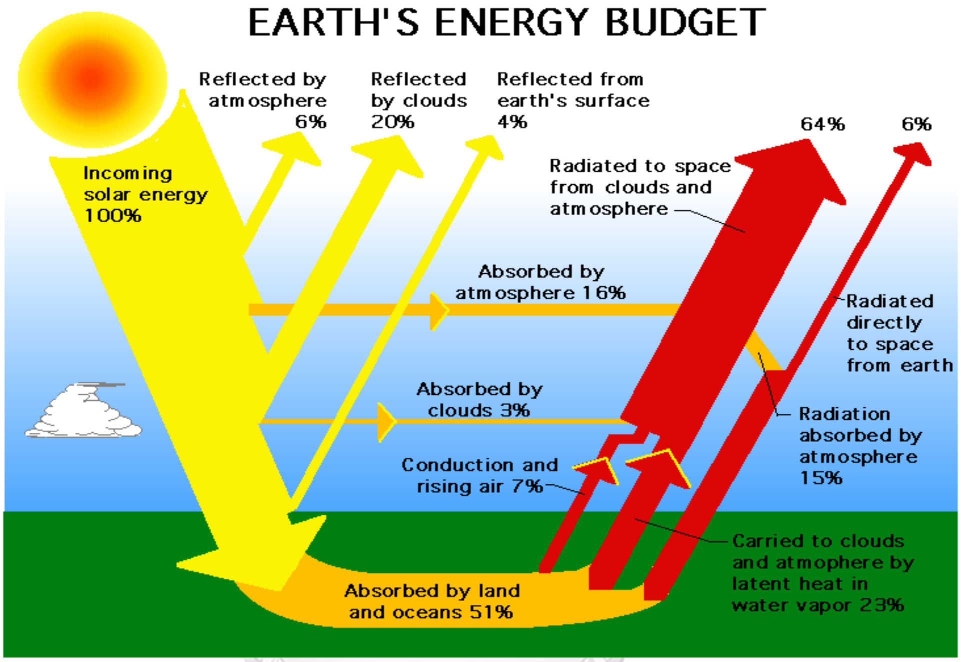
Chulalongkorn University

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์

จากดวงอาทิตย์ที่มีพลังงานส่งออกมามีพลังงานมหาศาล ประมาณ 174 พิตาวัตต์ (Petawatt) ถึงแม้พลังงานที่ปล่อยออกมาจะมีปริมาณมากเพียงใด โลกของเราได้รับพลังงานเหล่านี้เพียง 89 พิตาวัตต์ หรือประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (นภัทร วัจนเทพินทร์, 2553) เนื่องด้วยชั้นบรรยากาศของโลกเป็นส่วนสำคัญ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศจะมีการสะท้อนกลับไปบางส่วนถูกชั้นบรรยากาศและการดูดกลืนไปของก้อนเมฆ (Abd El-Basit, Abdel-Maksooud, Kamh, & Soliman, 2015)

สเปกตรัมของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่มาสู่โลกจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาทีในสุญญากาศ โดยรังสีดวงอาทิตย์ที่เรียกว่า Ultraviolet มีช่วงความยาวคลื่น 290 – 400 nm, รังสี Visible มีช่วงความยาวคลื่น 400 – 730

nm, และรังสี Infrared มีช่วงความยาวคลื่น 730 – 4,000 nm ซึ่งมีสัดส่วนพลังงาน 8%, 43% และ 48% ตามลำดับ (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) ทั้งนี้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ รังสีตรง (Direct radiation หรือ Beam radiation) ซึ่งมีค่าความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก การประยุกต์ใช้พลังงานของรังสีประเภทนี้ มักจะเหมาะกับอุปกรณ์ประเภทรวมแสงชนิดต่าง ๆ ที่ต้องการค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูง ๆ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การส่งผ่านและลดทอนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาสู่ผิวโลก
ที่มา: Abd El-Basit et al. (2015)

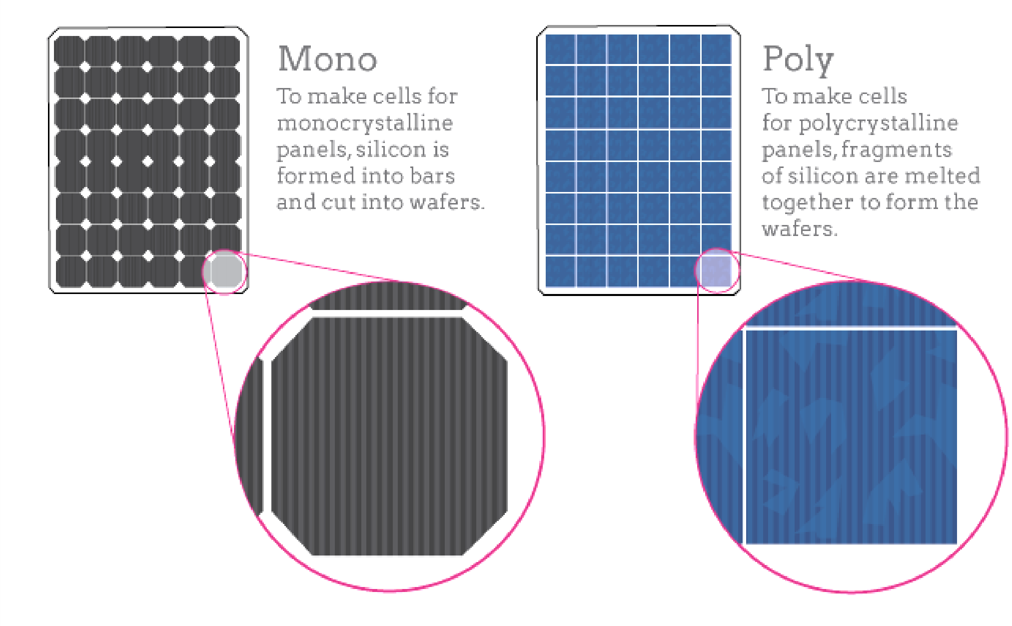
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนรังสีกระจาย (Diffuse radiation หรือ Scattered radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายตัวของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้นโลก การประยุกต์ใช้รังสีประเภทนี้เหมาะกับการใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเข้มแสงสูงมากนัก เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น จากรังสีทั้งสองส่วนข้างต้นมักจะมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศในแต่ละวันและเชิงพื้นที่ โดยผลรวมของรังสีทั้ง 2 ประเภท เรียกว่ารังสีรวม (Total radiation หรือ Global radiation) สำหรับค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากบนพื้นที่หนึ่งหน่วยนอกชั้นบรรยากาศของโลกเรียกว่า ค่าคงที่เฉลี่ยของแสงอาทิตย์ (บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

ปรากฏการณ์ Photovoltaic effect เป็นความสามารถของวัสดุประเภทเซมิคอนดักเตอร์ที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าตรง (DC) เมื่อได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ มี

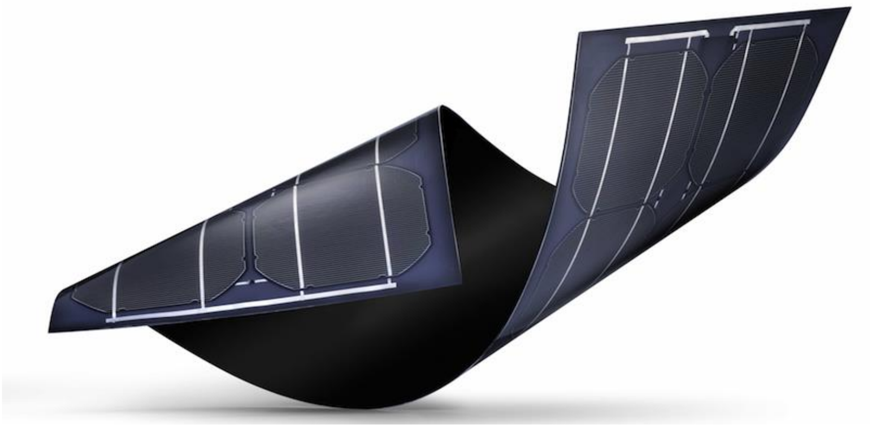
หลายประเภทและมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่ที่นิยมใช้งานในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ชนิด Crystalline silicon wafer มีค่า conversion efficiency ประมาณ 18-23% ผลิตจาก Silicon (Si). โดยผลึกซิลิคอนมีสองประเภท (c-Si) ได้แก่ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) และ โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ทั้งนี้ผลึกซิลิคอนชนิดโมโนคริสตัลไลน์จะมีต้นทุนในการผลิตที่สูงว่าแต่ข้อดีคือมีประสิทธิภาพมากที่สุดในแง่ของการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนชนิดโพลีคริสตัลไลน์มีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนน้อยกว่าจึงมีต้นทุนที่ต่ำ แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์ประมาณ 5%

ส่วนชนิด Thin film silicon มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 12% หรือเรียกว่าเป็นชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon) เรียกย่อว่า a-Si ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะต่ำกว่าแบบ Crystalline แต่มีข้อดีที่เห็นประโยชน์ได้ชัดเจนคือสามารถประยุกต์ใช้งานกับโครงการที่มีข้อจำกัดด้านน้ำหนักของแผงโซล่าเซลล์ หรืองานที่พื้นผิวติดตั้งมีลักษณะโค้ง นอกจากนี้ยังมีชนิด Thin film non-silicon เช่น Copper-Indium Gallium Selenide (CIGS) มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 20% และ Cadmium Telluride (CdTe) มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 16% แต่มีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนมากกว่าชนิด CIGS (Ferry & Monoian, 2012) ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทกลุ่มผลิกซิลิคอน (Crystalline silicon)

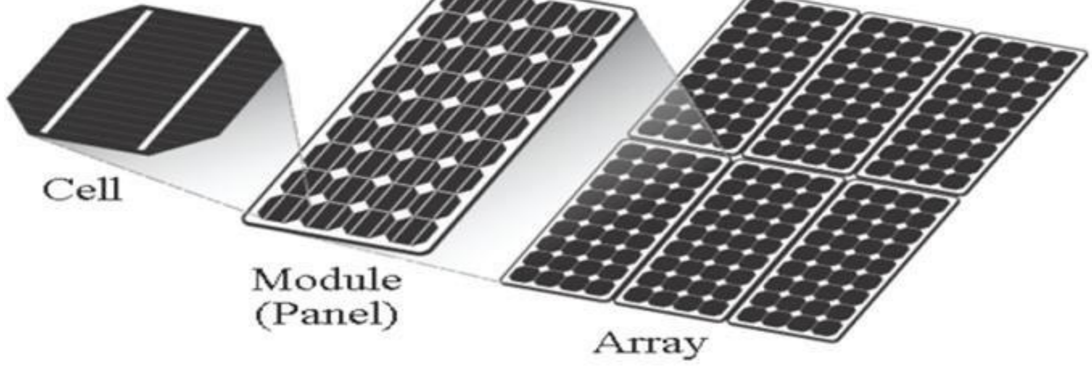
ที่มา: CIVICSOLAR (2019)



ภาพที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทกลุ่มฟิล์มบาง (Thin film cells)
ที่มา: Tech Dose Daily (2019)

นอกจากสองเทคโนโลยีหลักข้างต้น ยังมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ์ (Hybrid cell: HIT) โดยเป็นชนิดที่ใช้เทคโนโลยีของทั้งแบบผลึกและแบบฟิล์มบางมาผสมผสานกัน เพื่อผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้ผลึกซิลิคอนนำมาตัดเป็นแผ่นบาง ๆ เหมือนชนิดผลึกเดียว และสร้างชั้นฟิลม์บางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนเคลือบทั้งด้านบนและล่างของแผ่นผลึก ทำให้ได้เซลล์ชนิดผสมผสานขึ้นมาแต่ย่อมแลกมาด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งเซลล์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพประมาณ 22%

โซล่าเซลล์สำหรับติดตั้งบนหลังคา หรือตามพื้นที่ต่าง ๆ มักจะประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุด เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากหน่วยย่อยที่สุดคือ เซลล์ (Cells) โมดูล (Modules) และอาเรย์ (Arrays) ตามลำดับ (El-Shimy et al., 2018) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 องค์ประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา: El-Shimy et al. (2018)

2.4 แนวคิดการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา

การศึกษาในเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ด้วยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth interview) เพื่อทราบปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบ สำหรับการประกอบเข้าเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงแนวคิดที่มีประโยชน์ในการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

2.4.1 เกณฑ์การออกแบบของระบบโซล่าเซลล์ (ขั้นตอนการออกแบบ)

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องอาศัยความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าเป็นหลักในการออกแบบ มาตรฐานทางการติดตั้งทางไฟฟ้า มาตรฐานการทดสอบ และมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่นำมาประกอบเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าตามที่หน่วยงานรับผิดชอบกำหนดไว้ (EIT, 2019)

นอกจากอุปกรณ์หลักคือ Photovoltaic Module ในระบบยังต้องมี Power Conditioning Unit (PCU) ได้แก่ DC interface, charge controller, inverter, protection circuit, and AC interface โดยระบบอาจจำแนกเป็น Stand-alone solar PV system without storage, stand-alone PV system with storage, solar PV-hybrid system, and grid-Interactive solar PV system (Kaushika, Mishra, & Rai, 2018)

ขั้นตอนการออกแบบเริ่มจากการศึกษารวบรวม 1) ข้อมูลการใช้พลังงานของลูกค้า ว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาแต่ละวันอย่างไร (load profile) และ Enery demand (kW_{peak} and kWh/day) 2) พิจารณาคุณลักษณะหลังคาที่ต้องการติดตั้ง ได้แก่ ขนาดพื้นที่ ทิศทาง มุมเอียง 3) ความเข้มแสงดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบริเวณติดตั้ง ได้แก่ Direct normal irradiation (DNI) Diffuse horizontal irradiation (DIF) and Global horizontal irradiation (GHI) และ 4) ข้อมูลอื่น ๆ เช่น ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นต้น

เมื่อได้ข้อมูลตามปัจจัยข้างต้น ผู้ออกแบบจะคำนวณในเบื้องต้นเพื่อหาขนาดติดตั้งของ Photovoltaic system ให้มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งานและตามเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ จากนั้นทำการคำนวณเป็นรายอุปกรณ์เพื่อหาขนาดพิกัด จำนวนของอุปกรณ์ในแต่ละประเภท จากนั้นทำการพิจารณาคุณสมบัติทางเทคนิคของอุปกรณ์และความเข้ากันได้ของอุปกรณ์แต่ละประเภทเมื่อนำมาประกอบกันเข้าเป็น Photovoltaic system (Boonyang Plangklang, 2010) สุดท้ายจะประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และจัดทำเป็นข้อเสนอโครงการ (Lasnier, 2017)

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพโซล่าเซลล์ (ขั้นตอนการผลิตพลังงาน)

จากการคำนวณเพื่อออกแบบระบบพบว่าจะคำนึงถึงข้อมูลหรือปัจจัยข้างต้นมาเป็นส่วนสำคัญ แต่หากกระบวนการออกแบบได้นำปัจจัยบางประการที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายหลังจากการติดตั้ง ก็ย่อมทำให้สามารถปรับปรุงความแม่นยำของผลลัพธ์การออกแบบและประเมิน Photovoltaic system ในขั้นตอนการออกแบบให้ดียิ่งขึ้น

Dewi, Risma, and Oktarina (2019) ได้ศึกษา Factors Affecting the Efficiency and Output of a PV System Applied in Tropical Climate พบว่าปัจจัยสำคัญที่มักเกิดขึ้นในเขตนี้ได้แก่ high temperature and humidity, dust accumulation, and sea salt effect ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยให้คำแนะนำในการเผชิญหน้ากับข้อเสียจากปัจจัยดังกล่าวเมื่อติดตั้งระบบ PV system ในภูมิอากาศเขตร้อน และควรนำปัจจัยข้างต้นประกอบการคำนวณออกแบบติดตั้งในพื้นที่ Tropical climate สอดคล้องกับ Meral and Dinçer (2011) พบว่ามีปัจจัยแวดล้อมหลายสิ่งที่ส่งผล เช่น irradiance, temperature, and dirt/dust มีผลต่อ output ของ PV system โดยเฉพาะอย่างยิ่ง dirt/dust ที่ถูกสะสมบน PV module surface ซึ่งจะบดบังรังสีแสงอาทิตย์และส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง

King, Boyson, and Kratochvil (2002) กล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ PV systems ซึ่งโมเดลการศึกษานี้มุ่งเน้นการผสมผสานระหว่างประสิทธิภาพที่แปรเปลี่ยนไปจากสภาพแวดล้อม และความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบเข้ากันเป็น PV system ผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อ dc-Energy production พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญอย่างมากได้แก่ cumulative solar irradiance, module power rating at the standard reporting condition, operating temperature, maximum-power-voltage, soiling, variation in solar spectrum, and optical losses จากปัจจัยทั้ง 7 ข้างต้นควรนำมาพิจารณาในขั้นตอนการออกแบบระบบ

นอกจากนี้บทความของ Fouad, Shihata, and Morgan (2017) ที่ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อ performance ของ photovoltaic panels ทั้งจากขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบและขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้า บทความนี้ได้ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง โดยพบว่ากว่า 30 ปัจจัย ที่มีความเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งปัจจัยลำดับต้น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม ได้แก่ solar irradiance/radiation, module temperature, dust accumulation, shading เป็นต้น

ผลกระทบของคุณภาพอากาศต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี Choi, Lee, Kim, and Wee (2019) แสดงให้เห็นว่าการแพร่กระจายของฝุ่นสีเหลืองในเอเชียและในพื้นที่

ทะเลทรายของมองโกเลีย ตลอดจนทางตอนเหนือของจีนมีผลกระทบต่อแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลไปยังประเทศเกาหลี ผู้วิจัยสรุปสาเหตุนี้ว่าเกิดจากปรากฏการณ์สภาพอากาศ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงในชั้นบรรยากาศ ซึ่งนำมาซึ่งการทดทอนค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลก สอดคล้องกับ Doğan et al. (2020) ได้ทำการศึกษาและสรุปผลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าลดลง รวมถึงงานวิจัยของ Wang, Meng, and Chen (2020) ที่แสดงถึงสภาวะอากาศที่มีความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองในระดับมากจะก่อให้เกิดฝุ่นละอองสะสมอยู่บนพื้นผิวด้านหน้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง นอกจากนี้การศึกษาของ Zhang, Yi, Zhao, and Gu (2020) พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง อันมีผลมาจากปัญหามลพิษด้านอากาศที่พบว่ามีฝุ่นละอองขนาดเล็กแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างซึ่งมักพบในเมืองใหญ่ รวมถึงผลงานของนักวิชาการอีกหลายท่านที่รายงานในบทความดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าฝุ่นละอองในอากาศจะส่งผลกระทบต่อปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Khazaal, Kadhim, Farhan, Baqer, & Salih, 2020; Liyuan et al., 2019)

2.4.3 ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบที่เหมาะสมของระบบโซล่าเซลล์

การออกแบบ PV system ที่เหมาะสมจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ทั้งจากสภาพแวดล้อมบริเวณที่ติดตั้ง จากอุปกรณ์ของระบบที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน เช่น PV module, Inverters, Charger เป็นต้น ซึ่งประสิทธิภาพในรายอุปกรณ์จะมีผลต่อประสิทธิภาพรวมของทั้งระบบ โดย PV system ที่มีประสิทธิภาพสูงจะเกิดจากความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ตามขนาดพิกัด จำนวน คุณสมบัติทางไฟฟ้า ที่เหมาะสม เป็นต้น (Kerekes, Koutroulis, Séra, Teodorescu, & Katsanevakis, 2012; Koutroulis & Blaabjerg, 2012; Sulaiman, Rahman, Musirin, Shaari, & Sopian, 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าถึงแม้จะมีการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบเป็นอย่างดีแล้ว แต่หลังจากที่ได้ติดตั้งระบบไปแล้วนั้นยังอาจพบความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะการผลิตกำลังไฟฟ้าในทางทฤษฎีและปฏิบัติ (Ghiani, Pilo, & Cossu, 2013)

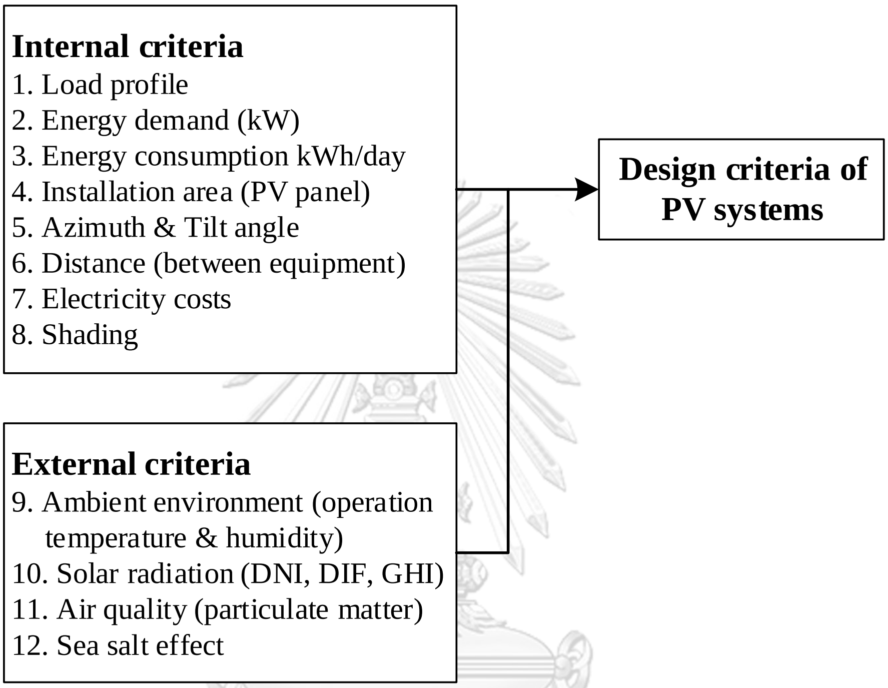
จากการศึกษาปัจจัยสำคัญ ที่ผู้ออกแบบมักนำข้อมูลมาคำนวณในสูตรการออกแบบ PV system และข้อค้นพบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อได้ติดตั้งระบบไปแล้วในข้างต้น ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Design criteria and factors influencing of PV system

Item	Criteria (design stage)	Factors influence (operation stage)
<u>Internal criteria</u>		
1. Load profile (Ghiani et al., 2013; Kerekes et al., 2012; Lasnier, 2017)	/	/
2. Energy demand (kW) (Boonyang Plangklang, 2010; Ghiani et al., 2013; Lasnier, 2017)	/	/
3. Energy consumption kWh/day (Ghiani et al., 2013; Kerekes et al., 2012; Lasnier, 2017)	/	/
4. Installation area (PV panel) (EIT, 2019; Lasnier, 2017)	/	
5. Azimuth & Tilt angle (Fouad et al., 2017; Kaushika et al., 2018)	/	
6. Distance (Between equipment) (EIT, 2013, 2019)	/	
7. Electricity costs (Boonyang Plangklang, 2010; Kerekes et al., 2012; Lasnier, 2017)	/	
8. Shading (Fouad et al., 2017; Lasnier, 2017)		/
<u>External criteria</u>		
9. Ambient environment (Operation temperature & humidity) (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017; King et al., 2002; Meral & Dinçer, 2011)		/
10. Solar radiation (DNI, DIF, GHI) (Boonyang Plangklang, 2010; Fouad et al., 2017; King et al., 2002; Meral & Dinçer, 2011)		/
11. Air quality (particulate matter) (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017; Meral & Dinçer, 2011)	/	/
12. Sea salt effect (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017)		/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตัวแปรสำคัญในการออกแบบและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากตารางข้างต้น ผู้วิจัยจึงออกแบบการวิจัยในเชิงคุณภาพ เพื่อศึกษาในเชิงลึกจากผู้ออกแบบผู้เชี่ยวชาญ ด้าน PV system ว่าหากต้องการปรับปรุงกระบวนการออกแบบระบบที่เหมาะสมกับประเทศไทย จะต้องคำนึงถึงปัจจัยใดบ้างในขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง โดยการวิจัยนี้มี conceptual framework ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 Conceptual framework

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 เทคโนโลยีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic system) หรือที่เรียกว่า PV System สามารถเชื่อมต่อกันเพื่อขยายขนาดพลังงานที่ต้องการได้ในเล็กน้อยระดับวัตต์ (W) จนต่อเป็นระบบขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตถึงระดับเมกะวัตต์ (MW) นอกจากอุปกรณ์หลักในการแปลงพลังงานจากดวงอาทิตย์สู่พลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาในตอนต้นแล้วนั้น ระบบ PV ยังจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ส่วนควบเพื่อให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับจ่ายให้กับโหลดทางไฟฟ้าที่ต้องการได้ อาทิ ประเภทของแรงดัน (AC/DC) ขนาดแรงดัน (Voltage) กระแส (Amp) และความถี่ (Hz) เป็นต้น

บุญยัง ปลั่งกลาง (2553) กล่าวถึงระบบไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์อาจจำแนกประเภทได้ตามลักษณะที่ใช้งานและอุปกรณ์ประกอบระบบ อาทิ ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ใช้แบตเตอรี่ และระบบที่มีแบตเตอรี่ในการสำรองพลังงาน ซึ่งการเลือกใช้งานแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับ

วัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่าง ๆ รวมถึงมูลค่าของระบบที่เพิ่มสูงขึ้นด้วยหากมีอุปกรณ์ส่วนควบที่มากขึ้น

2.5.1 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีแบตเตอรี่เก็บพลังงาน

เป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและนำพลังงานดังกล่าวไปใช้งานยังโหลดทางไฟฟ้าโดยไม่มีการกักเก็บพลังงานสำรองไว้ยามที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ดังนี้

1) ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรง (Direct coupling)

2) ระบบที่ใช้ร่วมกับคอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม (Converter DC/DC)

3) ระบบที่ใช้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter DC/AC)

4) ระบบที่ต่อเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้า (On Grid)

2.5.2 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แบตเตอรี่เก็บพลังงาน

เป็นระบบที่เหมาะสมกับการใช้พลังงานที่ไม่ตรงกับช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงดังกล่าวจะถูกสะสมในแบตเตอรี่และจะนำกลับมาใช้ได้ในช่วงเวลากลางคืน ระบบดังกล่าวจำแนกได้ ดังนี้

1) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ DC-Coupled

2) รบบผสมผสานแบบ DC-Bus (DC Bus PV Hybrid system)

3) ระบบที่มีโหลดทั้ง DC และ AC

4) ระบบผสมผสาน AC-DC Bus PV Hybrid system

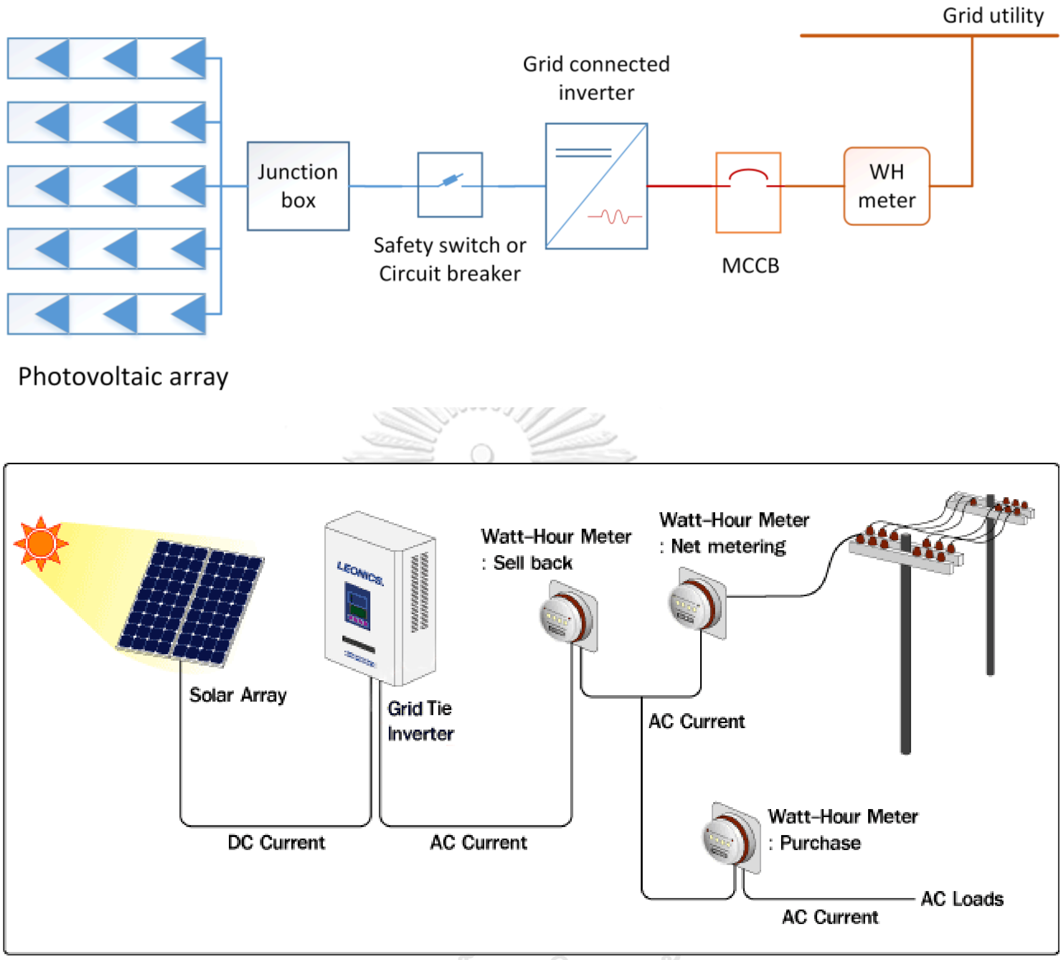
5) ระบบ DC-Bus system

6) ระบบ AC-Bus PV Hybrid system

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kaushika et al. (2018) ได้สรุปรูปแบบของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยจำแนกประเภทได้เป็น 1) Grid-tied, 2) Off-grid, and 3) Hybrid solar photovoltaic system โดยที่ Grid-tied system จะเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และนำพลังงานที่ได้ไปใช้งานร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากผู้จำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งจะมีข้อดีที่ผู้ใช้งานสามารถใช้พลังงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวัน หรือช่วงระหว่างวันที่แสงอาทิตย์มีปริมาณน้อย ส่วน Off-grid system จะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ทั้งในรูปแบบการใช้พลังงานโดยตรงในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์และถูกเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่สำหรับใช้งานในช่วงกลางคืน ในระบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ห่างไกลที่สายส่งไฟฟ้ายังเข้าไปไม่ถึง และสุดท้ายคือ Hybrid system จะเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งใช้แหล่งกำเนิดพลังงาน 2 แหล่งขึ้นไปร่วมกัน อาทิ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ร่วมกับพลังงานลม พลังงานน้ำ จากการผสมผสานระหว่างแหล่งพลังงานจึงเป็นข้อดีที่สามารถนำพลังงาน

ทดแทนจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เพื่อบูรณาการสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามศักยภาพในเชิงพื้นที่ (Kaushika et al., 2018; Lasnier, 2017) ดังภาพที่ 8



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 8 ตัวอย่างไดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา: Glory Power Solutions (2019)

จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในข้างต้นซึ่งมีความหลากหลาย ด้วยเหตุนี้การออกแบบระบบจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยความต้องการของผู้ใช้งาน ประสิทธิภาพของระบบ ความปลอดภัยต่อการใช้งาน กฎหมายในแต่ละพื้นที่ รวมถึงมาตรฐานทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง การคำนวณขนาดของระบบโซล่าเซลล์มีตัวแปรที่สำคัญหลายประการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้ผู้ใช้งานของระบบสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการตามที่คาดหวังไว้ การออกแบบที่ดีจึงต้องพยายามคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบอย่างรอบด้าน เพื่อให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบดังกล่าวเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จมีความใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้และตรงตามความต้องการใช้งาน แนวคิดในการออกแบบที่เกี่ยวข้องมักคำนึงถึงศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

มายังโลกเฉลี่ยต่อวัน ความสูญเสียของอุปกรณ์ในระบบ และประสิทธิภาพของ inverter องค์ประกอบเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Kaltschmitt & Streicher, 2007)

องค์ประกอบอื่นที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง โดยมีประเด็นที่น่าสนใจ อาทิ ผลงานของ Dewi et al. (2019) เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและผลลัพธ์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าในเขต tropical climate พบประเด็นที่น่าสนใจประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละออง และ sea salt effect สอดคล้องกับงานวิจัยของ Meral and Dinçer (2011) พบว่ามีปัจจัยแวดล้อมหลายสิ่งที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงาน เช่น irradiance, temperature, and dust โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาฝุ่นควันที่ส่งผลต่อการสะสมความสกปรกบน PV module surface ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังพบว่าบางส่วนสอดคล้องกับ King et al. (2002) ผลการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ ได้แก่ cumulative solar irradiance, module power rating at STC, operating temperature, maximum-power-voltage, soiling, variation in solar spectrum, and optical losses นอกจากนี้ความพยายามในการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อ performance ของ photovoltaic panel ของ Fouad et al. (2017) ข้อค้นพบกว่า 30 ปัจจัย พบว่าในลำดับต้น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม ประกอบด้วย solar irradiance, module temperature, dust accumulation, and shading เป็นต้น

การรวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศของโลก CantyMedia (2020) ผู้วิจัยทำการนำข้อมูลด้านอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โดยนำเสนอข้อมูลจำแนกเป็นลักษณะภูมิอากาศแบบ Tropical climate ดังเช่นในประเทศไทย และลักษณะภูมิอากาศแบบ Non-tropical climate ดังแสดงในตารางด้านล่าง ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุด และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ทางอากาศ ของเดือนนมีนาคม 2563 ซึ่งเป็นเดือนที่ทำการทดลองของผู้วิจัยในครั้งนี้ จากข้อมูลพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์มีความชัดเจนมากในภูมิอากาศแบบ Non-tropical climate อย่างไรก็ตามค่าความชื้นเฉลี่ยในประเทศที่มีภูมิอากาศลักษณะแบบ Tropical climate มีความแปรเปลี่ยนระหว่างช่วง 70 ถึง 83% ตามตารางที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสถิติอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ จำแนกตามเขตภูมิอากาศ

Climate zone	City / country	Average temperature (°C)	Average hight temperature (°C)	Average low temperature (°C)	Average humidity (%RH)
Tropical climate	Bangkok, Thailand	29	33	25	70
	Kuala Lumpur, Malaysia	27	32	23	80
	Ho Chi Minh City, Vietnam	28	33	24	70
	Manila, Philippines	27	32	22	70
	Jakarta, Indonesia	27	30	23	83
Non-tropical climate	Tokyo, Japan	9.4	13.3	5.6	55
	Busan, South Korea	8.8	13	4.6	60
	London, England	6.9	10.9	2.8	80
	Brussels, Belgium	6.0	9.0	3.0	80
	Los Angeles, California, USA	15.6	20.4	10.6	72

Remark: Average data of March 2020 (CantyMedia, 2020)

จากความสำคัญในปัจจัยที่ส่งผลต่อพลังงานที่ผลิตได้จาก PV system โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรด้าน module temperature และความสกปรกของ PV module ที่เกิดจากคุณภาพของอากาศในบริเวณที่ติดตั้งระบบ ทั้งนี้ประเทศในแถบเอเชียแปซิฟิกซึ่งใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะมีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนชื้น นอกจากนี้บางประเทศยังประสบปัญหาด้านคุณภาพอากาศอันเป็นสาเหตุหลักของฝุ่นละอองบน PV module ด้วยเหตุนี้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงอาจมีปริมาณที่น้อยกว่าผลจากการคำนวณในขั้นตอนการออกแบบและประเมินระบบในตอนต้น จากเหตุผลในข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจการพัฒนาสมการสำหรับการออกแบบระบบผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ ที่มีการคำนึงถึงปัจจัยสภาพแวดล้อมอันมีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าหลังจากได้ดำเนินการติดตั้งไปแล้ว ทั้งนี้จะได้สมการสำหรับการออกแบบ PV system ที่มีความเหมาะสมกับประเทศในภูมิภาคนี้

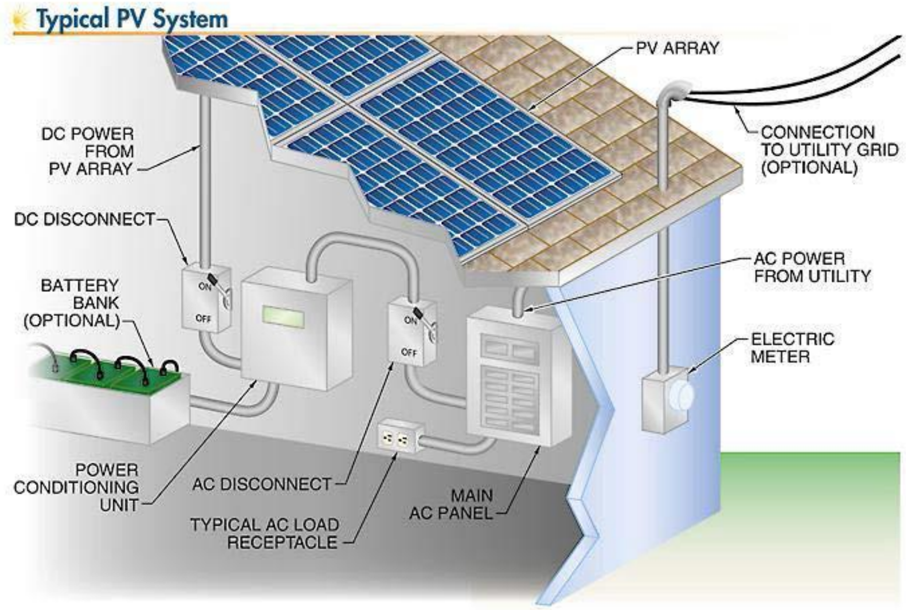
2.6 มาตรฐานการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการลงทุนค่อนข้างสูง รวมถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัย ด้วยเหตุนี้การออกแบบและติดตั้งระบบฯ ให้เป็นไปตามมาตรฐานหลักวิศวกรรม แนวคิดการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ประกอบด้วยระบบด้านกระแสตรงซึ่งเป็นฝั่งที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า และระบบกระแสสลับซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าในกรณีที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า หรือเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (EIT, 2019)

มาตรฐานหลักของประเทศไทยที่เกี่ยวข้องโดยตรงคือ “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย: ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา” หรือเรียกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรฐาน วสท. 022013-59 ซึ่งใช้ชื่อภาษาอังกฤษว่า “Thailand Electrical Installation Standard: Solar Rooftop Power Supply Installations” หรือเรียกว่า EIT Standard 022013-16 อุปกรณ์ประกอบในระบบที่เชื่อมต่อกันแสดงได้อย่างง่ายดังภาพที่ 9 โดยมาตรฐานหลักฉบับนี้อ้างอิงมาตรฐานทั้งในประเทศและต่างประเทศ จำแนกกลุ่มได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 9 การติดตั้งระบบผลิตระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา: DiFrangia (2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6.1 มาตรฐานของประเทศไทย

1) วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) EIT2001 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) (Thai Industrial Standard: TISI)

- มอก. 513 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า (รหัส IP)

- มอก. 1843 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสงภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน - คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ

- มอก. 2210 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสงภาคพื้นดินแบบฟิล์มบาง – คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ

- มอก. 2580 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคุณสมบัติด้านความปลอดภัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เล่ม 1 ข้อกำหนดสำหรับการสร้าง และ เล่ม 2 ข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ

2.6.2 มาตรฐานของต่างประเทศ

1) Australia and New Zealand Standard: AS/NZS 5033 Installation and safety requirements for photovoltaic (PV) arrays

2) International Electrotechnical Commission: (IEC)

- IEC 60269-6 Low-voltage fuses [Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems

- IEC 60332-1-3 Tests on electric and optical fibre cable under fire conditions [Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire of cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles

- IEC 60947 Low – Voltage Switchgear and Control gear [Part 1: General rules, Part 2: Circuit-breakers, Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse combination units]

- IEC 61215 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) Modules – Design qualification and type approval

- IEC 611646 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) Modules – Design qualification and type approval

- IEC 62109 Safety of power converters for use in photovoltaic power system [Part 1: General requirements, Part 2: Particular requirements for Invertors]

-IEC 62548 Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements

-IEC 62446 Grid connected photovoltaic system – Minimum requirements for sys documentation, commissioning tests and inspection

- IEC 62852 Connectors for DC-application in photovoltaic system – Safety requirements and tests

3) Institution of Engineering and Technology (IET): Code of Practice for Grid Connected Solar Photovoltaic Systems

4) National Electrical Code: NEC 690 Solar Photovoltaic (PV) Systems

2.6.3 มาตรฐานที่นำมาใช้ในซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้ง

มาตรฐานทั้งสถาบันในประเทศและต่างประเทศข้างต้น จะต้องนำมาใช้ในการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับประสบการณ์ของวิศวกรผู้ออกแบบในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์หลัก และอุปกรณ์ส่วนควบต่าง ๆ ที่มีเทคโนโลยีเหมาะสม พิจารณาถึงความเข้ากัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ได้ของอุปกรณ์แต่ละชนิด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ในซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดำเนินการพัฒนาขึ้นจะนำมาตรฐาน “Thailand Electrical Installation Standard: Solar Rooftop Power Supply Installations” หรือเรียกว่า EIT Standard 022013-16 ซึ่งมาตรฐานนี้ได้อ้างอิงตามมาตรฐานในหัวข้อที่ 2.6.1 และ 2.6.2 โดยปรับข้อกำหนดให้มีเหมาะสมกับพิกัด แรงดัน รวมถึงคุณลักษณะสำคัญทางไฟฟ้าอื่นที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

นอกจากนี้ยังได้นำมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์ตาม IEC 61215 IEC 61416 IEC 62804 และ IEC 61730-2 มาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกแผงโซล่าเซลล์ที่ได้มาตรฐาน และนำมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ตาม IEC 62920 IEC 62109 และ IEC 61683 มาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ได้มาตรฐาน โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทั้งแผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ที่ผ่านมาตรฐานจะถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นและจะนำมาใช้ประโยชน์ในขั้นตอนการประมวลผลการประเมินต่อไป

2.7 แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจในลงทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ด้วยการวิเคราะห์ดัชนีสำหรับการตัดสินใจต่าง ๆ อาทิ การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth analysis) การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual worth analysis) การวิเคราะห์ผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit/cost analysis) และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate of return analysis) เป็นต้น (เยาวเรศ ทับพันธุ์, 2551; บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, 2555)

โดยทั่วไปการคำนวณพื้นฐานเกี่ยวกับการไหลเวียนของเงินในโครงการ (Cash flow) มักใช้ 2 แนวทาง ได้แก่ วิธี Static และวิธี Dynamic โดยวิธีแบบหลังจะสามารถเห็นการไหลเวียนเงินสดที่เกิดขึ้นผ่านปัจจัยต่าง ๆ ได้ดีมากกว่าแบบ Static ทั้งนี้การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสายส่งของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า (PV Grid Connected System: PVGCS) จะพิจารณาราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การทำนายปริมาณพลังงาน (kWh) ที่ระบบผลิตได้ต่อปี (E_{tot}) และการหาค่าสมมูลรายปีของระบบ PVGCS ตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

ส่วนการประมาณราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ จะพิจารณาจากราคาการลงทุนในด้านต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย 1) เงินลงทุนเริ่มแรก ได้แก่ มูลค่าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง อุปกรณ์ป้องกันความ

เสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบ อุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ อุปกรณ์ส่วนควบอื่น ๆ รวมถึงค่าแรงในการติดตั้งและทดสอบระบบ และ 2) เงินลงทุนประจำปี ได้แก่ ค่าซ่อมบำรุง และค่าไหล่ เป็นต้น

การคำนวณหาราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบจะต้องใช้ข้อมูลต่าง ๆ ประกอบด้วย ราคาเริ่มต้นของการติดตั้งระบบ (Capital cost: C_c) ค่าเดินระบบและซ่อมบำรุงประจำปี (Operation & Maintenance cost: C_{om}) ต้นทุนทดแทนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array replacement cost: C_{rm}) ต้นทุนทดแทนของระบบย่อย (Subsystem replacement cost: C_{rs}) อายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array life time: Y_{pv}) อายุการใช้งานของระบบย่อย (Subsystem replacement cost: Y_s) และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ตลอดทั้งปี (PV system energy output: E_y) ซึ่งข้อมูลข้างต้นล้วนสำคัญต่อการประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

จากบทความของ ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา (2553) เรื่อง กลยุทธ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ 'นวัตกรรมแห่งคุณค่า' กล่าวถึง การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการใหม่นับเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการที่จะนำคุณค่าใหม่ส่งผ่านไปยังลูกค้าหรือผู้รับบริการ เพื่อตอบสนองความต้องการที่ยังไม่ได้รับการตอบสนอง (Unmet need) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (NPD) เป็นกิจกรรมซึ่งมีจุดเริ่มต้นที่การทำความเข้าใจโอกาสทางการตลาดและสิ้นสุดลงที่การผลิต การจำหน่าย หรือการกระจายผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาด โดยกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่อาจจำแนกได้เป็น 2 ระยะ คือ 1) ระยะการวางแผนผลิตภัณฑ์ และ 2) ระยะดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2553)

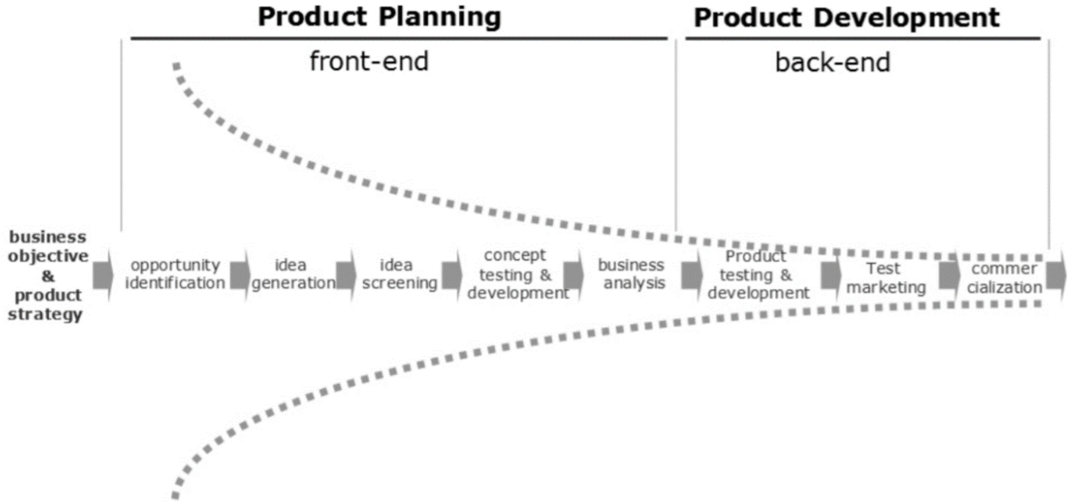
2.8.1 ระยะที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning)

เป็นช่วงการดำเนินงานก่อนที่โครงการจะได้รับการอนุมัติให้สามารถดำเนินการได้ ซึ่งนับว่าเป็นช่วงต้น (Front-end) ของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การสำรวจโอกาสสร้างนวัตกรรม (Opportunity identification) 2) การสังเคราะห์ความคิดนวัตกรรม (Idea generation) 3) การคัดสรรความคิด (Idea screening) 4) การพัฒนาและทดสอบแนวคิด (Concept testing & development) และ 5) การวิเคราะห์ทางธุรกิจ (Business analysis) เมื่อดำเนินการครบทุกขั้นตอนจะได้ผลลัพธ์ของการวางแผนผลิตภัณฑ์คือคำอธิบายพันธกิจ (Project's mission statement) และแผนผลิตภัณฑ์ (Product plan) สำหรับนำมาเป็นแนวทางเพื่อการดำเนินงานในระยะต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8.2 ระยะที่ 2 ระยะดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product development)

เป็นการรับช่วงต่อจากระยะแรกเมื่อได้รับการอนุมัติจนกระทั้งกระจายสินค้าออกสู่ตลาด ซึ่งเป็นช่วงท้าย (Back-end) ในระยะนี้เป็นการผลักดันผลิตภัณฑ์ใหม่ดังกล่าว ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรม โดยมีขั้นตอนต่อเนื่อง คือ ขั้นตอนที่ 6 การพัฒนาและทดสอบผลิตภัณฑ์ (Product testing & development) ขั้นตอนที่ 7 การทดสอบการตลาด (Test marketing) และขั้นตอนที่ 8 การสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ (Commercialization) ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงระยะและขั้นตอนการทำงานในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่
ที่มา: ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา (2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่อาจจำแนกประเภทของงานตามระดับนวัตกรรม โดย ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา (2553) ได้กล่าวถึง “การวางแผนผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแห่งคุณค่า” หรือเรียกว่า “Value Innovation Product Planning: VIPP” ถูกพัฒนาโดยผสมผสานข้อดีของเกณฑ์การจำแนกและการวางกลยุทธ์การทำงานลักษณะต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน ด้วยเหตุที่ผ่านมาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่มักจะล้มเหลวซึ่งเกิดจากข้อผิดพลาดในการศึกษาและนำข้อมูลของกลุ่มเป้าหมายมาใช้ (Cooper, 2001) การนำหลักการตามแนวคิด VIPP มาประยุกต์ใช้งานจะช่วยให้องค์กรสามารถสร้างนวัตกรรมแห่งคุณค่า และเลือกวิธีการศึกษาวิจัยรวมถึงพิจารณาข้อมูลที่จำเป็นจากกลุ่มเป้าหมายได้อย่างถูกต้องเหมาะสม สำหรับการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การจำแนกโครงการตามหลัก VIPP มี 4 ประเภท ได้แก่ 1) การพัฒนารูปลักษณ์และสัมผัสใหม่ (New look & feel) 2) การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาใหม่ (New solution) 3) การพัฒนาการใช้งานใหม่ (New usage) และ 4) การพัฒนาคุณค่าผลิตภัณฑ์ใหม่ (New value)

โดยงานวิจัยนี้จัดเป็นลักษณะของ *“การพัฒนาการใช้งานใหม่”* (New usage) เนื่องจากเป็นการพัฒนากระบวนการใช้งานใหม่ของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ช่วยในการประเมินศักยภาพของระบบโซล่าเซลล์ที่มีความแตกต่างออกไปจากเดิม เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายและสามารถสนองตอบความต้องการที่ยังไม่ได้รับการตอบสนอง (Unmet needs) ของผู้ใช้งานได้ ดังเช่นการนำดัชนีสภาพแวดล้อมในเชิงพื้นที่มาเข้าสมการคำนวณ อาทิ ดัชนีรังสีแสงอาทิตย์ ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ รวมถึงโซลูชั่นในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับขนาดของระบบและคำนวณการตัดสินใจด้านการเงินและสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยกำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จำนวน 5 ขั้นตอนดังนี้

1) การสำรวจโอกาสในการสร้างนวัตกรรม (Opportunity identification) ต้องพิจารณาแนวโน้มความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคู่แข่งขันในตลาดโดยเฉพาะอรรถประโยชน์ที่โดดเด่นของผลิตภัณฑ์คู่แข่ง และผลิตภัณฑ์ที่เป็นทางเลือกในตลาด

2) การสังเคราะห์ความคิดนวัตกรรม (Idea generation) มีลำดับที่ต้องพิจารณาตามขั้นตอน (1) การตั้งเป้าหมายและขอบเขตการทำงาน (2) การสังเคราะห์ความคิดแบบอเนกนัย (Divergence) และ (3) การสังเคราะห์ความคิดแบบเอกนัย (Convergence)

3) การคัดสรรความคิดนวัตกรรม (Idea screening) ด้วยการใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกความคิด 3 ด้านหลัก (1) ลำดับความสำคัญของโครงการตามกลยุทธ์องค์กร (Project priorities) (2) คุณประโยชน์สำหรับผู้ใช้ (Customer benefits) และ (3) ความเหมาะสมกับสภาวะทางธุรกิจ และเทคโนโลยี (Business landscape & Technology platforms) ทั้งนี้งานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการพัฒนาการใช้งานใหม่ควรมุ่งเน้นเกณฑ์คุณค่าสำหรับผู้ใช้งานมากที่สุด

4) การพัฒนาและทดสอบแนวคิด (Concept testing & Development) ควรมุ่งเน้นการทดสอบความพึงพอใจในคุณค่าหรือการรับรู้คุณค่าของผลิตภัณฑ์ใหม่ ด้วยการใช้ Semantic differential ในการประเมินคุณค่าร่วมกับการใช้สื่อที่ช่วยให้เข้าใจคุณค่าใหม่

5) การวิเคราะห์ทางธุรกิจ (Business analysis) เป็นการศึกษาความเป็นไปได้และประเมินศักยภาพของโครงการ โดยการคาดการณ์ยอดขาย ความคุ้มทุน และผลกำไรที่จะได้รับ เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ผลจากการวิเคราะห์ทางธุรกิจจะทำให้กำหนดราคาผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสมได้ การวิเคราะห์ทางธุรกิจประกอบด้วยการประมาณด้านต่าง ๆ อาทิ วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ความต้องการผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงของวงจรชีวิต ค่าใช้จ่ายในการพัฒนา การผลิตและการกระจายผลิตภัณฑ์สู่ตลาด รวมถึงการลงทุน ผลตอบแทนการลงทุน เป็นต้น

ผู้วิจัยทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ พบว่าการผลักดันผลิตภัณฑ์ใหม่ด้านเทคโนโลยี รวมถึงซอฟต์แวร์เข้าสู่ตลาดมักเกิดการแข่งขันอย่างรุนแรงและมีช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสั้น แนวคิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ที่ว่าจะทำอย่างไรให้ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่องค์กรได้พัฒนาขึ้น ได้ก้าวไปสู่เวทีการแข่งขันอย่างได้เปรียบ เหนือคู่แข่งขัน แนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product Development: NPD) จะช่วยส่งเสริมให้เกิดความแตกต่าง มีจุดเด่นที่เป็นที่จดจำ มีความแปลกใหม่ และสนองตอบต่อความต้องการของผู้ใช้งาน และกลายเป็นผลิตภัณฑ์อันเป็นที่รู้จักและยอมรับในกลุ่มผู้บริโภคได้ จากงานวิจัยของ วิจิตรา สารบุญเป็ง และอรพรรณ คงมาลัย (2016) ที่ได้รวบรวมแนวคิด ทฤษฎี ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ สรุปความได้ว่า กระบวนการประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ Opportunity identification, Development, Testing และ Launch และได้เปรียบเทียบถึงการพัฒนาโมบายแอพพลิเคชั่น เช่นกัน ว่าสามารถจำแนก ได้เป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) Concept Phase เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลต่าง ๆ มาวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า โดยถือว่าความต้องการและสิ่งที่ลูกค้าได้ถ่ายทอดมาเป็นปัจจัยสำคัญ จึงนับได้ว่าเป็นการมีส่วนร่วมของลูกค้าในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อกำหนดแนวทางในการพัฒนาแอพพลิเคชั่น จากความต้องการในฟังก์ชั่น ระบบการทำงาน หรือแม้กระทั่งส่วนเติมเต็มที่ยังขาดไปจากแอพพลิเคชั่นที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2) Development Phase เป็นขั้นตอนที่ต้องแปลงความต้องการของลูกค้าในข้างต้น มาออกแบบระบบ เพื่อรองรับความต้องการที่มีความหลากหลาย การออกแบบ User Interface ที่เหมาะสมและสอดคล้องต่อระดับผู้ใช้งาน รวมถึงดำเนินการร่วมกับทีมพัฒนาระบบ เพื่อออกแบบ Diagram ที่สำคัญต่อการพัฒนาระบบ

3) Testing Phase เป็นขั้นตอนการทดสอบระบบ ซึ่งจำแนกปลีกย่อยเป็น 2 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการตรวจสอบระบบและฟังก์ชั่นต่าง ๆ โดยผู้ทำสอบระบบจะตรวจสอบคุณภาพ ความถูกต้อง รวมถึงหาจุดบกพร่องของแอพพลิเคชั่นผ่านการทดสอบการใช้งานของระบบ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตรงกับความต้องการที่คาดหมายมากที่สุด และขั้นตอนถัดไปเป็นการตรวจสอบการใช้งานแอพพลิเคชั่นจากกลุ่มผู้ใช้งานอีกครั้ง

4) Product Launch เป็นขั้นตอนการนำแอพพลิเคชั่นเข้าสู่ตลาด เมื่อกลุ่มเป้าหมายได้นำมาใช้งาน และสะท้อนข้อบกพร่องกลับมาหรือผู้ดูแลระบบพบข้อผิดพลาดบางประการ จะต้องมีการปรับปรุงพัฒนาแอพพลิเคชั่นในส่วนของฟังก์ชั่นต่าง ๆ เพื่อเพิ่มลูกเล่นหรือคุณสมบัติที่เป็นความต้องการของลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขความผิดพลาดในเวอร์ชั่นก่อนหน้า

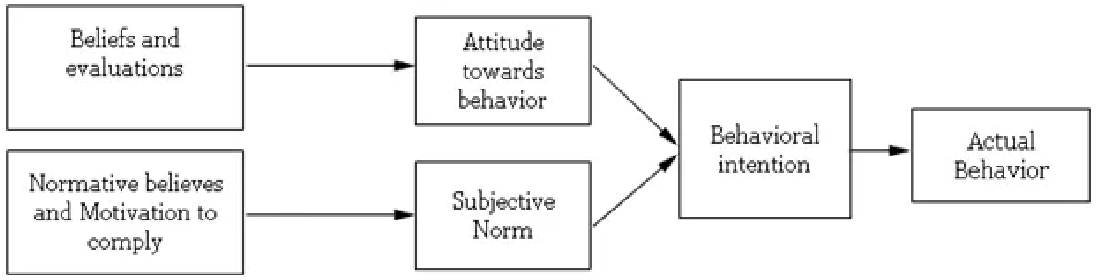
นอกจากขั้นตอนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมาในข้างต้นแล้ว จะเห็นได้ว่ากระบวนการที่นำความร่วมมือระหว่างผู้พัฒนาและผู้บริโภคมาร่วมกันคิดสร้างสรรค์เปรียบเสมือนการมีส่วนร่วมจากภายนอกองค์กร และการนำความคิดดังกล่าวมาเริ่มต้นออกแบบและพัฒนานับได้ว่าเป็นการมีส่วนร่วมของหน่วยงานต่าง ๆ ภายในองค์กร และที่ขาดไม่ได้เลยคือการย้อนกลับไปยังลูกค้าอีกครั้งว่า

ผลิตภัณฑ์ที่ได้สร้างสรรค์มาแล้วนั้นตรงกับความต้องการของลูกค้าหรือไม่ รวมถึงการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง (วิจิตรา สารบุญเป็ง และอรพรรณ คงมาลัย, 2016)

จะเห็นได้ว่าแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้นมีความสอดคล้องกัน โดยการวิจัยในครั้งนี้ได้นำแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ให้ความสำคัญกับผู้ใช้งานในกระบวนการมีส่วนร่วมในการออกแบบ พัฒนา และทดสอบ ตามแนวทางของ วิจิตรา สารบุญเป็ง และอรพรรณ คงมาลัย (2016) มากำหนดเป็นขั้นตอนในการศึกษาเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ในครั้งนี้

2.9 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับเทคโนโลยี

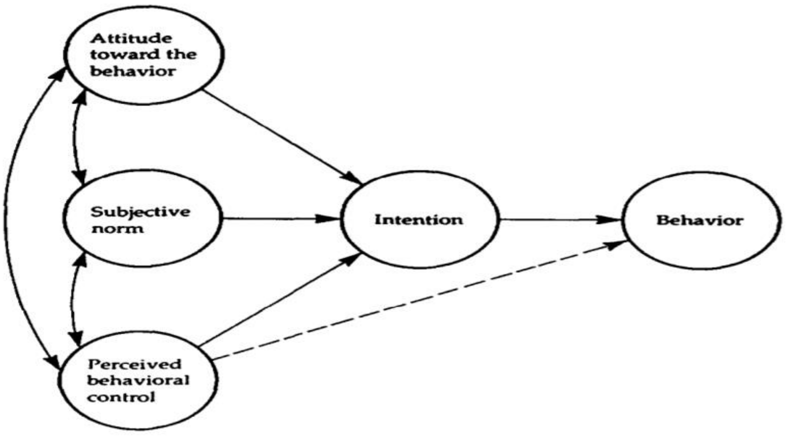
แนวคิดเกี่ยวกับการยอมรับในเทคโนโลยีใหม่มีการศึกษามาแต่เดิมและค่อยพัฒนามาจนสู่ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยีอันเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เริ่มจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความตั้งใจของบุคคลซึ่งมีที่มาจากรากฐานทางจิตวิทยามนุษย์ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับทัศนคติของบุคคลในการยอมรับสิ่งหนึ่งสิ่งใด ทฤษฎีที่ถูกกล่าวถึงเป็นอย่างมากได้แก่ ทฤษฎีการกระทำตามหลักเหตุผล (Theory of Reasoned Action: TRA) โดย Fishbein and Ajzen (1980) ที่กล่าวถึงการกระทำของมนุษย์เกิดจากการใช้เหตุและผล ในการตัดสินใจว่าจะกระทำหรือไม่กระทำในสิ่งใด ด้วยเหตุนี้หากต้องการทำนายพฤติกรรมของมนุษย์จึงต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของแต่ละปัจเจกบุคคล (Actual behavior) ที่ประกอบด้วยทัศนคติ (Attitude) และบรรทัดฐานทางสังคม (Subjective norm) ส่งผลผ่านความตั้งใจเชิงพฤติกรรม (Behavioral intention) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แบบจำลองการกระทำตามหลักเหตุผล (TRA)
ที่มา: Fishbein and Ajzen (1980)

แต่อย่างไรก็ตามทฤษฎี TRA อาจมีข้อจำกัดหากการแสดงพฤติกรรมของแต่ละบุคคลไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริงถ้าพฤติกรรมนั้นมีความซับซ้อนยุ่งยากเกินกว่าที่แต่ละบุคคลจะสามารถควบคุมได้ ด้วยเหตุนี้แนวคิดแบบเดิมจึงพัฒนาต่อมาเป็น ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned behavior: TPB) โดย Ajzen (1991) สิ่งที่พัฒนาขึ้นคือการเพิ่มปัจจัยการรับรู้ต่อการควบคุม

พฤติกรรมในตนเองในการแสดงพฤติกรรม ภาพรวมของทฤษฎี TPB เป็นการศึกษาพฤติกรรมของแต่ละบุคคลในการแสดงพฤติกรรมเมื่อได้รับแรงขับเคลื่อนจากความตั้งใจ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ ทัศนคติที่มีต่อพฤติกรรม (Attitude toward act or behavior) บรรทัดฐานของบุคคลที่อยู่โดยรอบ (Subjective norm) และการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรมตนเอง (Perceived behavior control) แสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แบบจำลองทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (TBP)
ที่มา: Ajzen (1991)

จากแผนภาพแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจได้รับอิทธิพลจากทัศนคติ บรรทัดฐานของสังคม และการรับรู้ถึงการควบคุมพฤติกรรมตนเอง โดยความตั้งใจดังกล่าวยังส่งผลต่อพฤติกรรมของแต่ละบุคคลในการตัดสินใจด้านต่าง ๆ อย่างไรก็ตามแนวคิดตามทฤษฎี TBP ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ยากต่อการอธิบายทัศนคติ พฤติกรรม ซึ่งนำมาสู่ความคลาดเคลื่อนในการตีความได้ เช่น พฤติกรรมหรือความตั้งใจในแต่ละบุคคลที่จะกระทำกับผลของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเวลาผ่านไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

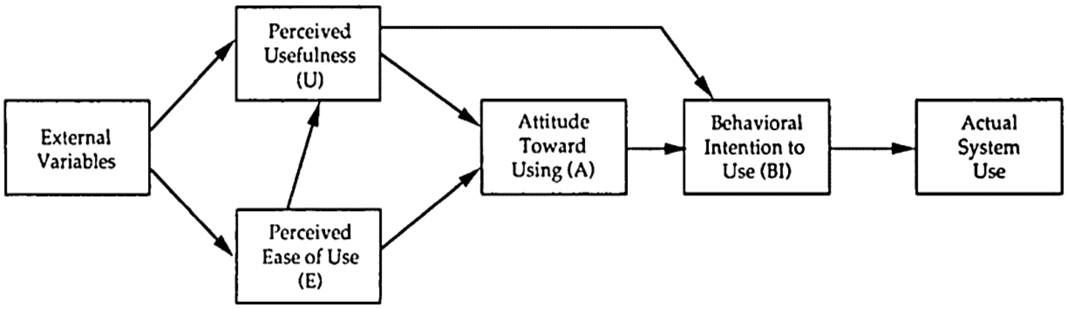
แนวคิดข้างต้นที่อาจมีข้อจำกัดอยู่บางประการ จึงนำมาสู่การพัฒนาแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) โดย Davis, Bagozzi, and Warshaw (1989) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีการยอมรับและมีชื่อเสียงในการเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการนำเทคโนโลยีไปใช้งาน ซึ่งมีที่มาจากการพัฒนาต่อยอดจากทฤษฎี TRA และ TPB โดยแนวคิดของทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) มุ่งศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจแสดงพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วย

1) ตัวแปรภายนอก (External variables) ซึ่งเป็นปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการที่บุคคลจะรับรู้ถึงประโยชน์ของเทคโนโลยี การรับรู้ว่าเป็นสิ่งที่ง่ายต่อการใช้งาน

2) การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับจากเทคโนโลยี (Perceived usefulness) ซึ่งหากบุคคลทราบถึงคุณประโยชน์ที่มากขึ้นเมื่อนำเทคโนโลยีมาใช้ เช่น ทราบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น มีความสะดวกรวดเร็วมากกว่าเดิม เป็นต้น

3) การรับรู้ว่าเป็นระบบที่ง่ายต่อการใช้งาน (Perceived ease of use) เป็นการที่บุคคลผู้ใช้งานรับรู้ว่าการใช้งานเทคโนโลยีเหล่านั้นเป็นเรื่องที่ไม่ต้องใช้ความพยายามมากนัก ไม่มีความซับซ้อนจนเกินไป

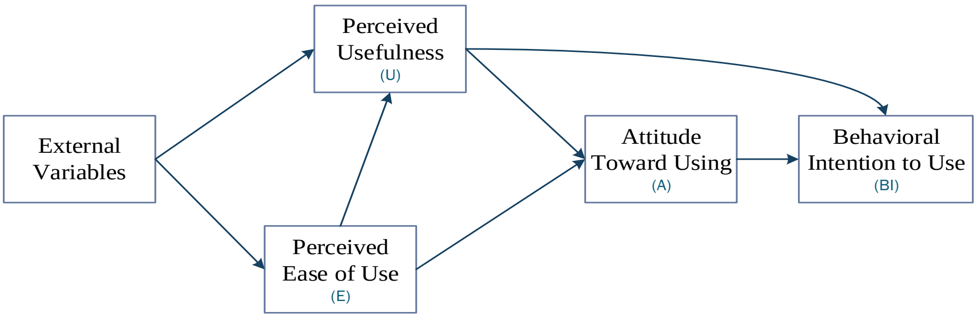
จากซอฟต์แวร์นวัตกรรมการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพในการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเชิงพื้นที่ จึงควรได้รับการทดสอบการยอมรับเทคโนโลยีกับกลุ่มตัวอย่าง โดยการนำแบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (Technology acceptance model: TAM) ที่พัฒนาขึ้นโดย Davis et al. (1989) มาใช้เป็นแนวทางเพื่อทดสอบและศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งานซอฟต์แวร์นวัตกรรมการออกแบบประเมินประสิทธิภาพฯ ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM)
ที่มา: Davis et al. (1989)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยผู้วิจัยนำแนวคิดของ Davis et al. (1989) มาประยุกต์ใช้โดยตัดองค์ประกอบส่วนสุดท้าย Actual System Use ออกจากโมเดล เนื่องจากขั้นตอนการทดสอบการยอมรับนี้อยู่ทำขึ้นก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์สู่ตลาดจริง จึงทำให้ตัวแบบประกอบด้วยตัวแปร 5 ตัวแปร ได้แก่ ปัจจัยภายนอก (External Variables) การรับรู้ถึงประโยชน์ของระบบ (Perceived Usefulness: U) การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use: E) ทัศนคติต่อการใช้งาน (Attitude Toward Using: A) และความต้องการใช้งาน (Behavioral Intention to Use: BI) ดังภาพที่ 14



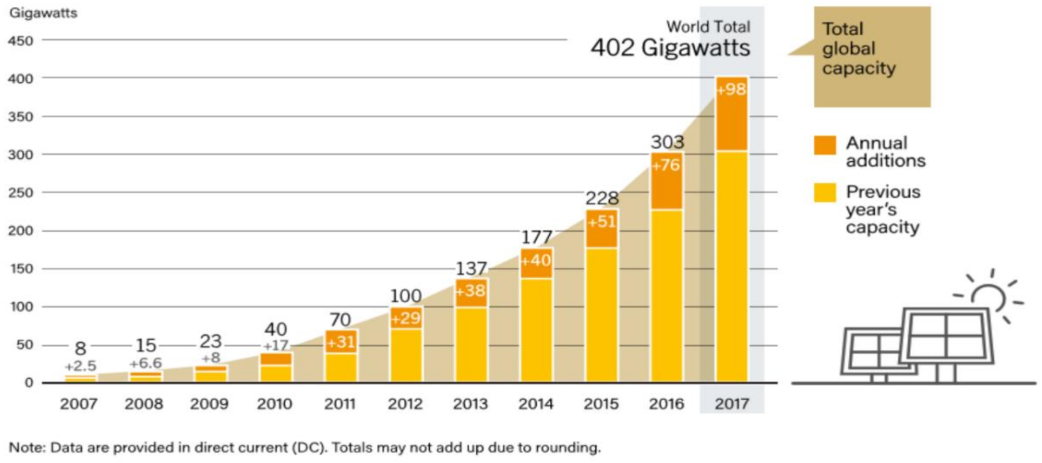
ภาพที่ 14 แบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Davis et al. (1989)

2.10 ศักยภาพทางการตลาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.10.1 ข้อมูลแนวโน้ม ทิศทาง การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์

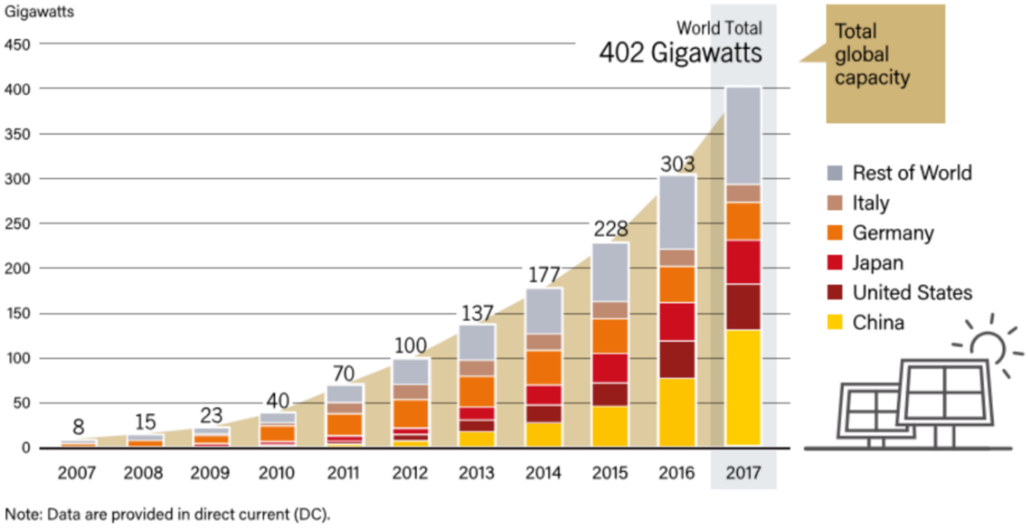
จากข้อมูลในปี 2017 นับเป็นสถานการณ์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) โดยทั่วโลกได้เพิ่มกำลังการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าอุปกรณ์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีอื่น นอกจากนี้ในปีเดียวกันยังพบว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ได้ถูกติดตั้งใหม่คิดเป็นกำลังไฟฟ้ามากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและนิวเคลียร์รวมกัน จึงส่งผลให้ในปี 2017 พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานในลำดับต้น ๆ ในตลาดขนาดใหญ่ อาทิ จีน อินเดีย ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา ข้อมูลการติดตั้งโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานพบว่าทั่วโลกมีการติดตั้งเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 98 GW_{dc} ทั้งแบบ On-grid และ Off-grid ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 1 ใน 3 โดยกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รวมทั่วโลกในปี 2017 คิดเป็น 402 GW แสดงแนวโน้ม ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2007-2017

ที่มา: REN21 (2018)

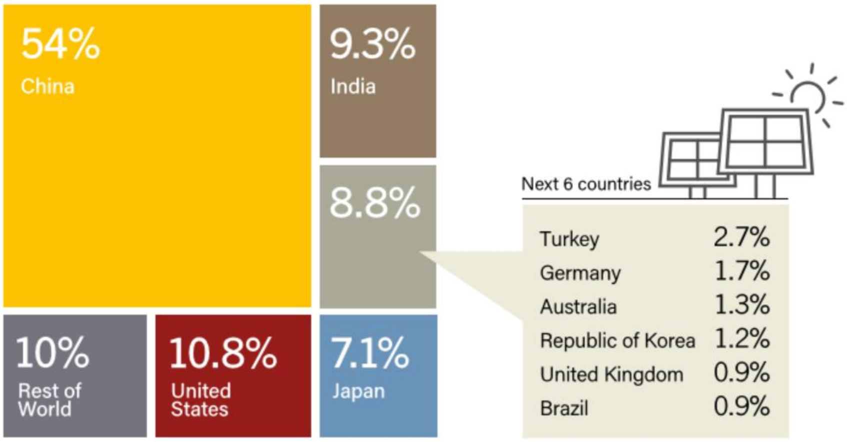
เมื่อพิจารณาข้อมูลการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าในรายประเทศ ซึ่งพิจารณา 5 อันดับแรกของโลก พบว่าในปี 2017 ประเทศที่มีสัดส่วนการผลิตพลังงานจากโซล่าเซลล์มากที่สุด ได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เยอรมัน และอิตาลี ตามลำดับ ซึ่งประเทศจีนมีอัตราการเพิ่มขึ้นในการติดตั้งระบบใหม่ในแต่ละปีสูงที่สุดโดยเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่ปี 2012 เป็นต้นมา และในปี 2015 ขึ้นนำเป็นประเทศผู้สัดส่วนกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดในโลกเป็นต้นมาอย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 Solar PV Global Capacity, by Country of Region, 2007-2017

ที่มา: REN21 (2018)

หากพิจารณาข้อมูลกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นในปี 2017 ของทั่วโลก พบว่าประเทศที่มีสัดส่วนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงสุด 10 ประเทศ คือประเทศจีน คิดเป็น 54% จากกำลังการผลิตรวม 10 ประเทศลำดับต้นของโลก รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกา อินเดีย ญี่ปุ่น ตุรกี เยอรมันนี ออสเตรเลีย เกาหลีใต้ สหราชอาณาจักร และบราซิล ตามลำดับ ส่วนกำลังการผลิตไฟฟ้าส่วนที่เหลือของทุกประเทศที่ไม่อยู่ในอันดับข้างต้นรวมกันคิดเป็น 10% ของกำลังการผลิตทั้งหมดในโลก ดังภาพที่ 17

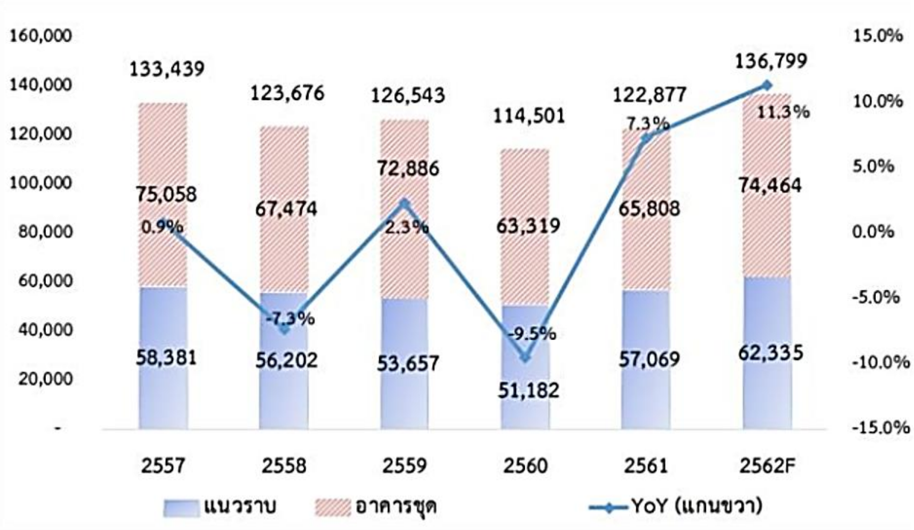


ภาพที่ 17 Solar PV Global Capacity Additions, Shares of Top 10 Counties and rest of world, 2017

ที่มา: REN21 (2018)

2.10.2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของประเทศไทย

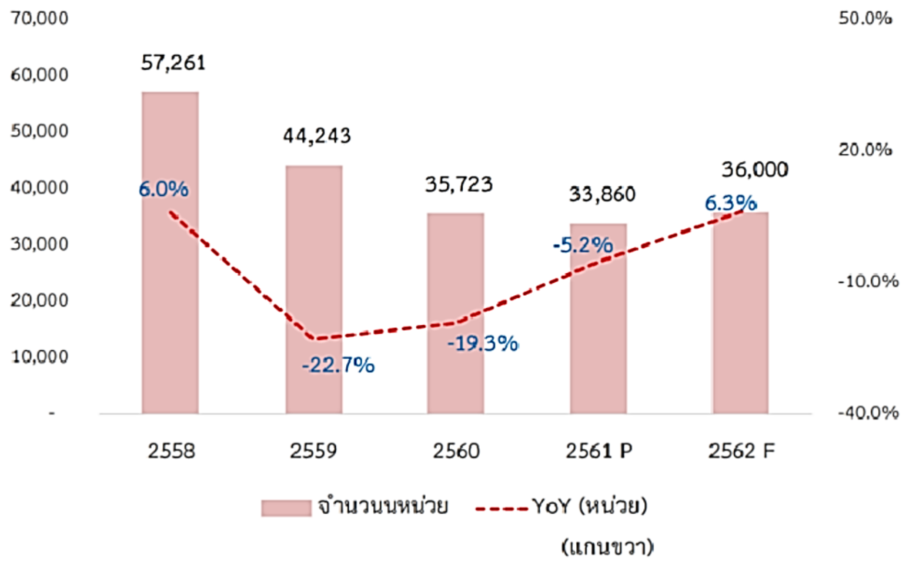
จากข้อมูลสถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยของศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ ตลาดที่อยู่อาศัยกรุงเทพฯ-ปริมณฑล พบว่ามีแนวโน้มที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนใหม่ในปี 2562 ซึ่งคาดว่าจะมีจำนวนประมาณ 136,799 หน่วย โดยมีช่วงคาดการณ์อยู่ที่ประมาณ 123,100 ถึง 140,900 หน่วย เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.3 เมื่อเทียบกับปี 2561 ซึ่งมีจำนวนประมาณ 122,877 หน่วย (REIC, 2019b) รายละเอียดดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนใหม่ ในกรุงเทพฯ – ปริมณฑล และแนวโน้มปี 2562

ที่มา: REIC (2019b)

สำหรับตลาดที่อยู่อาศัยในจังหวัดภูมิภาคแนวโน้มการออกใบอนุญาตจัดสรรที่ดินในจังหวัดภูมิภาคในปี 2562 คาดว่าจะมีประมาณ 36,000 หน่วย โดยมีช่วงคาดการณ์อยู่ประมาณ 32,400 หน่วย ถึง 46,800 หน่วย เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.3 เมื่อเทียบกับปี 2561 ซึ่งจำนวน 33,860 หน่วย REIC (2019a) ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การออกใบอนุญาตจัดสรรที่ดินอยู่อาศัยในจังหวัดภูมิภาค และแนวโน้มปี 2562
ที่มา: REIC (2019a)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10.3 แนวทางการสนับสนุนของภาครัฐต่อโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับแนวทางการสนับสนุนโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา หน่วยงานภาครัฐที่เป็นเจ้าภาพหลักในการดำเนินการ คือ คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กพพ.) โดยในปี 2562 มีการเปิดตัวโครงการ “โซลาร์ภาคประชาชน” เพื่อการเสริมสร้างระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศให้เกิดความมั่นคงตามแผน PDP2018 ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ในราคาที่ส่งเสริมให้ระบบเศรษฐกิจของประเทศสามารถแข่งขันได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โครงการนี้กำหนดหลักการโครงการนำร่องการรับจดทะเบียนเจ้าของบ้านและอาคารที่เป็นเจ้าของมิเตอร์ไฟฟ้า ประเภทบ้านที่อยู่อาศัย ที่ต้องการติดตั้งแผงเซลล์ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เอง สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของประเทศ และขายผลผลิตไฟฟ้าส่วนเกินจากที่ใช้งานเข้าสู่ระบบได้ ระยะเวลารับซื้อตามโครงการ 10 ปี (ERC, 2019)

โดยการสนับสนุนดังกล่าวทางคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน คาดการณ์ว่าจะการติดตั้งระบบผลิตพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ ประมาณ 10,000 – 20,000 ระบบ คิดเป็นมูลค่าราว 4,000 ล้านบาท/ปี หรือประมาณ 40,000 ล้านบาท ตลอดระยะเวลาโครงการ 10 ปี

ทั้งนี้หลักเกณฑ์การประกาศรับซื้อไฟฟ้าภายใต้โครงการ ประกอบด้วย

1) คุณสมบัติผู้เข้าร่วมโครงการ มีดังนี้

1.1) บุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นเจ้าของเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า

1.2) เป็นผู้ที่มีเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าประเภท 1 ตามประกาศอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ไม่เกิน 10 kW ต่อครัวเรือน

2) เป้าหมายและปริมาณการรับซื้อรวม 100 MW

2.1) พื้นที่การไฟฟ้านครหลวง รวม 30 MW

2.2) พื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวม 70 MW

3) เงื่อนไขในการพิจารณา และข้อยกเว้น

การพิจารณาแบบเรียงลำดับก่อนหลังตามความพร้อม (First come first served) โดยยึดถือวันและเวลาที่ได้รับแบบคำขอที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์ของเอกสารหลักฐานเป็นสำคัญ

4) ราคารับซื้อไฟฟ้าส่วนเกินในอัตราไม่เกิน 1.68 บาท/หน่วย ระยะเวลารับซื้อ 10 ปี

2.10.4 การเติบโตของอุตสาหกรรมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC)

จากพัฒนาการของอุตสาหกรรมในฝั่งตะวันออกของประเทศไทยค่อยๆ เติบโตมาเป็นระยะเวลาหลายสิบปี ซึ่งโครงการอันเป็นที่รู้จักกันดีคือในการลงทุนด้านอุตสาหกรรมในยุค “อีสเทิร์นซีบอร์ด” นับเป็นก้าวแรกในการเปลี่ยนโฉมจากสังคมด้านเกษตรกรรม เพื่อก้าวมาสู่การพัฒนาเมืองอุตสากรรมในเขตภาคตะวันออก จนมาถึงปัจจุบันที่ประเทศไทยต้องทำการแข่งขันกับนานาประเทศและเร่งผลักดันองค์ประกอบต่าง ๆ อย่างบูรณาการเพื่อยกระดับการพัฒนาประเทศไปสู่ยุค “ไทยแลนด์ 4.0” เป้าหมายหลักในการส่งเสริมการลงทุนเพื่อการยกระดับของอุตสาหกรรมของไทย เพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับนานาประเทศ และผลเชิงบวกต่อระบบเศรษฐกิจในระยะยาว พื้นที่นำร่อง 3 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา

โดยมีแผนการดำเนินงานโครงการโครงสร้างพื้นฐาน (PPP EEC Track) อาทิ รถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบิน สนามบินอู่ตะเภาและเมืองการบินภาคตะวันออก ศูนย์ซ่อมบำรุงอากาศยานอู่ตะเภา ท่าเรือแหลมฉบังระยะที่ 3 ท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดระยะที่ 3 รวมถึงเขตส่งเสริมอุตสาหกรรมและนวัตกรรมดิจิทัล ส่วนแผนการดำเนินงานเขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษ อาทิ เขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษโครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบิน เขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมืองการบินภาคตะวันออก เขตนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก เขตส่งเสริมและนวัตกรรมดิจิทัล และเขตส่งเสริมอุตสาหกรรมเป้าหมายพิเศษ (EECO, 2018)

การลงทุนในเขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษข้างต้นมุ่งเน้น 10 อุตสาหกรรมเป้าหมาย ทั้งกลุ่มของ 5 อุตสาหกรรมเดิม (First S-Curves) ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์แห่งอนาคต อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ อุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโยลีชีวภาพ อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร และอุตสาหกรรมท่องเที่ยวกลุ่มรายได้ดีและการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ และ อุตสาหกรรมอนาคต (New S-Curves) จำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ อุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจร อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ และอุตสาหกรรมดิจิทัล (EECO, 2019) ดังภาพที่ 20

ภาพที่ 20 อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก
ที่มา: EECO (2019)

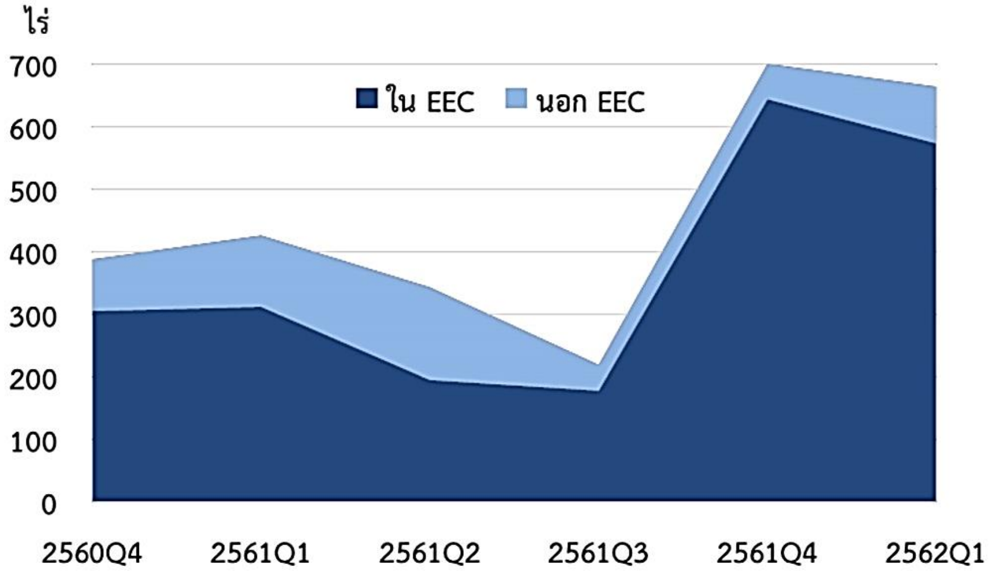
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยแนวโน้มการลงทุนภาคเอกชนมีพัฒนาการที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนจากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ 1) ยอดขอรับการส่งเสริมการลงทุน ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (The Board of Investment of Thailand: BOI) ซึ่งโครงการขนาดใหญ่มาจากอุตสาหกรรมที่มีฐานการผลิตตั้งต้นในเขต EEC อยู่แล้ว อาทิ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมยานยนต์ และ 2) ยอดขาย-เช่าที่ดินในนิคมอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในเขตพื้นที่ EEC ส่วนหนึ่งมาจากความเชื่อมั่นของนักลงทุนและความคืบหน้าของการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานเร่งด่วนทั้ง 5 ของภาครัฐ (ณัชพล จรูญพิพัฒน์กุล, 2019) ตามตารางที่ 3 และภาพที่ 21

ตารางที่ 3 เป้าหมายและยอดขอรับการส่งเสริมการลงทุน BOI (ปี 2560 – 2562)

	เป้าหมายการส่งเสริมการลงทุน	ยอดขอรับการส่งเสริมการลงทุนจริง
ปี 2560	600,000 ล้านบาท (200,000 ล้านบาท ใน EEC)	630,000 ล้านบาท (288,000 ล้านบาท ใน EEC)
ปี 2561	720,000 ล้านบาท (250,000 ล้านบาท ใน EEC)	902,000 ล้านบาท (684,000 ล้านบาท ใน EEC)
ปี 2562	750,000 ล้านบาท (300,000 ล้านบาท ใน EEC)	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก ณัชพล จรูญพิพัฒน์กุล (2019)



ภาพที่ 21 ยอดขาย-เช่าที่ดินของนิคมอุตสาหกรรม (ไตรมาสที่ 4 ปี 2560 - ไตรมาสที่ 1 ปี 2562)

ที่มา: ณัชพล จรูญพิพัฒน์กุล (2019)

จากข้อมูลแนวโน้มการลงทุนด้านอุตสาหกรรมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกข้างต้น แสดงถึงจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมใหม่ที่จะสร้างหรือมีการนำพื้นที่มาใช้งานมากขึ้น ด้วยเหตุนี้นับว่าเป็นแนวโน้มที่ดีในการเพิ่มขึ้นของดีมานด์การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกในอนาคต

2.10.5 ผู้ให้บริการด้านการออกแบบ การติดตั้ง และจำหน่ายอุปกรณ์ระบบโซล่าเซลล์

จากฐานข้อมูลนิติบุคคลที่ขึ้นทะเบียนกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งเป็นรายชื่อแนะนำผู้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ประเภท ก. จำนวน 16 ราย และประเภท ข จำนวน 46 ราย รวมทั้งสิ้น 62 ราย (สืบค้นข้อมูล วันที่ 5 กันยายน 2563) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) โดยปัจจุบันไม่มีการประกาศรายชื่อนิติบุคคลที่ขึ้นทะเบียนเพิ่มเติมแล้ว ตามประกาศกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน เรื่อง “ยกเลิกการขึ้นทะเบียนแนะนำรายชื่อผู้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา” ประกาศ ณ วันที่ 29 กันยายน 2558

ส่วนข้อมูลจากกรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พบว่านิติบุคคลซึ่งประกอบธุรกิจเกี่ยวกับโซล่าเซลล์ จากฐานข้อมูล *“DBD DataWarehouse⁺”* มีจำนวนนิติบุคคลเฉพาะที่มีสถานะยังดำเนินการอยู่ รวม 373 ราย จำแนกเป็นนิติบุคคลประเภทบริษัทจำกัด จำนวน 279 แห่ง และจดทะเบียนเป็นห้างหุ้นส่วนจำกัด 94 แห่ง (สืบค้นข้อมูล วันที่ 5 กันยายน 2563) (DBD, 2020)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 งานวิจัยภายในประเทศ

พิมพ์นภัส เอี่ยมสมบูรณ์ และคณะ (2556) ศึกษาการจำลองแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับคุณภาพชีวิตที่เหมาะสมในพื้นที่ห่างไกล โดยบูรณาการระเบียบวิธีวิจัยทั้งเชิงคุณภาพ เชิงปริมาณ และการวิจัยดำเนินงาน วิเคราะห์คำตอบด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ และเทคนิคโปรแกรมเป้าหมาย ดำเนินการในขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเพื่อนำมาประเมินและหาตัวชี้วัดด้านการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าฯ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยเทคนิคการหาค่าความเหมาะสม (Optimization technique) ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลได้ตัวแบบสมการทางคณิตศาสตร์หลายด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านสังคม ได้แก่ เป้าหมายทางสังคม ตัวแปรการตัดสินใจทางสังคม ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านสังคม ฟังก์ชั่นข้อจำกัดด้านสังคม 2) ด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ เป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ ตัวแปรการตัดสินใจด้านเศรษฐศาสตร์ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ฟังก์ชั่นข้อจำกัดด้านเศษฐศาสตร์ และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม ตัวแปรการตัดสินใจทางสิ่งแวดล้อม ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม ฟังก์ชั่นข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม โดยผลจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 ด้านข้างต้นพบว่าผลลัพธ์ที่ได้บรรลุเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งสรุปได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีเพียงพอในการดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ในปัจจุบันและอนาคต

ศาสตรา ศิริแก้ว และคณะ (2562)ได้ทำการศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ภายใต้เงื่อนไขทิศทางการรับรังสีดวงอาทิตย์ตามทิศทางของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลังคาอาคาร โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ซึ่งประมวลผลผ่านโปรแกรม Excel Spreadsheet ข้อมูลนำเข้าสู่การคำนวณได้แก่ 1) ศักยภาพเชิงพื้นที่โดยใช้แบบพิมพ์เขียวอาคารวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม AutoCAD 2) ศักยภาพรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จากสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ 3) ประเมินกำลังไฟฟ้าและพลังงานโดยใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับข้อมูลอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย และ 4) ประเมินพลังงานไฟฟ้าต่อกำลังการติดตั้ง โดยการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าพิจารณาภายใต้มาตรฐาน IEA (IEA-PVPS T2-03:2002) และแสดงผลการประเมินโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

พิมพ์พรรณ กาเยนนท์ (2557) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้เครื่องมือ 2 ด้าน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และการวิเคราะห์ค่าความไว ส่วนการศึกษาการดำเนินนโยบายภาครัฐเพื่อสนับสนุนโครงการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ เลือกใช้เครื่องมืออีก 2 ด้าน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุนทางพลังงาน และอัตราการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ในกรณีทั่วไปและกรณีการวิเคราะห์ความไวพบว่า การลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของครัวเรือนที่เข้าร่วมโครงการรับซื้อไฟฟ้า ยังไม่คุ้มทุนในทุกขนาดกำลังการผลิต โดยต้นทุนในการผลิตยังสูงกว่ารายรับที่ได้จากการไฟฟ้า ในทางกลับกันจากผลการศึกษาประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าระยะเวลาการคืนทุนทางพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 1.2 – 1.8 ปี ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของระบบ นอกจากนี้ยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้ถึง 56,379.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี คิดเป็นมูลค่า 552,518.52 บาทต่อปี ส่งผลให้ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าศูนย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุรศักดิ์ น้อยทับทิม (2553) ทำการศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เป้าหมายในประเทศไทย ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อช่วยในการออกแบบขนาดของระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมกับระดับความต้องการของโหลดที่ใช้พลังงาน และสามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานในการผลิตและจ่ายพลังงานของแต่ละอุปกรณ์ รวมถึงแสดงระดับความน่าเชื่อถือในการจ่ายกำลังไฟฟ้า รวมถึงค่าความสูญเสียของโหลดในระบบ เหล่านี้เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบที่เหมาะสม การออกแบบใช้เทคนิคการจำลองการทำงานของระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาขนาดของระบบที่เหมาะสมโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) และทำการวิเคราะห์ระดับความน่าเชื่อถือของระบบในการจ่ายกำลังไฟฟ้าในส่วนของความน่าจะเป็นในการสูญเสียโหลด

เกษม ตรีภาค และคณะ (2561) ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำแบบซิลิกอน เพื่อใช้สำหรับงานวิเคราะห์การระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการนำวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แล้วจึงนำไปทดสอบหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำแบบซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวขนาด 30 วัตต์และ 100 วัตต์ และแบบผลึกผสมขนาด 150 วัตต์ และ 280 วัตต์ โดยเปรียบเทียบกับการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัด Solar analyzer ที่ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่า กราฟกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า และกราฟกำลังงานไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์มีรูปร่างใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากเครื่องมือวัด

2.11.2 งานวิจัยต่างประเทศ

King et al. (2002) กล่าวถึงผลการศึกษาปัจจัยซึ่งกล่าวไว้ใน Analysis of factors influencing the annual energy production of Photovoltaic systems โดยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องมากที่สุดสำหรับการออกแบบระบบเซลล์ซึ่งใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดทั้งปี ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพในระยะยาว ในการนี้ต้องใช้แบบจำลองประสิทธิภาพอาร์เรย์ที่แม่นยำ ตามขั้นตอนการทดสอบที่กำหนดไว้เพื่อคาดการณ์พลังงานที่มีอยู่จากอาร์เรย์อย่างมั่นใจ การวิเคราะห์ตามโมเดลนี้ประกอบด้วยคุณสมบัติขององค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกันอย่างสมดุลเพื่อเกิดประสิทธิภาพสูงสุด การใช้เครื่องมือที่จำเป็นในการคำนวณประสิทธิภาพของระบบที่คาดหวังและเปรียบเทียบการผลิตพลังงานจริงกับที่คาดการณ์ไว้ทั้งพลังงานทางด้านแรงดันกระแสตรง (DC) และทางด้านขาออกซึ่งเป็นแรงดันกระแสสลับ (AC) นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในรายประจำปี รวมถึงการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามฤดูกาลซึ่งอาจมีผลที่แปรเปลี่ยนไปซึ่งอยู่กับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ดังกล่าว

Meral and Dinçer (2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในบทความ A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems ได้กล่าวความนิยมในการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนนั้นคือการติดตั้งระบบไฟฟ้าโซล่าเซลล์ (Photovoltaic) โดยใช้แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบ รวมถึงประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความก้าวหน้า องค์ประกอบด้านสภาพแวดล้อม และการเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ประกอบในระบบที่ต้องนำมาติดตั้ง รายละเอียดในบทความนี้กล่าวถึงรายละเอียดด้านการทบทวนปัจจัยเหล่านี้

และสรุปเป็นคำแนะนำสำหรับการออกแบบระบบที่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น และเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ทำงานด้านทฤษฎีการออกแบบหรือการประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

Kerekes et al. (2012) จากผลการศึกษา An Optimization Method for Designing Large PV Plants กล่าวถึงวิธีการใหม่สำหรับการคำนวณค่าที่เหมาะสมสำหรับโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ เช่นลดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยลง โดยกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบจะพิจารณาจากผลกระทบขององค์ประกอบ รวมถึงชนิดและการจัดเรียงโมดูลของ Photovoltaic ในการติดตั้งบนการแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนตลอดอายุและการผลิตพลังงานที่สอดคล้องกันของโรงผลิตพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการพิจารณาต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของการผลิตพลังงานไฟฟ้า ผลการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ แสดงให้เห็นว่าหากใช้วิธีการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) ทำให้สามารถลดต้นทุนต่อหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

Ghiani et al. (2013) ได้ทำการศึกษาการประเมินระบบ PV ในบทความ Evaluation of photovoltaic installations performances in Sardinia กล่าวถึงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเครือข่ายระบบไฟฟ้าในซาร์ดิเนีย โดยศึกษาอัตราส่วนประสิทธิภาพของการติดตั้งระบบ Photovoltaic ด้วยการวิเคราะห์ที่สำคัญของห่วงโซ่การเปลี่ยนแปลงพลังทั้งหมดเริ่มต้นจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโซล่าเซลล์ได้พลังงานไฟฟ้า DC ผ่านการแปลงพลังงานไฟฟ้าและแรงดันจนได้พลังงานไฟฟ้า AC ที่เหมาะสม โดยพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการผลิตพลังงานจะถูกวิเคราะห์เพื่อหาจุดวิกฤติในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบระบบ PV การวัดและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตลอดทั้งปีของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า การศึกษาครั้งนี้มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ ของโลก รวมถึงความแปรปรวนรายเดือนของอัตราส่วนประสิทธิภาพซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับของอุณหภูมิแวดล้อม

Fouad et al. (2017) ศึกษาวิจัยเรื่อง An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และปัจจัยเหล่านั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไร ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อม แผงโซล่าเซลล์ การติดตั้งระบบผลิตพลังงาน ปัจจัยด้านราคา รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ โดย การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ การสะสมของฝุ่น การเกิดเงาบดบัง และปัจจัยที่ก่อความสกปรก เหล่านี้เป็นปัญหาจากสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบสำคัญ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ล้วนมีความสำคัญเช่น แผงโซล่าเซลล์ อินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ ส่วนปัจจัยการติดตั้งเช่น

คุณลักษณะของสายไฟฟ้า ระบบติดตาม MPPT ส่วนการคำนวณต้นทุนต้องนำมูลค่าสายเคเบิลและต้นทุนอุปกรณ์ปลีกย่อยมาร่วมพิจารณาโดยเฉพาะในขั้นตอนการคำนวณระยะเวลาคืนทุน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการเสื่อมสภาพและประสิทธิภาพที่ลดลง ผลการวิจัยจะเป็นข้อแนะนำเพื่อศึกษาต่อยอดรวมถึงการป้องกันผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์

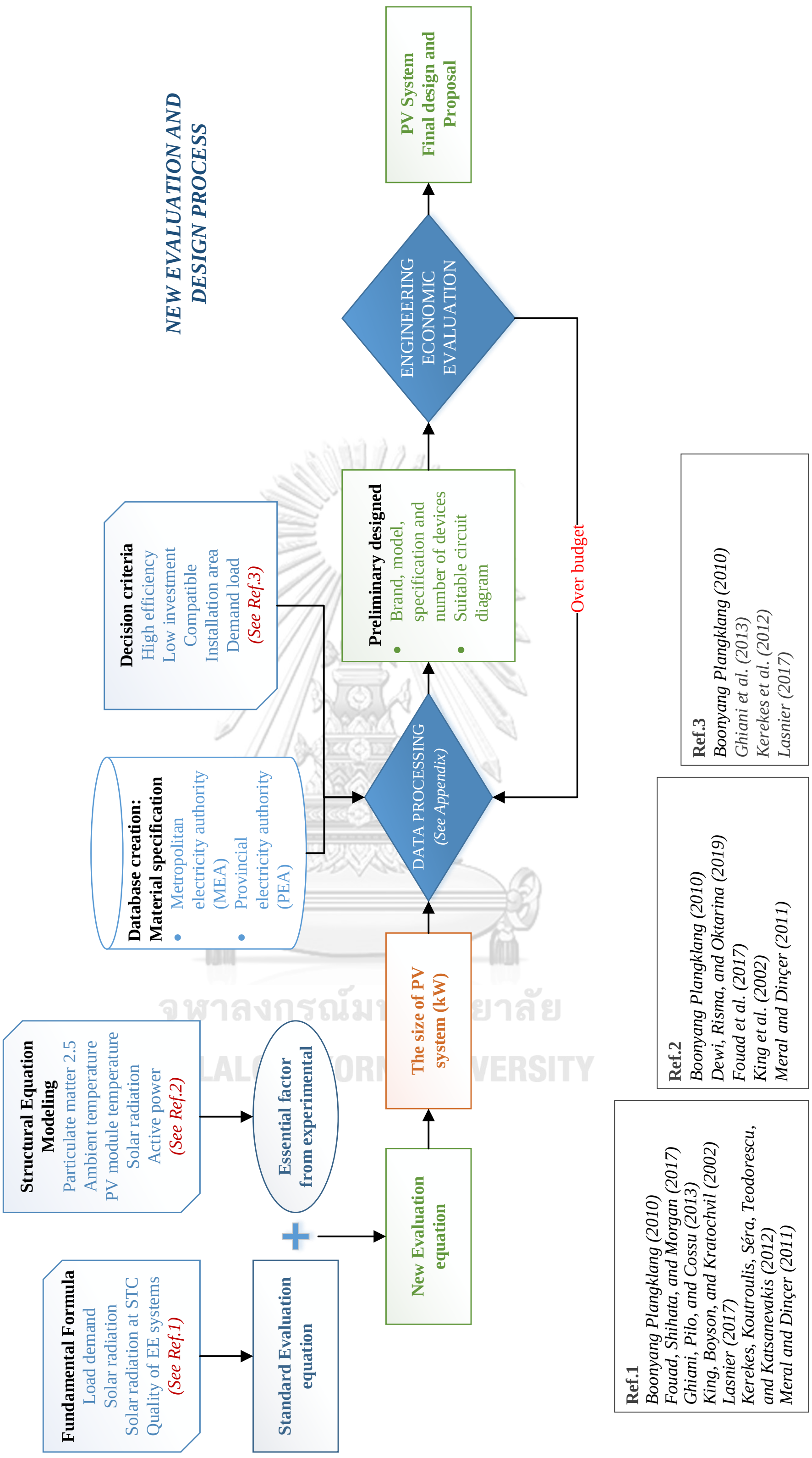
Dewi et al. (2019) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง A Review of Factors Affecting the Efficiency and Output of a PV System Applied in Tropical Climate กล่าวถึงประสิทธิภาพและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยหลายประการรวมถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มักพบได้ในลักษณะเฉพาะดังเช่นภูมิอากาศเขตร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยรวมถึงความชื้นในอากาศค่อนข้างสูง จากสภาพภูมิอากาศของประเทศอินโดนีเซียนั้นส่งผลทั้งข้อดีและข้อเสียต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบ Photovoltaic ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง การสะสมของฝุ่นละออง และผลกระทบของเกลือทะเล สิ่งเหล่านี้เป็นผลกระทบที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมและปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของภูมิอากาศและลักษณะทางกายภาพของประเทศอินโดนีเซีย การศึกษาครั้งนี้ให้คำแนะนำในการเผชิญหน้าและรับมือกับผลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลในเชิงลบต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์ ในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น

2.12 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าจนบูรณาการเป็นตัวแบบนวัตกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพในการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนี้

เริ่มจากการศึกษาสมการทั่วไปสำหรับการกำหนดขนาดของระบบโซล่าเซลล์ รวมถึงผลลัพธ์ที่ทราบจากการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง (SEM) จนได้สมการคำนวณใหม่ที่คำนึงถึงปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ (PM2.5) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ รังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น จากนั้นพัฒนาสมการขึ้นใหม่สำหรับการคำนวณขนาดโซล่าเซลล์ที่ผนวกดัชนีด้านสภาพแวดล้อมร่วมในการประเมิน

จากนั้นดำเนินการรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลสำคัญด้านสภาพแวดล้อมในเชิงพื้นที่ ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม รวมถึงฐานข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบ เช่น แผงโซล่าเซลล์ อินเวอร์เตอร์ เป็นต้น เพื่อการนำเข้าข้อมูลในสมการคำนวณ ผลการคำนวณขนาดของระบบจะนำมาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจลงทุนในโครงการ โดยแสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนสำหรับการดำเนินการวิจัย เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

3.1 ระยะที่ 1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด และปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ เพื่อดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

3.2 ระยะที่ 2 การพัฒนากระบวนการประเมินการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เพื่อดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

3.3 ระยะที่ 3 การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ การพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบใช้งาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพ เพื่อดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 และ 4

3.4 ระยะที่ 4 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ เพื่อดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 5 และ 6

3.1 ระยะที่ 1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด และปัจจัยการออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์

3.1.1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ทฤษฎีด้านไฟฟ้าและมาตรฐานทางวิศวกรรม

โดยศึกษาข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ เกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานด้านพลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์ หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยีระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง รวมถึงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ ดังนี้

3.1.1.1 การศึกษาอุปกรณ์สำคัญในการติดตั้งระบบ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic solar cell) อินเวอร์เตอร์และเครื่องชาร์จ (Inverter and charger) แบตเตอรี่ (Battery) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าแรงดันตรงและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะส่งผ่านพลังงานผ่านสายเมนไฟฟ้าหรืออุปกรณ์บัสดัก ไปยังตู้เมนสวิตช์ (MDB หรือ DB) ตามความเหมาะสม โดยการศึกษาในขั้นตอนนี้จะทราบถึงอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ประกอบระบบ

3.1.1.2 การศึกษาทฤษฎีด้านไฟฟ้า มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มาตรฐานระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้า มาตรฐานวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและมีความเฉพาะสำหรับระบบโซล่าเซลล์ อาทิ เมนสวิตช์ (Main distribution board: MDB) เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Main circuit breaker: MCB), Miniature Circuit Breakers (MCBs), Molded Case Circuit Breakers (MCCB) สายไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแรงดันกระแสตรงและกระแสสลับ (Electric wire) อุปกรณ์วัดคุมทางไฟฟ้า เช่น kW meter, kWh meter, Volte meter, Amp meter, Hz meter เพื่อเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบต่อไป

3.1.2 การศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

3.1.2.1 ดำเนินการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและนำมาวิเคราะห์คาดการณ์ด้านอุปสงค์ของตลาดโซล่าเซลล์ในประเทศไทย ได้แก่ ศักยภาพด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรม จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันและโครงการก่อสร้างโรงงานในอนาคตที่จะสร้างขึ้น ระบบโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งแล้วในโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงความสนใจในการติดตั้งระบบฯ ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมที่สร้างแล้วและที่มีแผนจะสร้างใหม่

3.1.2.2 ดำเนินการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิด้านแนวนโยบาย ระเบียบ กฎเกณฑ์ ค่าตอบแทนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อใช้เองหรือจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามโครงการของภาครัฐที่สนับสนุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนสำหรับเสริมความมั่นคงด้านพลังงาน

3.1.3 การศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา

3.1.3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาในเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ด้วยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth interview) เพื่อทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาเกณฑ์การออกแบบระบบ การประเมินขนาดของระบบ ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการติดตั้งระบบแต่ละพื้นที่ แนวคิดในการเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบสำหรับการประกอบเข้าเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงแนวคิดที่มีประโยชน์ในการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

3.1.3.2 ผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ

การศึกษาในขั้นตอนนี้กำหนดและคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ (Key informant) จำนวน 10 ท่าน โดยพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญด้านใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง ผลงานในการออกแบบหรือควบคุมการติดตั้งระบบฯ ที่ผ่านมา รวมถึงปฏิบัติงานในองค์กรที่มีความน่าเชื่อถือ จากเกณฑ์เหล่านี้จึงคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) วิศวกรที่ปรึกษาด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป มีประสบการณ์ด้านการออกแบบระบบฯ หรือควบคุมการติดตั้ง ไม่น้อยกว่า 3 ปี และมีผลงานการออกแบบระบบฯ หรือควบคุมการติดตั้ง ขนาดพิกัดไม่ต่ำกว่า 500 kW ไม่น้อยกว่า 5 ผลงาน จากบริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด (มหาชน)

2) วิศวกรชำนาญการด้านการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป มีประสบการณ์ด้านการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบฯ ไม่น้อยกว่า 3 ปี และมีผลงานการติดตั้งและบำรุงรักษา ขนาดพิกัดไม่ต่ำกว่า 100 kW ไม่น้อยกว่า 5 ผลงาน จากบริษัทที่อยู่ในบัญชีรายชื่อของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (ERC)

3) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การไฟฟ้านครหลวง จำนวน 2 ท่าน เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีตำแหน่งผู้อำนวยการขึ้นไป ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง หรือการตรวจสอบรับรองระบบฯ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ปี

4) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก บริษัท พีอีเอ เอ็นคอม อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด โดยเป็นองค์กรชั้นนำด้านการให้บริการออกแบบติดตั้งระบบโซล่าเซลล์แบบครบวงจร โดยเป็นหน่วยธุรกิจจดทะเบียนเป็นบริษัทจำกัด ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จำนวน 2 ท่าน โดยเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีตำแหน่งผู้อำนวยการขึ้นไป ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง หรือการตรวจสอบรับรองระบบฯ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ปี

5) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 2 ท่าน เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีตำแหน่งผู้อำนวยการขึ้นไป ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง หรือการตรวจสอบรับรองระบบฯ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ปี

3.1.3.3 การดำเนินการสัมภาษณ์

1) หากกรณีระหว่างสัมภาษณ์ ผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญที่กำหนดไว้ข้างต้นมีภารกิจหรือมีความจำเป็นที่ทำให้การเก็บข้อมูลหยุดยุติลง โดยที่ผู้วิจัยยังเก็บข้อมูลไม่ครบถ้วนตามที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยจะพิจารณาเลือกผู้ให้ข้อมูลคนใหม่และดำเนินการเก็บข้อมูลจนแล้วเสร็จ โดยพิจารณาคุณสมบัติผู้ให้ข้อมูลคนใหม่ ที่สอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในคุณสมบัติผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ (ข้อ 3.1.3.2 (1)-(5) ตามแต่ละกรณี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) การติดต่อผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ ผู้วิจัยจะโทรศัพท์ถึงผู้ให้ข้อมูลเพื่อขออนุญาตก่อนในเบื้องต้น หากได้รับความร่วมมือในการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยจะขอเอกสารขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์จากหลักสูตรสหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม และนำส่งเอกสารไปยังหน่วยงานที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งประกอบด้วยหนังสือขอความอนุเคราะห์ฯ และเอกสารระบุคุณสมบัติของผู้ให้ข้อมูลเพื่อหน่วยงานจะได้ทำการคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมสำหรับการสัมภาษณ์

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured) ซึ่งผ่านการพัฒนาแบบสัมภาษณ์ด้วยการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในแขนงที่เกี่ยวข้อง ทั้งด้านวิศกรรมไฟฟ้า ด้านการบริหารจัดการ เป็นต้น จากผลของการตรวจและปรับแก้จนได้แบบสัมภาษณ์ฉบับสมบูรณ์ และนำมาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเก็บรวมรวมข้อมูลในครั้งนี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยใช้เครื่องมืออื่นประกอบ ได้แก่ สมุดจดบันทึก เครื่องบันทึกเสียง กล้องถ่ายภาพ (ขออนุญาตก่อนทำการบันทึก) โดยมีผู้ช่วยนักวิจัย ช่วยเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ 1 คน ที่มีประสบการณ์ในการสัมภาษณ์และมีพื้นฐานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อดำเนินการจดบันทึกข้อความ การบันทึกเสียงและถ่ายภาพรวมถึงถอดความจากการสัมภาษณ์ในครั้งนี้ โดยผู้ช่วยนักวิจัยจะต้องได้รับการอบรมและให้รายละเอียดเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลในครั้งนี้จากผู้วิจัยก่อนออกปฏิบัติงาน

4) ในระหว่างการสัมภาษณ์หากพบว่าข้อมูลทางเทคนิคบางประการซึ่งเป็นความลับของผู้ให้ข้อมูลหรือของหน่วยงาน หรือเกิดความรู้สึกอึดอัดไม่สบายใจกับบางคำถาม ผู้ให้ข้อมูลมีสิทธิ์ที่จะไม่ตอบคำถามเหล่านั้นได้ รวมถึงสิทธิ์ยุติการให้สัมภาษณ์ได้ทันที

5) ข้อมูลที่บันทึกได้จะนำมาวิเคราะห์สรุปอุปนัย (Analytic Induction) จนได้ข้อสรุปถึงขั้นตอนและเทคนิควิธีในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์หลัก อุปกรณ์ประกอบระบบ รวมถึงแนวทางการออกแบบติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่

6) ข้อมูลส่วนตัวของผู้ให้ข้อมูลจะถูกเก็บรักษาไว้และไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยรายงานผลการวิจัยจะมีลักษณะอภิปรายเป็นภาพรวม

3.1.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured) ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์เนื้อหา จนทราบข้อสรุปถึงปัจจัยสำคัญต่อออกแบบระบบให้มีความแม่นยำกระบวนการออกแบบระบบที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ โดยแบบสัมภาษณ์แบ่งออกเป็น 7 ตอน ได้แก่

1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูล จำนวน 3 ข้อ

2) ข้อมูลหลักที่ต้องทราบ สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จำนวน 4 ข้อ

3) ข้อมูลสารสนเทศในเชิงพื้นที่ สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จำนวน 3 ข้อ

4) มาตรฐานทางวิศวกรรม และทฤษฎีทางวิศวกรรม สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จำนวน 4 ข้อ

5) เกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบ ของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

6) เกณฑ์ในการพิจารณาความคุ้มค่า/ประสิทธิภาพ สำหรับการติดตั้งระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จำนวน 2 ข้อ

7) เครื่องมือสำหรับช่วยออกแบบและประเมินประสิทธิภาพสำหรับการติดตั้งระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จำนวน 5 ข้อ

แบบสัมภาษณ์ที่พัฒนาขึ้นผ่านการตรวจสอบและรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 เอกสารรับรองเลขที่ COA No. 278/2019 โดยผลการศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงกระบวนการออกแบบและประเมินการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ว่าต้องคำนึงถึงข้อมูล กฎระเบียบ มาตรฐานทางวิศวกรรม ตัวแปรที่เกี่ยวช้องในการคำนวณ ปัจจัยในการเลือกอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในระบบ การตัดสินใจต่อการลงทุนในโครงการ ตลอดจนเครื่องมือสำหรับช่วยในการออกแบบและประเมิน

3.2 ระยะที่ 2 การพัฒนากระบวนการประเมินการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

สำหรับการพัฒนากระบวนการประเมินการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาในระยะที่ 1 ในด้านปัจจัยที่ควรคำนึงในขั้นตอนการออกแบบระบบฯ รวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบหลังจากที่ได้ดำเนินการติดตั้งแล้ว ภายในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงนำมาสู่การทดลองผลิตพลังงานดังกล่าว ตลอดจนการวัดและบันทึกข้อมูลที่สำคัญเพื่อดำเนินการวิเคราะห์ ดังนี้

3.2.1 การทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์และสร้างสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม

3.2.1.1 การวัดและบันทึกข้อมูล

การทดลองครั้งนี้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์หลัก อุปกรณ์วัดทางไฟฟ้า และอุปกรณ์วัดด้านสิ่งแวดล้อม ระหว่างการทดลองอุปกรณ์วัดทั้งหมดจะอ่านและบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ โดยพารามิเตอร์ที่จัดเก็บประกอบด้วยค่าพลังงานไฟฟ้า (W) ค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ (W/m^2) ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ในอากาศ ($\mu g/m^3$) อุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ (°C) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C) ข้อมูลจากพารามิเตอร์สำคัญทั้ง 6

ข้อมูล มีอัตราการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ทุก 1 นาที ตั้งแต่ช่วงเวลา 9 – 15 น. รวมชั่วโมงการบันทึกข้อมูล 6 ชั่วโมงต่อวัน ตลอดระยะเวลาทดลอง 20 วัน สถานที่ตั้งห้องปฏิบัติการ ในจังหวัดปทุมธานี ณ พิกัดทางภูมิศาสตร์ 13°59’45” N และ 100°33’28” E การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ ด้านหน้าของแผงโซล่าเซลล์จึงหันไปทางทิศใต้ 180 องศา และทำมุมเอียง 15 องศา กระบวนการรวบรวมข้อมูลสามารถบันทึกข้อมูลรวมทั้งสิ้น 7,220 ตัวอย่างจากพารามิเตอร์ทั้งหมด จากนั้นข้อมูลที่รวบรวมมาได้จะถูกดาวน์โหลดไปยังซอฟต์แวร์ เพื่อการตรวจสอบก่อนกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.2.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมจากการทดลองทั้ง 6 พารามิเตอร์ข้างต้น จะถูกตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์และดำเนินการวิเคราะห์ตามลำดับดังนี้

1) การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ และค่าความโด่ง ของทุกพารามิเตอร์ ประกอบด้วยค่าพลังงานไฟฟ้า ค่ารังสีดวงอาทิตย์ ค่าฝุ่นควันขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ ค่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม

2) การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ของทั้ง 6 พารามิเตอร์ เพื่อวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในแต่ละคู่ของตัวแปรทั้งหมด ด้วยค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน. (Pearson correlation Coefficient)

3) การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบแยกส่วน (Partial correlation analysis) โดยทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์รายคู่ในขณะที่ทำการควบคุมตัวแปรที่ต้องการ ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์รวม 5 ครั้ง ซึ่งเริ่มวิเคราะห์และควบคุมตัวแปรค่ารังสีดวงอาทิตย์ ตัวแปรค่าฝุ่นควันขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตัวแปรค่าอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ ตัวแปรค่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม และตัวแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ตามลำดับ

4) การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural equation modeling: SEM) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปรที่รวมแง่มุมของการวิเคราะห์ปัจจัย และการถดถอยพหุคูณ รวมถึงการตรวจสอบชุดของความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัย ซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรที่สังเกตได้และตัวแปรแฝงที่กำหนดขึ้น (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2014) ผลการวิเคราะห์จะนำมากำหนดสมการใหม่สำหรับการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโซล่าเซลล์ จากสภาพแวดล้อมที่ติดตั้งระบบ

3.2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูล

การวิจัยนี้ทำการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในทุกนาทีตลอดระยะเวลาการทดลอง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงกำหนดคุณสมบัติทางเทคนิคของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ต้องการโดยเลือกใช้อุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1.1) Solar Radiation data Logger (Brand TES, model TES-132, s/n 180903448)

1.2) Temperature & Humidity data logger for PV module (Brand Elitech, model RC-4HC, s/n EF719CE01090)

1.3) Temperature & Humidity data logger for the ambient environment (Brand Elitech, model RC-4HC, s/n EF719CE01103)

1.4) Air Quality data logger (Brand SNDWAY, model SW-625B)

1.5) Power Logger (Band Fluke, model 1735, s/n S082701124B6)

1.6) DC Voltage data logger (Brand Hantek, model 365F, s/n 30601402)

1.7) DC Current data logger (Brand Hantek, model 365F, s/n 30601443).

2) อุปกรณ์หลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การทดลองนี้ต้องการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ด้วยเหตุนี้อุปกรณ์หลักสำหรับการทดลองประกอบด้วยแผงโซล่าเซลล์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้ไปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องอินเวอร์เตอร์สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในระดับแรงดันที่เหมาะสมตามรายละเอียดด้านล่าง ทั้งนี้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่นำมาใช้ในการทดลองดังภาพที่ 23 และไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบและเครื่องมือวัดดังภาพที่ 24

2.1) แผงโซล่าเซลล์ (Photovoltaic solar panel) ขนาด 250W ผลิตภัณฑ์จาก Kingdom Solar รุ่น KD-P250 ซึ่งมีคุณสมบัติทางเทคนิค ดังนี้

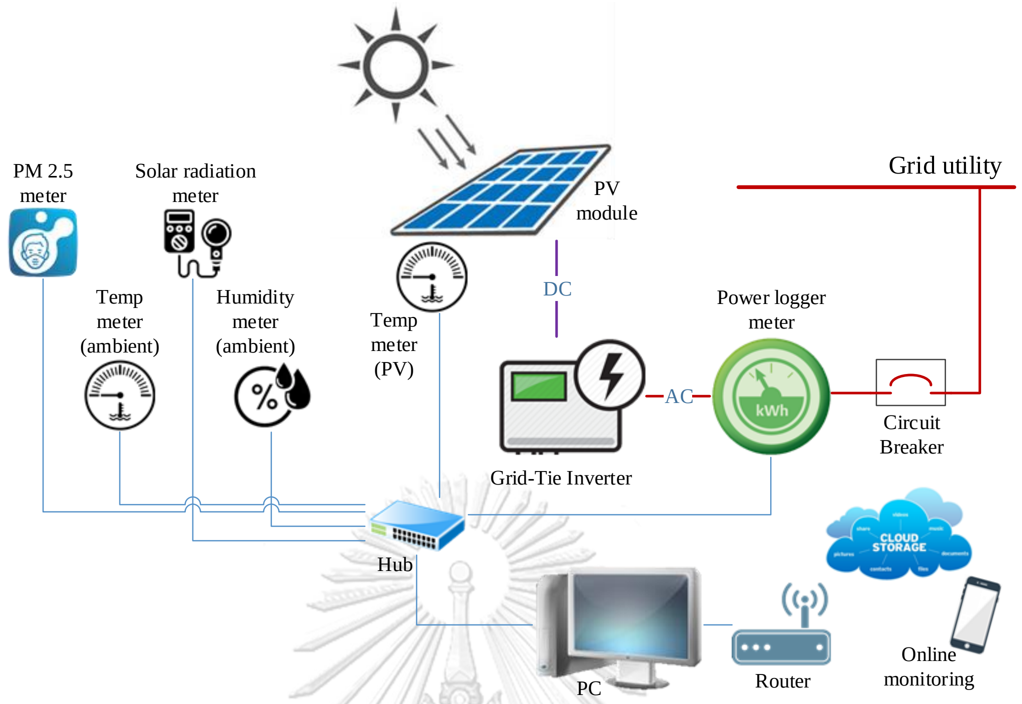
- Rated maximum power (Pmax) 250W
- Current at Pmax (Imp) 8.35A
- Voltage at Pmax (Vmp) 29.94 V
- Short-circuit current (Isc) 8.92A
- Open-circuit voltage (Voc) 37.65V
- Nominal operating cell temperature (TNOCT) 48°C ± 2°C

- Operating temperature -40°C to +85°C
- Polycrystalline type

2.2) อินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับสายส่ง (Grid-Tie Power Inverter) ผลิตภัณฑ์จาก MK power รุ่น MK-250G ซึ่งมีคุณสมบัติทางเทคนิค ดังนี้

- Normal AC output power 225W
- Maximum AC output power 250W
- AC output voltage range 180 to 260 VAC
- Total harmonic distortion (THD) < 5%
- Power factor 0.99, DC input voltage range 22V to 60V
- Peak efficiency 92%
- Pure sine waveform

ภาพที่ 23 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง



ภาพที่ 24 ไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและเครื่องมือวัด

3.2.2 การพัฒนาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์

จากการคำนวณหาขนาดของกำลังผลิตติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบปกติซึ่งสามารถคำนวณเบื้องต้นจากค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบในแต่ละวัน ค่าการแผ่รังสีมาพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งโลกต่อวัน รวมถึงปัจจัยคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์ ทั้งนี้สมการดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมถึงตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ด้วยเหตุนี้จึงต้องพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนี จากนั้นดำเนินการพัฒนาสมการหาขนาดของกำลังการผลิตติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และนำสมการที่ได้รับการปรับปรุงนี้ไปทดสอบผลลัพธ์ต่อไป รายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

3.2.2.1 การพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนี Ambient temperature และ PM 2.5

การนำผลการทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้ามาพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature) และดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) โดยแทนค่าพารามิเตอร์ในสมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากผลการทดลองในขั้นตอนก่อนหน้าซึ่งเป็นการวิเคราะห์สถิติด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง จากนั้นทำการหาค่าดัชนี ดังนี้

1) ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) ทำการแทนค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C) ในสมการทำนาย ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่นที่ต้องการควบคุมกำหนดให้มีค่าคงที่ ได้แก่ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (SR) ค่าอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ (PVT) และค่าฝุ่นละอองในอากาศ (PM2.5) โดย

นำค่าเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละวันของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) ตลอดระยะเวลาการทดลองมากำหนดเป็นค่าพิสัยของพารามิเตอร์ จากนั้นแทนค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นทุก 0.1 องศาเซลเซียล เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์พลังงานที่ผลิตได้ ค่าพลังงานที่ลดลง และร้อยละที่ลดลง และเทียบเป็นค่าดัชนี จากนั้นแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของตาราง และกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง

2) ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) ทำการแทนค่าพารามิเตอร์ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ($\mu g/m^3$) ในสมการทำนาย ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่นที่ต้องการควบคุมกำหนดให้มีค่าคงที่ ได้แก่ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (SR) ค่าอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ (PVT) และค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) โดยนำค่าเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละวันของค่าฝุ่นละอองในอากาศ (PM) ตลอดระยะเวลาการทดลองมากำหนดเป็นค่าพิสัยของพารามิเตอร์ จากนั้นแทนค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นทุก 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์พลังงานทที่ผลิตได้ ค่าพลังงานที่ลดลง และร้อยละที่ลดลง และเทียบเป็นค่าดัชนี จากนั้นแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของตาราง และกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง

3.2.2.2 การพัฒนาสมการการออกแบบใหม่

จากสมการสำหรับการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แบบปกติซึ่งประกอบด้วย 4 ตัวแปร และจากข้อค้นพบเกี่ยวกับปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า จนนำมาสู่การพัฒนาดัชนีใหม่ จำนวน 2 ปัจจัย คือ AMT index และ PM index ผู้วิจัยจึงดำเนินการปรับปรุงสมการแบบปกติให้อยู่ในรูปใหม่ด้วยการผนวกดัชนีข้างต้นเข้าร่วมคำนวณ จนนำมาสู่สมการออกแบบขนาดของระบบที่สอดคล้องกันแนวคิดในการเผื่อขนาดการติดตั้งที่พลังงานไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จะถูกลดทอนจากปัจจัยแวดล้อม

3.2.2.3 การทดสอบสมการคำนวณขนาดระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาใหม่

ดำเนินการทดสอบสมการใหม่เทียบกับสมการแบบปกติว่าผลลัพธ์การคำนวณนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการจำลองค่าของตัวแปรในแต่ละระดับเข้าแทนที่สมการและทำการคำนวณผลลัพธ์ออกมา จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ด้วยสถิติการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มไม่อิสระต่อกัน (Paired Sample t-test) จากนั้นแสดงผลในรูปแบบของตารางและกราฟเปรียบเทียบ

3.2.3 การสร้างและรวบรวมฐานข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์หลักในระบบโซล่าเซลล์

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ประเภทเชื่อมต่อกับระบบ (Gird connected) นอกจากผลิตพลังงานไฟฟ้าและใช้เองในอาคารที่ติดตั้งแล้วนั้น ยังต้องเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าหลัก เช่น การไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการให้บริการ ด้วยเหตุนี้หน่วยงานการไฟฟ้าจึงกำหนดให้อุปกรณ์ที่จะนำมาเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก ต้องมีมาตรฐาน มีความน่าเชื่อถือ และมีความปลอดภัย ทั้งต่อระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าเองและของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผู้ใช้บริการติดตั้งและเชื่อมโครงข่าย ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ และแผงโซล่าเซลล์ที่นำมาใช้งานในระบบ Gird Connected ต้องได้รับการรับรองและอยู่ในบัญชีรายชื่อผลิตภัณฑ์ซึ่งจะปรากฏยี่ห้อ รุ่น พิกัด ตามที่หน่วยงานการไฟฟ้าประกาศเท่านั้นจึงสามารถขออนุญาตเชื่อมต่อกับระบบได้

3.2.3.1 แผงโซล่าเซลล์ (Photovoltaic Module)

การเลือกใช้แผงโซล่าเซลล์เป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากในการคัดเลือกอุปกรณ์หลัก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้เพื่อประสิทธิภาพสูงที่สุดในการแปรเปลี่ยนพลังงานจากธรรมชาติไปสู่พลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้เพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย และความเสียหายอย่างอื่นที่ตามมา

มาตรฐานการเลือกใช้แผงโซล่าเซลล์ส่วนใหญ่มักอ้างอิงจากต่างประเทศ และนำมากำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับการเลือกผลิตภัณฑ์ในการติดตั้ง มักจะพิจารณาถึงผลการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 61215 หรือ มอก.1843 ซึ่งกำหนดไว้สำหรับการทดสอบแผงโซล่าเซลล์ชนิด Crystalline ส่วนแผงประเภท Thin flim จะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61646 หรือ มอก.2210 รวมถึงการทดสอบ Potential induced degradation (PID) ที่กำหนดตามมาตรฐาน IEC 62804 ส่วนความปลอดภัยจะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61730-2 หรือ มอก.2580-2

ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์ที่จะสามารถนำมาประกอบเป็นระบบและขอเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้าได้นั้นจะต้องผ่านมาตรฐานข้างต้น ซึ่งได้ต้องได้รับการทดสอบและมีรายงานผลการทดสอบจากสถาบันทดสอบที่เป็นกลางและได้รับการรับรองมาตรฐานห้องทดสอบ ISO/IEC 17025 จากห้องทดสอบที่ MEA หรือ PEA ยอมรับ

3.2.3.2 อินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบผู้ให้บริการไฟฟ้า (Grid Tie Inverter)

การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น เนื่องจากเป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นกระแสสลับที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานทั้งในด้านแรงดัน ความถี่ และจำนวนเฟส การเลือกอุปกรณ์ดังกล่าวนอกจากให้มีความสอดคล้องกับขนาดติดตั้งของระบบแล้วนั้น ยังต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพเพื่อลดความสูญเสีย การคำนึงถึงความปลอดภัยและความเสียหายอย่างอื่นที่ตามมาในระบบฯ

มาตรฐานการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับสายส่ง (Grid connected inverter) ส่วนใหญ่มักอ้างอิงจากต่างประเทศ และนำมากำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับการเลือกผลิตภัณฑ์ในการติดตั้ง โดยพิจารณาถึงผลการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62920 ว่าด้วยการทดสอบสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC testing) ส่วนความปลอดภัยในการใช้งานจะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62109 รวมถึงการรับรองประสิทธิภาพซึ่งสำคัญต่อการเลือกใช้งาน ซึ่งค่ามาตรฐานดังกล่าวต้องผ่านการทดสอบและรับรองตาม IEC 61683 หรือ EN 50530

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์ที่จะสามารถนำมาประกอบเป็นระบบและขอเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้าได้นั้นจะต้องผ่านมาตรฐานข้างต้น ซึ่งต้องได้รับการทดสอบและมีรายงานผลการทดสอบจากสถาบันทดสอบที่เป็นกลางและได้รับการรับรองมาตรฐานห้องทดสอบ ISO/IEC 17025 จากห้องทดสอบที่ MEA หรือ PEA ยอมรับ

3.2.4 การศึกษาและกำหนดตัวแบบประเมินทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

สำหรับแบบเบื้องต้นที่ถูกออกแบบไว้รวมถึงบริภัณฑ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดทางการเงิน ได้แก่ วิธีอัตราผลตอบแทนถั่วเฉลี่ย (ARR) วิธีผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) วิธีระยะเวลาคืนทุน (PB) วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และวิธีดัชนีการทำกำไร (PI) โดยต้นทุนอุปกรณ์ของระบบ ต้นทุนในการดำเนินงาน รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ผู้วิจัยจะอ้างอิงตามราคาท้องตลาดและข้อมูลจากเอกสารเสนอราคาจากผู้จำหน่าย กรณีที่ผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์ ข้อมูลจะถูกย้อนกลับเพื่อปรับแก้ในขั้นตอนการออกแบบและคัดเลือกบริภัณฑ์รวมถึงอุปกรณ์ส่วนควบอีกครั้ง เพื่อให้สอดคล้องตามเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องและตามความต้องการของผู้ใช้งาน และกรณีที่ผลการประเมินผ่านเกณฑ์จะสามารถทราบรายละเอียดสำหรับการสร้างเอกสารการออกแบบฉบับสมบูรณ์และข้อเสนอโครงการ (Final design and project proposal) ต่อไป

3.3 ระยะที่ 3 การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ การพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบใช้งาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพ

การศึกษาในระยะที่ 3 มุ่งเน้นศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะที่สำคัญเพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ ผ่านกระบวนการพัฒนาผลิตใหม่ (NPD) รวมถึงการทดสอบการใช้งานซอฟต์แวร์การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.1 การศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม

ดำเนินการศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะที่สำคัญต่อการออกแบบผลิตพลังงานด้วยแสงอาทิตย์ รวมถึงประสบการณ์การใช้งาน และข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงศึกษาแนวคิด ทฤษฎี คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันและแนวโน้มการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อประโยชน์ต่อการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ ให้ตรงกับความต้องการใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย โดยผู้วิจัยทำการศึกษาเชิงคุณภาพ (Qualitative research) เพื่อทราบความต้องการใช้งานและคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของซอฟต์แวร์ช่วยการคำนวณระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยรายละเอียดมีดังนี้

3.3.1.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาในเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ด้วยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth interview) เพื่อทราบความต้องการใช้งาน รวมถึงคุณลักษณะที่สำคัญอันพึง

ประสงค์ของซอฟต์แวร์หรือเครื่องมือในการช่วยคำนวณ ประสบการณ์ทั้งในเชิงบวกและลบต่อการใช้งานดังกล่าว และข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน รวมถึงแนวคิดที่มีประโยชน์ในการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

3.3.1.2 ผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ

การศึกษาในขั้นตอนนี้กำหนดและคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ (Key informant) จำนวน 10 ท่าน โดยพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญด้านใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง ผลงานในการออกแบบหรือควบคุมการติดตั้งระบบฯ ที่ผ่านมา รวมถึงปฏิบัติงานในองค์กรที่มีความน่าเชื่อถือ จากเกณฑ์เหล่านี้จึงคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญเช่นเดียวกับการศึกษาในระยะที่ 1 โดยมีผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ ดังนี้

1) วิศวกรที่ปรึกษาด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป มีประสบการณ์ด้านการออกแบบระบบฯ หรือควบคุมการติดตั้ง ไม่น้อยกว่า 3 ปี และมีผลงานการออกแบบระบบฯ หรือควบคุมการติดตั้ง ขนาดพิกัดไม่ต่ำกว่า 500 kW ไม่น้อยกว่า 5 ผลงาน จากบริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด (มหาชน)

2) วิศวกรชำนาญการด้านการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป มีประสบการณ์ด้านการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบฯ ไม่น้อยกว่า 3 ปี และมีผลงานการติดตั้งและบำรุงรักษา ขนาดพิกัดไม่ต่ำกว่า 100 kW ไม่น้อยกว่า 5 ผลงาน จากบริษัทที่อยู่ในบัญชีรายชื่อของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (ERC)

3) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การไฟฟ้านครหลวง จำนวน 2 ท่าน เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีตำแหน่งผู้อำนวยการขึ้นไป ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง หรือการตรวจสอบรับรองระบบฯ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ปี

4) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก บริษัท พีอีเอ เอ็นคอม อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด โดยเป็นองค์กรชั้นนำด้านการให้บริการออกแบบติดตั้งระบบโซล่าเซลล์แบบครบวงจร โดยเป็นหน่วยธุรกิจจดทะเบียนเป็นบริษัทจำกัด ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จำนวน 2 ท่าน โดยเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีตำแหน่งผู้อำนวยการขึ้นไป ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง หรือการตรวจสอบรับรองระบบฯ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ปี

5) ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 2 ท่าน เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม

ควบคุมสาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง ซึ่งมีตำแหน่งผู้อำนวยการขึ้นไป ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การติดตั้ง หรือการตรวจสอบรับรองระบบฯ และมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ปี

3.3.1.3 การดำเนินการสัมภาษณ์

1) หากกรณีระหว่างสัมภาษณ์ ผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญที่กำหนดไว้ข้างต้นมีภารกิจหรือมีความจำเป็นที่ทำให้การเก็บข้อมูลหยุดยุติลง โดยที่ผู้วิจัยยังเก็บข้อมูลไม่ครบถ้วนตามที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยจะพิจารณาเลือกผู้ให้ข้อมูลคนใหม่และดำเนินการเก็บข้อมูลจนแล้วเสร็จ โดยพิจารณาคุณสมบัติผู้ให้ข้อมูลคนใหม่ ที่สอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในคุณสมบัติผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ (ข้อ 3.3.1.2 (1)-(5) ตามแต่ละกรณี)

2) การติดต่อผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ ผู้วิจัยจะโทรศัพท์ถึงผู้ให้ข้อมูลเพื่อขออนุญาตก่อนในเบื้องต้น หากได้รับความร่วมมือในการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยจะขอเอกสารขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์จากหลักสูตรสหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม และนำส่งเอกสารไปยังหน่วยงานที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งประกอบด้วยหนังสือขอความอนุเคราะห์ฯ และเอกสารสารระบุคุณสมบัติของผู้ให้ข้อมูลเพื่อหน่วยงานจะได้ทำการคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมสำหรับการสัมภาษณ์

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured) ซึ่งผ่านการพัฒนาแบบสัมภาษณ์ด้วยการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในแขนงที่เกี่ยวข้อง ทั้งด้านวิศกรรมไฟฟ้า ด้านการบริหารจัดการ เป็นต้น จากผลของการตรวจและปรับแก้จนได้แบบสัมภาษณ์ฉบับสมบูรณ์ และนำมาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเก็บรวมรวมข้อมูลในครั้งนี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยใช้เครื่องมืออื่นประกอบ ได้แก่ สมุดจดบันทึก เครื่องบันทึกเสียง กล้องถ่ายภาพ (ขออนุญาตก่อนทำการบันทึก) โดยมีผู้ช่วยนักวิจัย ช่วยเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ 1 คน ที่มีประสบการณ์ในการสัมภาษณ์และมีพื้นฐานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อดำเนินการจดบันทึกข้อความ การบันทึกเสียงและถ่ายภาพ รวมถึงถอดความจากการสัมภาษณ์ในครั้งนี้ โดยผู้ช่วยนักวิจัยจะต้องได้รับการอบรมและให้รายละเอียดเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลในครั้งนี้จากผู้วิจัยก่อนออกปฏิบัติงาน

4) ในระหว่างการสัมภาษณ์หากพบว่าข้อมูลทางเทคนิคบางประการซึ่งเป็นความลับของผู้ให้ข้อมูลหรือของหน่วยงาน หรือเกิดความรู้สึกอึดอัดไม่สบายใจกับบางคำถาม ผู้ให้ข้อมูลมีสิทธิ์ที่จะไม่ตอบคำถามเหล่านั้นได้ รวมถึงสิทธิ์ยุติการให้สัมภาษณ์ได้ทันที

5) ข้อมูลที่บันทึกได้จะนำมาวิเคราะห์สรุปอุปนัย (Analytic Induction) จนได้ข้อสรุปถึงขั้นตอนและเทคนิควิธีในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์หลัก อุปกรณ์ประกอบระบบ รวมถึงแนวทางการออกแบบติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่

6) ข้อมูลส่วนตัวของผู้ให้ข้อมูลจะถูกเก็บรักษาไว้และไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยรายงานผลการวิจัยจะมีลักษณะอภิปรายเป็นภาพรวม

3.3.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured) เพื่อให้ผู้ให้ข้อมูลหลักได้มีอิสระในการถ่ายทอดข้อมูลอันมีประโยชน์ในรูปแบบของตนเอง ทั้งนี้หากพบว่าข้อมูลบางส่วนที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ยังได้รับไม่ครบถ้วน ผู้วิจัยจะสอบถามในประเด็นดังกล่าว เพื่อให้ได้รับข้อมูลอย่างครบถ้วนเพียงพอ สำหรับการนำมาวิเคราะห์เนื้อหาจนทราบข้อสรุปถึงปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต่อไป

3.3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบและประเมิน

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์บน Cloud Computing ในรูปแบบของระบบ PaaS (Platform as a Service) ซึ่งผู้ให้บริการระบบจะเตรียมพื้นฐานต่าง ๆ เช่น Hardware, Software, และ Command set หรือเรียกว่า Platform ซึ่งอำนวยความสะดวกต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์ในด้านเวลาและต้นทุนในการดำเนินงาน การเขียนโปรแกรมจะเลือกใช้ภาษา Java หรือ Python ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถอำนวยความสะดวกในการออกแบบ และผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

3.3.3 การทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์

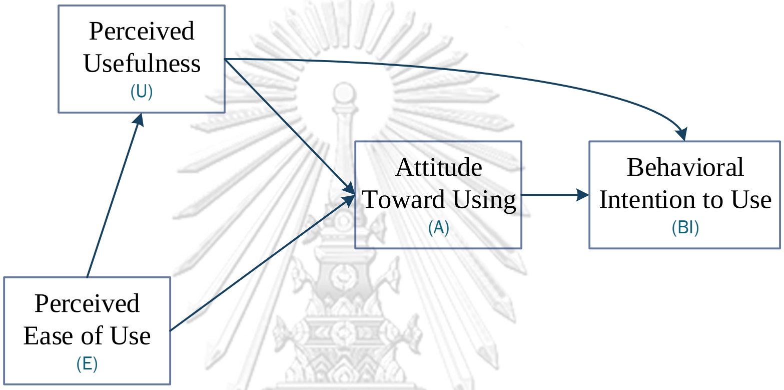
ในการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเชิงพื้นที่ กับกลุ่มตัวอย่างเป้าหมาย ได้แก่ วิศวกร ช่างเทคนิค บริษัทรับติดตั้ง และผู้ที่สนใจระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ โดยมุ่งเน้นการทดสอบการรับรู้คุณค่าการใช้งานใหม่ ความง่ายต่อการใช้งาน ความน่าเชื่อถือ เสถียรภาพ และผลลัพธ์จากการทดลองใช้งาน ทั้งนี้ข้อมูลในการทดสอบจะนำมาใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพและคุณค่าของซอฟต์แวร์นวัตกรรมการออกแบบและประเมินฯ ให้มีความสมบูรณ์ต่อไป

ผลการดำเนินงานตามระยะที่ 3 จะทำให้รูปแบบให้บริการออกแบบฯ ระบบโซล่าเซลล์แบบเดิมที่มีลักษณะแบบแมนนวลและออฟไลน์ จะพัฒนาไปสู่การให้บริการรับ-ส่ง บูรณาการข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องนำมาประมวลผลภายใต้เงื่อนไขตามมาตรฐานวิศวกรรม ศักยภาพเชิงพื้นที่ การตัดสินใจเลือกบริภัณฑ์หลักและบริภัณฑ์ส่วนควบที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม รวมถึงการประมวลผลบนระบบปฏิบัติการ Windows ทั้งนี้เพื่อการลดขั้นตอน ลดระยะเวลา เพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์และตัดสินใจ

3.4 ระยะที่ 4 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

3.4.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

จากซอฟต์แวร์นวัตกรรมซอฟต์แวร์ประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่ผ่านการทดสอบและพัฒนาแล้วข้างต้น นำมาทดสอบการยอมรับเทคโนโลยีกับกลุ่มตัวอย่าง โดยการนำแบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (Technology acceptance model: TAM) ที่พัฒนาขึ้นโดย Davis et al. (1989) มาใช้เป็นกรอบในการทดสอบและพยากรณ์พฤติกรรมของผู้ใช้งานต่อซอฟต์แวร์นวัตกรรมประเมินประสิทธิภาพฯ ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM)
ที่มา: ดัดแปลงจาก Davis et al. (1989)

กระบวนการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในครั้งใช้สถิติวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งมีการกำหนดรายละเอียดที่สำคัญต่อการดำเนินการวิจัย ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.1.1 รูปแบบดำเนินการวิจัย

เป็นการศึกษาในเชิงปริมาณ (Quantitative research) ด้วยวิธีเชิงสำรวจ (Exploratory study) และใช้สถิตเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1.2 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรสำหรับการทดสอบการยอมรับซอฟต์แวร์ กำหนดเฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ ทั้งในกลุ่มผู้ที่เคยใช้งานในโปรแกรมอื่นมาก่อน ผู้ที่ไม่เคยใช้งานโปรแกรมแต่ใช้วิธีการคำนวณด้วยมือ และผู้ที่อยู่ในกลุ่มที่มีแนวโน้มจะเป็นเป้าหมายที่จะใช้งานซอฟต์แวร์ในอนาคต โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ราย ซึ่งผู้วิจัยต้องการข้อมูลที่มาวิเคราะห์มีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงกับโค้งปกติ ซึ่งควรมีตัวอย่างจำนวนมากกว่า 30 ตัวอย่างขึ้นไปจะมีคุณลักษณะตามเกณฑ์นี้

3.4.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ครั้งนี้คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) ที่พัฒนาจากกรอบแนวคิดแบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ของ Davis et al. (1989) และซอฟต์แวร์การออกแบบและประเมินฯ ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น โดยให้กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งานซอฟต์แวร์ฯ จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามที่จัดเตรียมไว้ โดยแบ่งตอนของแบบสอบถามตามหัวข้อหลักของตัวแบบ TAM รวมถึงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่

ส่วนที่ 1 การรับรู้ถึงประโยชน์ของระบบ (Perceived usefulness)

ส่วนที่ 2 ความง่ายในการใช้งาน (Perceived ease of use)

ส่วนที่ 3 ทัศนคติต่อการใช้งาน (Attitude toward using)

ส่วนที่ 4 ความต้องการใช้งานระบบ (Behavioral intention to use)

ส่วนที่ 5 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

3.4.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ข้อมูลที่รวบรวมได้นำเข้าสู่โปรแกรม SPSS เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะข้อมูลตามข้อตกลงเบื้องต้น (Basic assumption)

2) การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาณ (Inferential statistic) จนได้ข้อสรุปด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ของซอฟต์แวร์นวัตกรรมการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพฯ ที่สร้างขึ้น

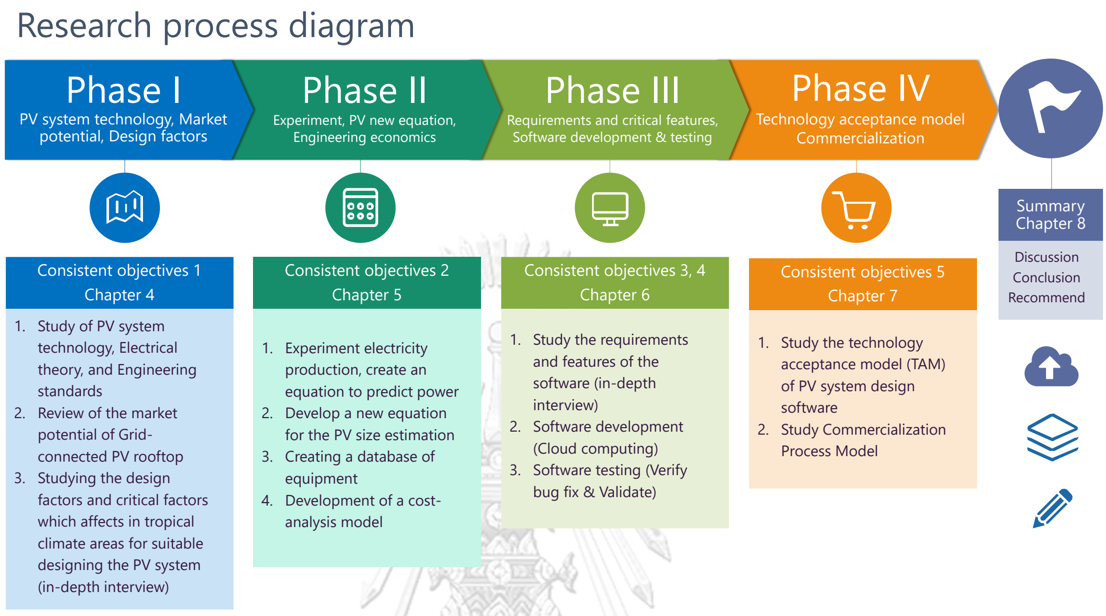
3.4.2 การพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

เพื่อวางแผนเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมของซอฟต์แวร์นวัตกรรมการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพฯ ก่อนการนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ เพื่อให้ *"นวัตกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า"* เป็นที่ต้องการและยอมรับของกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ วิศวกร ช่างเทคนิค บริษัทรับติดตั้ง และผู้ที่สนใจระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ รวมถึงการนำนวัตกรรมออกสู่ตลาดในเชิงพาณิชย์ (Commercialization) ได้อย่างเหมาะสมและอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยจะทำการสร้างโมเดลธุรกิจ (Business model) เพื่อเห็นภาพรวมทั้งหมดของธุรกิจได้ และลดจุดอ่อนในแต่ละส่วนที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างดำเนินธุรกิจ ด้วยเครื่องมือ Business Model Canvas (BMC) ของ Osterwalder and Pigneur (2010) เพื่อช่วยในการออกแบบโมเดลทางธุรกิจที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นี้ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

จากวิธีดำเนินการวิจัยข้างต้น (ระยะที่ 1-4) สามารถเขียนแผนผังเพื่ออธิบายลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในภาพรวม ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

3.6 สรุปความเกี่ยวข้องของวิทยานิพนธ์กับ เทคโนโลยี นวัตกรรม และการจัดการ

3.6.1 Technology: New Design and Evaluation

การออกแบบระบบผสานหลักวิศวกรรม (Engineering standard) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (GIS) ความเข้มแสงเชิงพื้นที่ (GSA) สภาวะอากาศแวดล้อม คุณภาพของอากาศ รวมถึงคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ของอุปกรณ์และผลิตภัณฑ์สำหรับประกอบเป็นระบบ โดยการสร้างสมการเพื่อการคำนวณหาขนาดของระบบโซล่าเซลล์ที่ต้องติดตั้งอย่างเหมาะสมตามปัจจัยสภาวะแวดล้อม การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economic) รวมถึงการสร้างเอกสารข้อเสนอเบื้องต้น (Preliminary proposal) เพื่อนำเสนอรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสม สำหรับระบบผลิตพลังงานแบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) รวมถึงโอกาสในการเป็นผู้จำหน่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เอง เข้าสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3.6.2 Innovation: Product Innovation

การเปลี่ยนรูปแบบให้บริการออกแบบและประเมินระบบโซล่าเซลล์แบบเดิมที่มีลักษณะแมนนวลและออฟไลน์เพื่อการคำนวณออกแบบระบบฯ ไปสู่การนำเข้าข้อมูลแบบอิเล็คทรอนิคโดย

ผู้ใช้งาน การเรียกใช้ข้อมูลทุติยภูมิระบบสารสนเทศ อาทิภูมิศาสตร์ (GIS) ความเข้มแสงเชิงพื้นที่ (GSA) อย่างอัตโนมัติจากฐานข้อมูลของระบบ และบูรณาการสารสนเทศข้างต้นเพื่อประมวลผลร่วมกับซอฟต์แวร์สำหรับช่วยตัดสินใจ โดยให้บริการผ่านระบบปฏิบัติการ Windows เพื่อการลดขั้นตอน ลดระยะเวลา เพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์และตัดสินใจในการออกแบบและประเมินระบบฯ

3.6.3 Management: Commercial plan

แผนสำหรับการนำนวัตกรรมการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพฯ และการทดสอบการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ วิศวกร ช่างเทคนิค บริษัทรับติดตั้ง และผู้ที่สนใจระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้อย่างเหมาะสมและมีความยั่งยืน

3.7 สรุปขั้นตอนและแผนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยกำหนดแผนการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนเพื่อให้กิจกรรมต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องและสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดได้ ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลาการดำเนินงาน											
	ก.ย. 62	ต.ค. 62	พ.ย. 62	ธ.ค. 62	ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63	เม.ย 63	พ.ค. 63	มิ.ย. 63	ก.ค. 63	ส.ค. 63
1. ทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาและสร้างแบบสำรวจข้อมูลความต้องการใช้												
2. ศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า												
3. ขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน ครั้งที่ 1 (แบบสัมภาษณ์)												
4. ศึกษาเชิงคุณภาพ ด้วยการสัมภาษณ์เจาะลึกเพื่อทราบปัจจัยการออกแบบ เทคนิควิธีการเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบในระบบ (บทที่ 4)												

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิจกรรม	ระยะเวลาการดำเนินงาน											
	ก.ย. 62	ต.ค. 62	พ.ย. 62	ธ.ค. 62	ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63	เม.ย 63	พ.ค. 63	มิ.ย. 63	ก.ค. 63	ส.ค. 63
5. นำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ (Conference)					★							
6. การทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้า การพัฒนาสมการออกแบบ การทำฐานข้อมูลอุปกรณ์ และการกำหนดตัวแบบเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (บทที่ 5)							▬	▬	▬	▬		
7. ส่งบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ (Journal)								★				
8. การศึกษาคุณลักษณะสำคัญการพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบและปรับปรุง (บทที่ 6)										▬	▬	
9. ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ (TAM) และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ (บทที่ 7)											▬	
10. การสรุปและอภิปรายผล (บทที่ 8)											▬	▬
11. สอบป้องกันวิทยานิพนธ์												★
12. ส่งวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์												★

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.8 สรุปวัตถุประสงค์ การดำเนินงาน และเครื่องมือที่ใช้

ตารางที่ 5 สรุปวัตถุประสงค์ การดำเนินงาน และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการทำวิจัย	เครื่องมือ/การดำเนินงาน
1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด และปัจจัยการออกแบบและประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์	ระยะที่ 1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ศักยภาพทางการตลาด และปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ (บทที่ 4) 4.1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ทฤษฎีด้านไฟฟ้าและมาตรฐานทางวิศวกรรม 4.2 การศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า 4.3 การศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา	1. การศึกษาข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ 2. การศึกษาข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ 3. Qualitative research (In-depth interview)
2. เพื่อพัฒนากระบวนการประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสม และผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น	ระยะที่ 2 การพัฒนาแนวคิดการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ (บทที่ 5) 5.1 การทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์และสร้างสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม 5.2 การพัฒนาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิต	1. การทดลองและเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการทำวิจัย	เครื่องมือ/การดำเนินงาน
	ติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์ 5.3 การสร้างและรวบรวมฐานข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์หลักในระบบโซล่าเซลล์ 5.4 การศึกษาและกำหนดตัวแบบประเมินทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	2. การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง 3. การศึกษาข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ 4. การคำนวณดัชนีทางด้านการเงิน
3. เพื่อศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์การประเมินประสิทธิภาพที่เหมาะสม ซึ่งบูรณาการสมการคำนวณกับข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องมาตรฐานวิศวกรรม เพื่อให้มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	<u>ระยะที่</u> 3 การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ การพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบใช้งาน และปรับปรุงประสิทธิภาพ 6.1 การศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม 6.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า	1. การศึกษาเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ด้วยการสัมภาษณ์เจาะลึก (In-depth interview) 2. การเขียนซอฟต์แวร์ ด้วยภาษา PHP และระบบจัดการฐานข้อมูลด้วย MySQL ซึ่งทำงานบนเว็บแอพพลิเคชั่น (Web Application)

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนในการทำวิจัย	เครื่องมือ/การดำเนินงาน
4. เพื่อทดสอบการใช้งาน ความเที่ยงตรง และปรับปรุงประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบฯ	6.3 การทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า	- การทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานและปรับปรุงให้เหมาะสม
5. เพื่อทดสอบการยอมรับซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า	<u>ระยะที่</u> 4 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ 7.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ (TAM)	- Quantitative research: STAT by SPSS program
6. เพื่อพัฒนาการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับซอฟต์แวร์การประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า	7.2 การพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์	- การศึกษาข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิเพื่อพัฒนาโมเดลธุรกิจ และกำหนดแผนธุรกิจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การศึกษาเทคโนโลยีโซล่าเซลล์ ศักยภาพการตลาด และปัจจัยการออกแบบ

สำหรับการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจระบบของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จึงมีความจำเป็นที่ต้องทราบถึงแนวคิด ทฤษฎี ด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อความเข้าใจอย่างรอบด้านในพื้นฐานการทำงานของระบบโซล่าเซลล์สำหรับผลิตไฟฟ้า รวมถึงเป้าหมายของการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมองหากลุ่มเป้าหมายและศักยภาพทางการตลาดที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต นอกจากนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยสำคัญที่อาจมองข้ามไปในการออกแบบระบบซึ่งติดตั้งในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ดังเช่นประเทศไทย ผู้วิจัยจึงเรียบเรียงเนื้อหาหลักสำหรับบทนี้ ประกอบด้วย

4.1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ทฤษฎีด้านไฟฟ้าและมาตรฐานทางวิศวกรรม

4.2 การศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

4.3 การศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา

4.1 การศึกษาเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ ทฤษฎีด้านไฟฟ้าและมาตรฐานทางวิศวกรรม

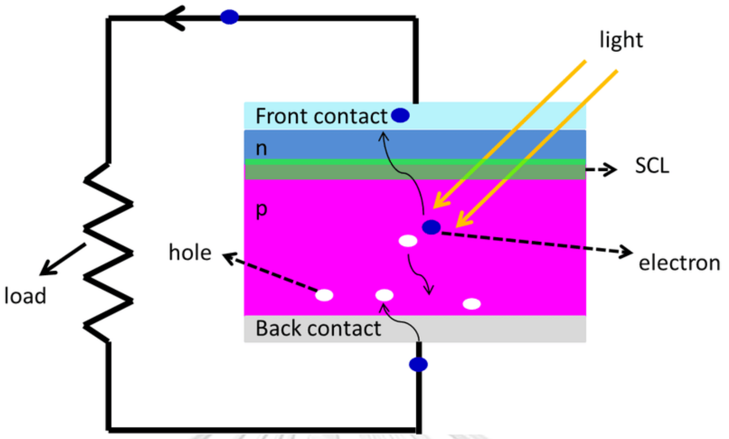
4.1.1 การศึกษาเทคโนโลยีของระบบโซล่าเซลล์

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องทั้งส่วนหลักของระบบคือแผงโซล่าเซลล์ (PV module) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนรังสีจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในระบบแรงดันตรง (DC) จากแรงดันและกระแสที่ผลิตได้ป้อนเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำหน้าที่แปลงแรงดันกระแสตรง (Vdc) สู่แรงดันกระแสสลับ (Vac) ซึ่งส่วนใหญ่จะปรับแรงดันขาออกให้สูงขึ้นและเหมาะกับการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้งาน โดยอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดข้างต้นนับว่าเป็นส่วนสำคัญของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

4.1.1.1 แผงโซล่าเซลล์ (PV module)

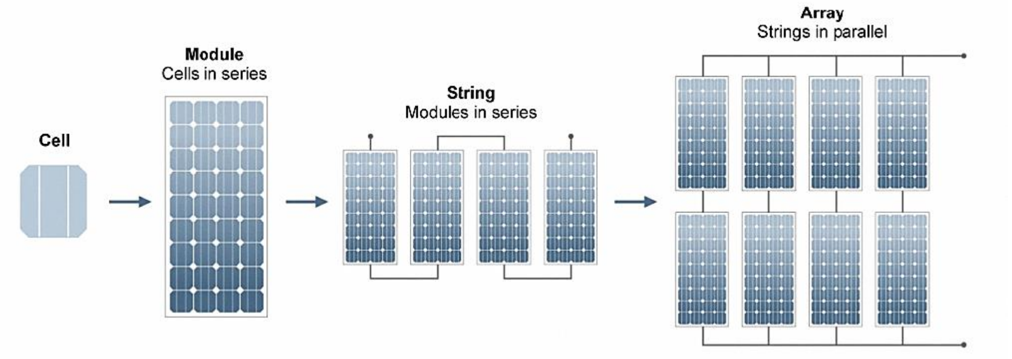
การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยหลักการ Photovoltaic effect หรือ PV ซึ่งอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นจากหลักการนี้คือ โซล่าเซลล์ (Solar cell) ซึ่งเมื่อแสงตกกระทบแผงโซล่าเซลล์จะดูดซับประจุจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมา แนวคิดดังกล่าวเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1839 โดย Alexandre Edmond Becquerel สังเกตว่าเมื่อแสงตกกระทบบนเซลล์ที่สร้างขึ้นจากอิเลคโทรไลท์จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น จากนั้นอีกราว 50 ปีต่อมา Charles Fritts ได้คิดค้น Photovoltaic Cell ขึ้นเป็นครั้งแรกด้วยการใช้สาร Selenium และแผ่นทองคำขนาดบางเป็นชั้นซ้อนทับกัน จุดเริ่มต้นนี้ยังเป็นสิ่งที่ไม่สามารถใช้ในเชิงพาณิชย์ได้เพราะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 1% ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 กลุ่มนักวิจัยชาวอเมริกัน Daryl Chapin, Calvin

Fuller และ G.L. Pearson ในห้องทดลอง Bell Laboratory ได้ผลิตโซล่าเซลล์ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 6% เพื่อการใช้งานในดาวเทียมในอวกาศ จากจุดเริ่มแรกของการพัฒนาโซล่าเซลล์จนมาถึงปัจจุบัน มีการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีวัสดุ รวมถึงการพัฒนาเทคนิคในการผลิตอย่างต่อเนื่องจนทำให้ประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์สูงขึ้นและราคาที่เหมาะสมกว่าในอดีต ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงและเกิดการไฟล์ของกระแสไฟฟ้า
ที่มา: Abass (2014)

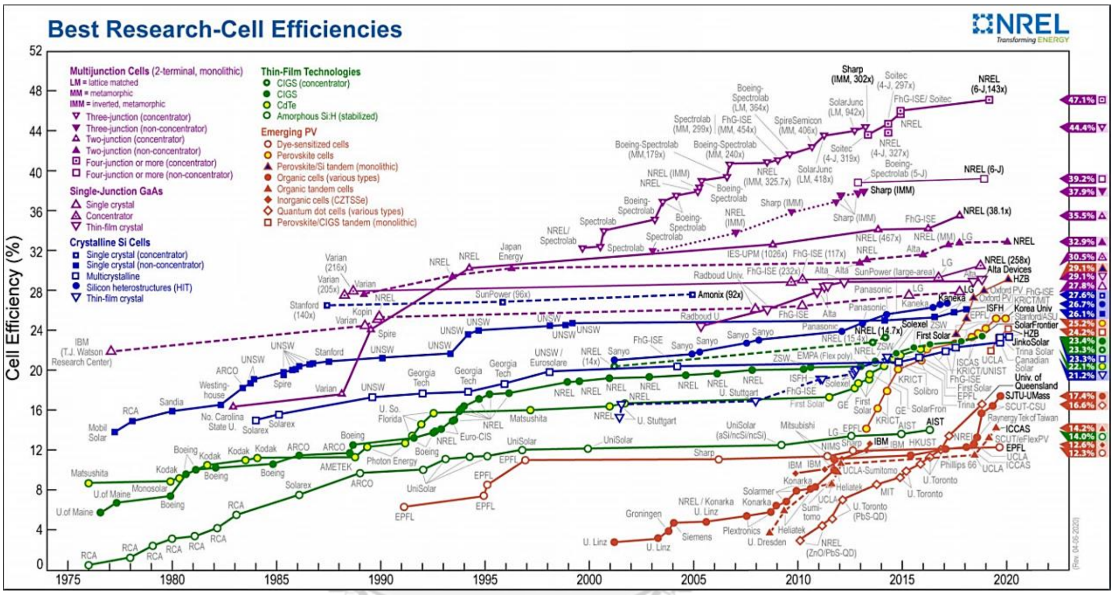
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2562) ได้อธิบายถึงการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์ให้มีปริมาณมากขึ้น ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การที่จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจึงนำโซล่าเซลล์ (Solar Cell) มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยมีลักษณะเป็นแผงเรียกว่าโซล่าโมดูล (Solar module) จะจากโมดูลหลาย ๆ โมดูลนำมาต่อกันแบบอนุกรมจะเรียกว่าสตริง (String) และถัดมาคือการนำสตริงมาต่อขนาดกันซึ่งเรียกว่าอาร์เรย์ (Array) การต่อลักษณะนี้จะสามารถขยายระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 PV cell, module, panel and array
ที่มา: Amigó (2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับเทคโนโลยีของโซล่าเซลล์ที่นิยมอย่างแพร่หลายอาจจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ชนิดที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิกอน (Silicon Semiconductor) และชนิดที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม (Compound Semiconductor) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนจะถูกแบ่งย่อยออกได้เป็นแบบสารกึ่งตัวนำเป็นผลึก (Crystal) และไม่เป็นผลึก (Amorphous) โดยในท้องตลาดที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์มี 3 ชนิด อันเป็นที่นิยมคือ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) และฟิล์มบาง (Thin film) ส่วนบางเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงมากกว่าแต่ยังไม่แพร่หลายนักเป็นเพราะเรื่องของราคาที่สูงหลายเท่าตัวดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 Best Research-Cell Efficiency Chart
ที่มา: NREL (2019)

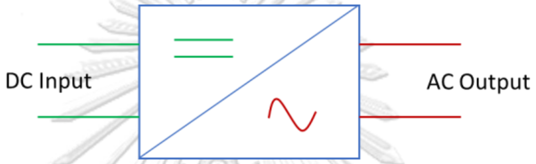
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภาพข้างต้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์ในแต่ละชนิดของวัสดุตั้งต้น และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ซึ่งจะพบว่าบางเทคโนโลยีมีการพัฒนามาตั้งแต่เริ่มแรกและยังคงพัฒนาต่อไปเรื่อย ๆ บางเทคโนโลยีเพิ่งเริ่มต้นเมื่อไม่กี่สิบปีที่ผ่านมา โดยในปัจจุบันโซล่าเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือแบบ Multijunction Cells ชนิด Four-junctioin or more (concentrator) ซึ่งห้องปฏิบัติการของ NREL National Renewable Energy Laboratory ได้ทำการทดลองในโมเดล 6-J,143x พบว่ามีประสิทธิภาพสูงถึง 47.1% (NREL, 2019)

สิ่งที่ทราบจากแผนภาพข้างต้นเป็นที่ประจักษ์ว่าเทคโนโลยีโซล่าเซลล์มีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือก้าวกระโดดเช่นเดียวกัน

4.1.1.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์นับเป็นอุปกรณ์สำคัญในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง (DC) ซึ่งมีข้อจำกัดที่สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปทั้งในบ้านเรือน อาคาร และโรงงานอุตสาหกรรมล้วนเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการแหล่งพลังงานกระแสสลับ (AC) โดยฟังก์ชั่นการทานของอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และอาจมีฟังก์ชั่นเพิ่มเติมคือการปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งาน เช่น 1 เฟส 220 โวลต์ สำหรับบ้านเรือนทั่วไป หรือ 3 เฟส 380 โวลต์ สำหรับอาคาร โรงงาน เป็นต้น ลัญลักษณ์ของอินเวอร์เตอร์แสดงได้ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 สัญลักษณ์อินเวอร์เตอร์ในวงจรไฟฟ้า

อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์มีการแบ่งประเภทออกเป็นหมวดหมู่ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานในแต่ละประเภท โดยทั่วไปจะจำแนกด้วยเกณฑ์กว้าง ๆ ได้ 2 ชนิด คือ อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และอินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบรูปคลื่นสัญญาณขาออก ซึ่งมีประเภทย่อย ๆ ดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562)

1. อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่

1) กริดไทร์อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในระบบออนกริด (On-Grid system) ส่วนใหญ่กำหนดขนาดในพิกัดเป็นกิโลวัตต์ (kW) ทั้งนี้กริดไทร์อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้พลังงานโดยตรง และไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้รวมถึงไม่สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์อิสระได้ ซึ่งต้องเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตัวอย่างของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ดัง**Error! Reference source not found.**

2) อินเวอร์เตอร์แบตเตอรี่ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ที่ถูกอัดประจุพลังงานจากโซลล่าเซลล์ในช่วงเวลากลางวัน โดยแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งส่วนใหญ่มักมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับแรงดันที่ใช้งานปกติด้วย (220 VAC) ซึ่งสามารถใช้งานกันเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านทั่วไปได้ ส่วนใหญ่กำหนดขนาดพิกัดเป็นกิโลโวลต์แอมป์ (kVA) อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้สามารถทำงานได้อย่างอิสระไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ภาพที่ 31 Grid Connect Invertor
ที่มา: โครงการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ห้างสรรพสินค้า ในจังหวัดลำพูน

2. อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบรูปคลื่นสัญญาณขาออก ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทย่อย ได้แก่

1) รูปแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) คลื่นสัญญาณมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ส่วนมากจะเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ราคาค่อนข้างต่ำหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด ส่วนใหญ่จะเหมาะกับการใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทให้แสงสว่าง

2) รูปแบบคลื่นไซน์ (Pure sine wave) คลื่นสัญญาณขาออกจะมีลักษณะคล้ายกับรูปคลื่นของโครงข่ายระบบไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทุกชนิดแต่มีราคาสูง

3) รูปแบบคลื่นไซน์ดัดแปลง (Modified sine wave) เป็นคลื่นไซน์ที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดเลียนแบบคลื่นไซน์ ซึ่งยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทได้ แต่มีราคาถูกว่ารูปแบบคลื่นไซน์

4.1.2 การศึกษาทฤษฎีด้านไฟฟ้า มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

4.1.2.1 ทฤษฎีด้านไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

จากแนวคิดในการออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ รวมถึงศักยภาพของพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันจากหลายปัจจัย ด้วยเหตุนี้จึงนำความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามาเป็นตัวกำหนดขนาดของระบบโซล่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เซลล์ว่าควรมีกำลังการผลิตติดตั้งขนาดเท่าใด โดยทั่วไปการออกแบบระบบจะต้องให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความเพียงพอต่อการใช้งาน (Mostafa, Aleem, & Ibrahim, 2016; Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) ซึ่งเป็นหลักพื้นฐานในการออกแบบ ทั้งนี้หากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงมากกว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก็ย่อมเป็นการลงทุนที่มากว่าความเป็นจริง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงขอกล่าวถึงแนวคิดในการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบ ดังสมการที่ 4.1 ถึงสมการที่ 4.7 ตามลำดับ

$$E_{demand} \leq E_{supply} \qquad 4.1$$

เมื่อ E_{demand} = ความต้องการพลังงานไฟฟ้า
E_{supply} = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

จากสมการที่ 4.1 อธิบายได้ถึงแนวคิดที่ว่าความไม่แน่นอนของความต้องการพลังงานไฟฟ้า และการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ ด้วยเหตุนี้ระบบผลิตพลังงานจึงควรมีค่าสูงกว่าความต้องการในการใช้พลังงาน ถึงแม้ว่าจะทำการออกแบบให้มากกว่าความต้องการใช้งานแล้วก็ตาม ในความเป็นจริงยังมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลเสียหายต่อระบบรวมถึงไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ด้วยเหตุนี้ค่าตัวแปรคุณภาพระบบ (Q) จึงถูกนำมาพิจารณาเพิ่มเข้ามาในสมการ โดยปัจจัยคุณภาพของระบบจะเท่ากับผลหารของโหลดพลังงานไฟฟ้าที่วัดหรือประเมินจากระบบที่ต้องการติดตั้ง (E_{load}) ซึ่งปกติจะมีค่าเท่ากับความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากระบบ (E_{demand}) กับค่าพลังงานไฟฟ้าตามทฤษฎีที่ออกแบบ (E_{th}) ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐาน (Standard Test Conditions: STC[1])

ส่วนคุณภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากระบบผลิตพลังงานพลังงานต่อพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากทฤษฎี (Iemsomboon, Pati, & Bhumkittipich, 2013; Sakulpong, Pornsuwancharoen, & Yupapin, 2011; Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) ดังสมการที่ 4.2

$$Q = \frac{E_{load}}{E_{th}} \qquad 4.2$$

[1] Standard Test Conditions: STC is an industry-wide standard to indicate the performance of PV modules and specifies a cell temperature of 25°C and an irradiance of 1000 W/m2 with an air mass 1.5 (AM1.5) spectrum.

เมื่อ Q = คุณภาพของระบบไฟฟ้า

E_{load} = ค่าพลังงานไฟฟ้าจริงที่ได้จากระบบ (kWh)

E_{th} = ค่าพลังงานไฟฟ้าจากทฤษฎี (kWh)

จากสมการที่ 4.2 ปัจจัยคุณภาพของระบบไฟฟ้าสามารถพิจารณาและคำนวณได้ตามระยะเวลาที่เหมาะสม ส่วนมากพิจารณาที่ระยะเวลาในรอบปีเพื่อกำหนดค่าคุณภาพของระบบไฟฟ้า ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าจากทฤษฎี (E_{th}) คือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบตามทฤษฎีด้านไฟฟ้าด้วยผลคูณของขนาดพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (Aarray) แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังโลกในบริเวณที่ติดตั้ง (E_{glob}) และประสิทธิภาพ (η) ของแผงโซล่าเซลล์ที่เลือกใช้ภายใต้การทดสอบตามมาตรฐาน STC (Iemsomboon et al., 2013; Sakulpong et al., 2011; Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) ดังสมการที่ 4.3

$$E_{th} = \eta \times E_{glob} \times A_{array} \quad 4.3$$

เมื่อ E_{th} = ค่าพลังงานไฟฟ้าจากทฤษฎี (kWh)

η = ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

E_{glob} = แสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกตามแนวราบ (kWh/m^2.d)

A_{array} = พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

ค่าพลังงานสูงสุดภายใต้การทดสอบมาตรฐาน (STC) โดยกำหนดให้ I_{STC} = 1,000 W/m^2 ค่า T_{STC} = 25 °C และ AM = 1.5 (Iemsomboon et al., 2013; Sakulpong et al., 2011; Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) จะได้ดังสมการที่ 4.4

$$P_{peak} = \eta \times I_{stc} \times A_{array} \quad 4.4$$

เมื่อ P_{peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบโซล่าเซลล์ (kWp)

η = ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์

I_{STC} = การแผ่รังสีมายังพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC (1 kW/m^2)

A_{array} = พื้นที่ของแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้ง (m^2)

Chulalongkorn University

จากสมการที่ 4.4 พื้นที่ของแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้ง (A_{array}) (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) แสดงดังสมการที่ 4.5

$$A_{array} = \frac{P_{peak}}{\eta \times I_{STC}} \qquad 4.5$$

แทนค่า A_{array} จากสมการที่ 4.5 ลงในสมการที่ 4.3 จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าจากทฤษฎี (E_{th}) (Iemsomboon et al., 2013; Sakulpong et al., 2011; Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) ดังสมการที่ 4.6

$$E_{th} = P_{peak} \times \frac{E_{glob}}{I_{STC}} \qquad 4.6$$

จากสมการที่ 4.6 แทนค่าลงในสมการที่ 4.2 จะได้คุณภาพของระบบไฟฟ้า (Q) (Iemsomboon et al., 2013; Sakulpong et al., 2011; Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553) ดังสมการที่ 4.7

$$Q = \frac{E_{load}}{E_{glob} \times P_{peak}} \times I_{STC} \qquad 4.7$$

จากคุณภาพของระบบไฟฟ้า (Q) ในสมการที่ 4.7 สามารถคำนวณหาขนาดของกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ได้ดังสมการที่ 4.8 (Iemsomboon et al., 2013; Mostafa et al., 2016; Sakulpong et al., 2011; Schmid, 2002; Skunpong, Plangklang, Khan-Ngern, & Boonchiam, 2008; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$P_{peak} = \frac{E_{load} \times I_{STC}}{E_{glob} \times Q} \qquad 4.7$$

เมื่อ P_{peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบโซล่าเซลล์ ภายใต้เงื่อนไข STC (kWp)

E_{load} = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบต่อวัน (kWh/d)

I_{STC} = การแผ่รังสีลงมาพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC (1 kW/m^2))

E_{glob} = การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งโลกต่อวัน ($kWh/m^2.d$)

Q = ปัจจัยคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากสมการที่ 4.8 ข้างต้นในทางทฤษฎีค่าของคุณภาพระบบนั้นจะต้องมีค่าเท่ากับหนึ่ง (Q=1) แต่ในทางปฏิบัติแล้วนั้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า อาทิ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ติดตั้งระบบ การแทนค่าคุณภาพของระบบในสมการอาจพิจารณาได้จากเกณฑ์ของประเภทระบบดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์จำแนกตามชนิดของระบบและอุปกรณ์

ระบบและอุปกรณ์	คุณภาพของระบบ (Q)
PV module (Crystalline)	0.85 – 0.95
PV array	0.80 – 0.90
PV system (Grid-connected)	0.60 – 0.75
PV system (Stand-alone)	0.10 – 0.40
Hybrid system (PV/Diesel	0.40 – 0.60

ที่มา: บุญยัง ปลั่งกลาง (2553)

4.1.2.2 มาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ของประเทศไทย

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการลงทุนค่อนข้างสูง และยังอาจก่ออันตรายกับผู้ใช้งานหรือเป็นต้นเหตุของอัคคีภัยหากออกแบบไม่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้การออกแบบและติดตั้งระบบฯ จึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานทางวิศวกรรมที่ถูกประกาศออกมาเป็นข้อบังคับสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบและวิศวกรผู้ทำการติดตั้งระบบ โดยแนวคิดการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ประกอบด้วยระบบด้านกระแสตรง (DC current) ซึ่งเป็นฝั่งที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า และระบบกระแสสลับ (AC current) ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าในกรณีที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า หรือเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (EIT, 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แต่เดิมมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้แก่ มอก. 2572-2555 การติดตั้งทางไฟฟ้า – ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60364-7-712 Requirements for special installations or locations -Solar photovoltaic (PV) power supply systems ซึ่งเป็นมาตรฐานเก่าที่อาจขาดเนื้อหาที่เพียงพอในการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มีการติดตั้งบนหลังคาที่รองรับเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างรวดเร็วในปัจจุบันได้อย่างเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ทางวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ จึงกำหนดมาตรฐานใหม่ขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ ติดตั้ง การทดสอบก่อนใช้งาน และการ

บำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทุกขนาด ตั้งแต่เล็ก กลาง และขนาดใหญ่ (EIT, 2019)

มาตรฐานหลักของประเทศไทยที่เกี่ยวข้องโดยตรงคือ “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย: ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา” หรือเรียกว่า มาตรฐาน วสท. 022013-59 ซึ่งใช้ชื่อภาษาอังกฤษว่า “Thailand Electrical Installation Standard: Solar Rooftop Power Supply Installations” หรือเรียกว่า EIT Standard 022013-16 โดยมาตรฐานหลักฉบับนี้อ้างอิงมาตรฐานทั้งในประเทศและต่างประเทศ หากเป็นการอ้างอิงของมาตรฐานในประเทศ จำแนกได้ 2 กลุ่มหลัก คือจากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนมาตรฐานต่างประเทศจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

1) วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) EIT2001 มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) (Thai Industrial Standard: TISI) ได้แก่ มอก. 513 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริภัณฑ์ไฟฟ้า (รหัส IP), มอก. 1843 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสงภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน – คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ, มอก. 2210 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสงภาคพื้นดินแบบฟิล์มบาง – คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ, มอก. 2580 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคุณสมบัติด้านความปลอดภัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เล่ม 1 ข้อกำหนดสำหรับการสร้าง และ เล่ม 2 ข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ

4.1.2.3 มาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ของต่างประเทศ

1) Australia and New Zealand Standard: AS/NZS 5033 Installation and safety requirements for photovoltaic (PV) arrays

2) International Electrotechnical Commission: (IEC) ประกอบด้วยมาตรฐาน IEC 60269-6 Low-voltage fuses [Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems, IEC 60332-1-3 Tests on electric and optical fibre cable under fire conditions [Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire of cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles, IEC 60947 Low – Voltage Switchgear and Control gear [Part 1: General rules, Part 2: Circuit-breakers, Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse combination units], IEC 61215 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) Modules – Design qualification and type approval, IEC 611646 Thin-

film terrestrial photovoltaic (PV) Modules – Design qualification and type approval, IEC 62109 Safety of power converters for use in photovoltaic power system [Part 1: General requirements, Part 2: Particular requirements for Invertors], IEC 62548 Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements, IEC 62446 Grid connected photovoltaic system – Minimum requirements for sys documentation, commissioning tests and inspection, IEC 62852 Connectors for DC-application in photovoltaic system – Safety requirements and tests

3) Institution of Engineering and Technology (IET): Code of Practice for Grid Connected Solar Photovoltaic Systems

4) National Electrical Code: NEC 690 Solar Photovoltaic (PV) Systems

มาตรฐานทั้งสถาบันในประเทศและต่างประเทศข้างต้น จะต้องนำมาใช้ในการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ร่วมกับประสบการณ์ของวิศวกรผู้ออกแบบในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์หลัก และอุปกรณ์ส่วนควบต่าง ๆ ที่มีเทคโนโลยีเหมาะสม การพิจารณาถึงความเข้ากันได้ของอุปกรณ์แต่ละชนิด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ปลอดภัยสูงสุด รวมถึงความคุ้มค่าและผลตอบแทนจากการลงทุนที่สูงที่สุดต่อไป

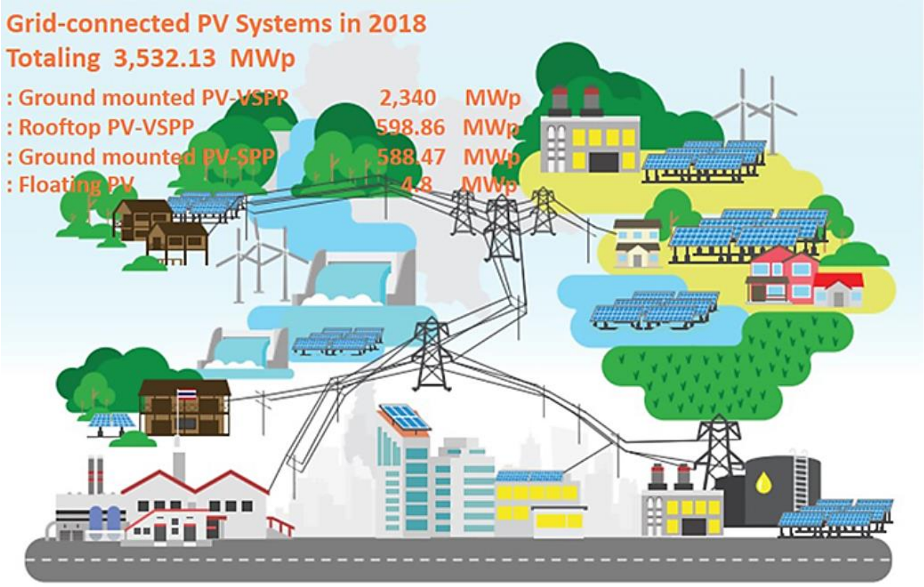
หากกล่าวโดยสรุปแล้วถึงแม้จะมีมาตรฐานทั้งของประเทศไทยและของต่างประเทศอยู่มากมายให้พิจารณาเลือกใช้ แต่ในข้อเท็จจริงแล้วการออกแบบติดตั้งทางไฟฟ้า รวมถึงการออกแบบติดตั้งระบบโซล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อผลิตไฟฟ้า จะต้องอ้างอิงตามกฎระเบียบของแต่ละประเทศเป็นขั้นต่ำแต่หากผู้ออกแบบพิจารณาใช้มาตรฐานที่สูงกว่าควบคู่กันไปย่อมสามารถทำได้ ทั้งนี้มาตรฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้งานในประเทศไทยล้วนอ้างอิงจากมาตรฐานของต่างประเทศ โดยปรับรายละเอียดที่สำคัญบางประการให้สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า เป็นต้น จากเหตุผลในข้างต้นผู้วิจัยได้ใช้มาตรฐานต่างประเทศในการเลือกแผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสอดคล้องกับหน่วยงานการไฟฟ้าของไทยที่ยอมรับมาตราฐานดังกล่าวเช่นกัน

4.2 การศึกษาศักยภาพทางการตลาดของการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

4.2.1 ภาพรวมการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ของประเทศไทย

การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย มีกำลังการผลิตติดตั้งระบบและพร้อมใช้งานแล้วเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่ามีการติดตั้งระบบฯ ประเภท Grid-connected PV systems ในปี 2561 รวมทั้งสิ้น 3,532.13 MWp โดยจำแนกระบบย่อยออกตามลักษณะการติดตั้ง ได้ 4 ประเภท จาก

ข้อมูลพบว่าในประเทศไทยมีการติดตั้งระบบแบบ Ground mounted PV-VSPP[2] กำลังการผลิตสูงสุด ขนาด 2,340 MWp รองลงมาคือ Rooftop PV-VSPP ขนาด 598.86 MWp ส่วนระบบแบบ Ground mounted PV-SPP[3] ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก รวมกันขนาด 588.47 MWp และลำดับสุดท้ายที่ยังคงมีขนาดเล็กที่สุด คือ Floating PV ซึ่งเป็นการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนทุ่นลอยเหนือน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มักติดตั้งบริเวณเหนือเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ มีกำลังผลิตติดตั้งรวม 4.8 MW (KMUTT, 2018) จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าแบบ Grid-conneccted PV systems ในประเทศไทยมีหลายรูปแบบและเชื่อมโยงเข้ากับระบบจำหน่ายของหน่วยงานการไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ ดังภาพที่ 32

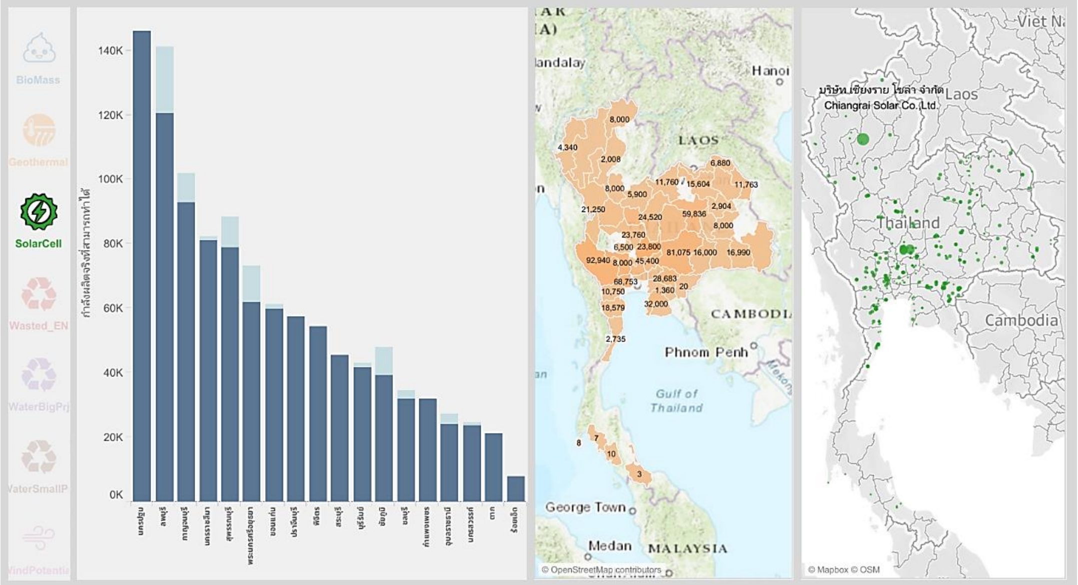


ภาพที่ 32 กำลังการผลิตติดตั้ง Grid-connected PV system in 2018
ที่มา: KMUTT (2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หากพิจารณาข้อมูลจาก GIS (Geographic Information System) จะมองภาพโดยรวมของประเทศที่มีการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์จะพบว่ามีการติดตั้งในทุกภาคทั่วประเทศ โดยจังหวัดที่มีกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด 5 ลำดับแรก ได้แก่ จังหวัดนครปฐม 145.95 MW ลพบุรี 120.51 MW กาญจนบุรี 92.94 MW นครราชสีมา 80.08 MW และสุพรรณบุรี 79 MW ตามลำดับ ดังภาพที่ 33

[2] VSPP: Very Small Power Producer คือ ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (ผลิตไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 10 MW)
[3] SPP: Small Power Producer คือ ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (กำลังการผลิต 10 – 90 MW)

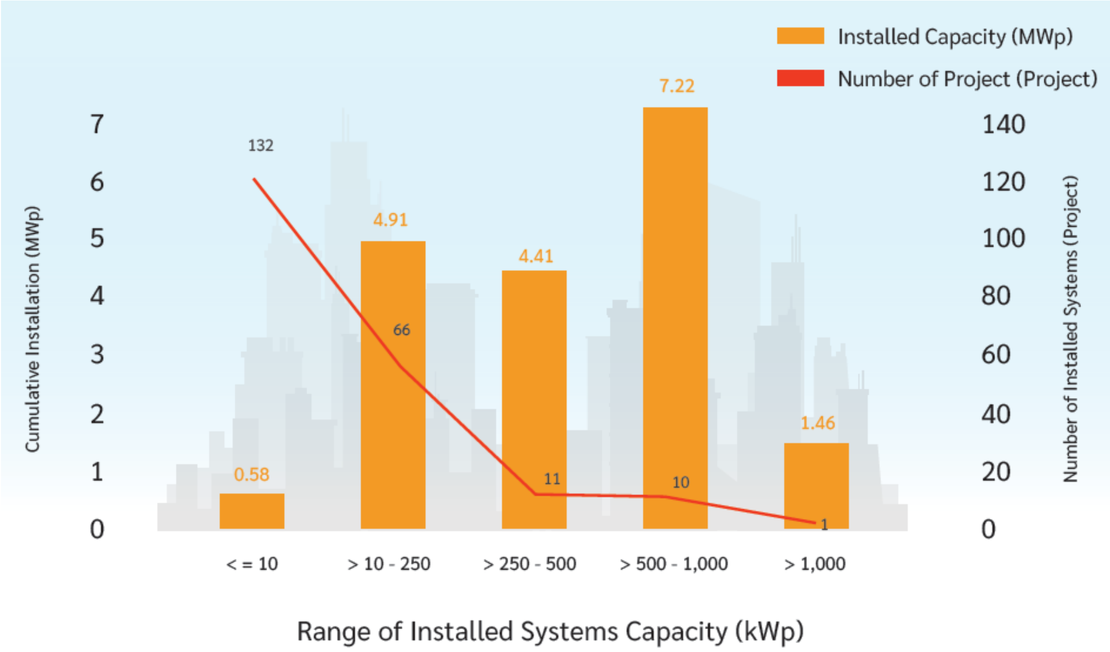


ภาพที่ 33 การติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ขนาดใหญ่ในประเทศไทย
ที่มา: Ministry of Energy (2020)

DEDE (2019) ได้สรุปรายงานเกี่ยวกับโครงการติดตั้งและผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกระบบที่มีการติดตั้งในประเทศ โดยข้อมูลที่สอดคล้องกับวิจัยนี้เกี่ยวกับการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์บนหลังคาประเภทเชื่อมต่อกับสายส่งเพื่อใช้งานในสถานประกอบการ ซึ่งสิ่งที่ผู้ประกอบการต้องการคือลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากหน่วยงานการไฟฟ้า (Self-consumption PV Systems) โดยหน่วยงานภาครัฐได้มีการส่งเสริมให้มีการดำเนินการอย่างจริงจังในราวปี 2559 และมีผู้ให้ความสนใจลงทุนติดตั้งอย่างต่อเนื่องในทุกปี ซึ่งปัจจัยสำคัญคืออัตราค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้เองเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้าหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

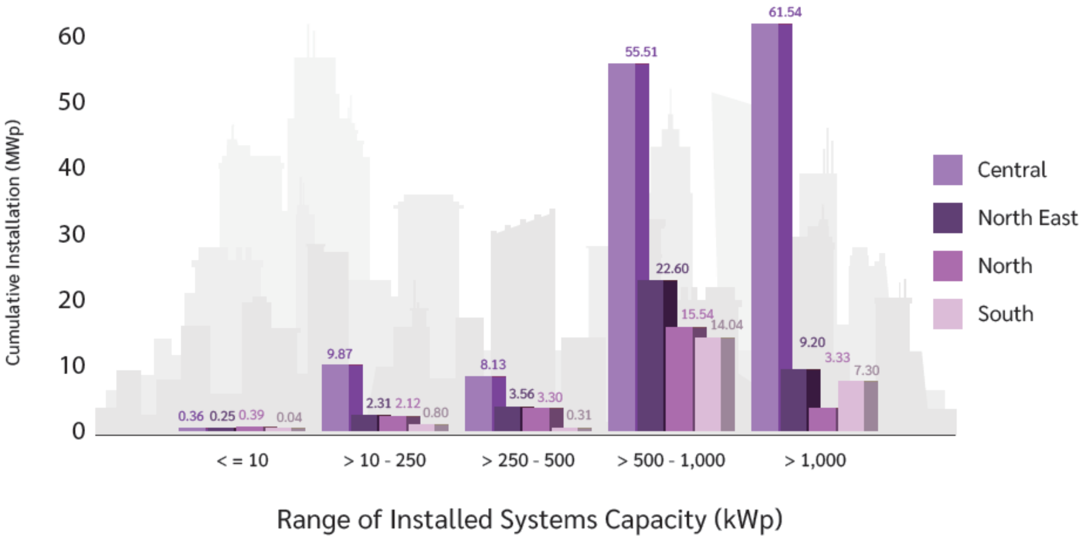
จากภาพเป็นสถิติการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เองในพื้นที่รับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง (MEA) ข้อมูลในปี 2561 พบว่าส่วนใหญ่กำลังผลิตติดตั้งอยู่ในช่วง 500 – 1,000 kWp มากที่สุด รวมเป็นพลังงานที่ผลิตได้จาก 10 โครงการ ปริมาณ 7.22 MWp ซึ่งมักเป็นอาคารพาณิชย์หรือโรงงานขนาดใหญ่ รองลงมาเป็นกลุ่มของอาคารขนาดเล็ก ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ระหว่าง 10 – 250 kWp ปริมาณผลิตรวม 4.91 MWp จาก 66 โครงการ ส่วนกลุ่มที่มีกำลังผลิตติดตั้งน้อยสุดหรือมีขนาด 10 kWp ลงมา ซึ่งเป็นกลุ่มบ้านเรือนที่อยู่อาศัย มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 0.58 MWp ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 MEA self-consumption using PV systems by range of installed systems capacity in 2018

ที่มา: DEDE (2019)

สำหรับโครงการติดตั้งโซล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เอง ในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่ากำลังการผลิตติดตั้งมีจำนวน 220.5 MWp ข้อมูลจำแนกตามรายภาคพบว่าการติดตั้งระบบฯ รวมจนถึงปี 2561 ภาคกลางมีการผลิตติดตั้งสูงสุดรวม 135.41 MWp จากจำนวน 298 โครงการ คิดเป็น 61.41 % ตามด้วยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 37.93 MWp ภาคเหนือ 24.68 MWp และภาคใต้ 22.49 MWp ตามลำดับ หากพิจารณาเฉพาะข้อมูลของการติดตั้งที่มีขนาด 10 kWp ลงมา รวมทุกภูมิภาคของประเทศ (ยกเว้นเขตกรุงเทพและปริมณฑล) มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 1.04 MWp ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 PEA self-consumption number of installed systems by range of installed systems capacity in regions in 2018

ที่มา: DEDE (2019)

จากข้อมูลกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์บนหลังคา เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองหรือเป็นส่วนเสริมจากพลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าหลักทั้งจากพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล (MEA) รวมถึงทุกภูมิภาคของประเทศ (PEA) ซึ่งมีขนาด 0.58 MWp และ 1.04 MWp ตามลำดับ จะพบว่าการติดตั้งในกลุ่มที่อยู่อาศัยนี้ยังเป็นสัดส่วนที่น้อยสุดของการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) นอกจากนี้พื้นที่ส่วนภูมิภาคซึ่งมีจำนวนที่อยู่อาศัยมากกว่ากรุงเทพและปริมณฑล แต่ก็มีจำนวนที่ติดตั้งไปแล้วเพียงแค่เท่าตัว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ภาครัฐพยายามกระตุ้นส่งเสริมให้เกิดการผลิตพลังงานจากโซล่าเซลล์เพื่อใช้เองในครัวเรือน รวมถึงหากมีปริมาณเกินจากที่ใช้งานและมีส่วนเหลือยังสามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวไปผ่านมิเตอร์ของการไฟฟ้าได้ด้วย

นอกจากนี้กลุ่มการผลิตติดตั้งที่มีขนาดช่วง 500 – 1000 kWp ค่อนข้างเป็นกลุ่มที่มีกำลังการผลิตติดตั้งรวมสูงสุด จากข้อมูลของ MEA และ PEA ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มอาคารพาณิชย์หรือโรงงานขนาดใหญ่ อีกเหตุผลหนึ่งที่ผู้ประกอบการเลือกที่จะไม่ติดตั้งระบบที่มีขนาดต่ำกว่า 1000 kWp ลงมา เนื่องจากมีขั้นตอนทางกฎหมายด้านการขออนุญาตที่ผ่อนปรนมากกว่าขนาดที่สูงกว่า 1000 kWp หรือ 1 MWp นั่นเอง

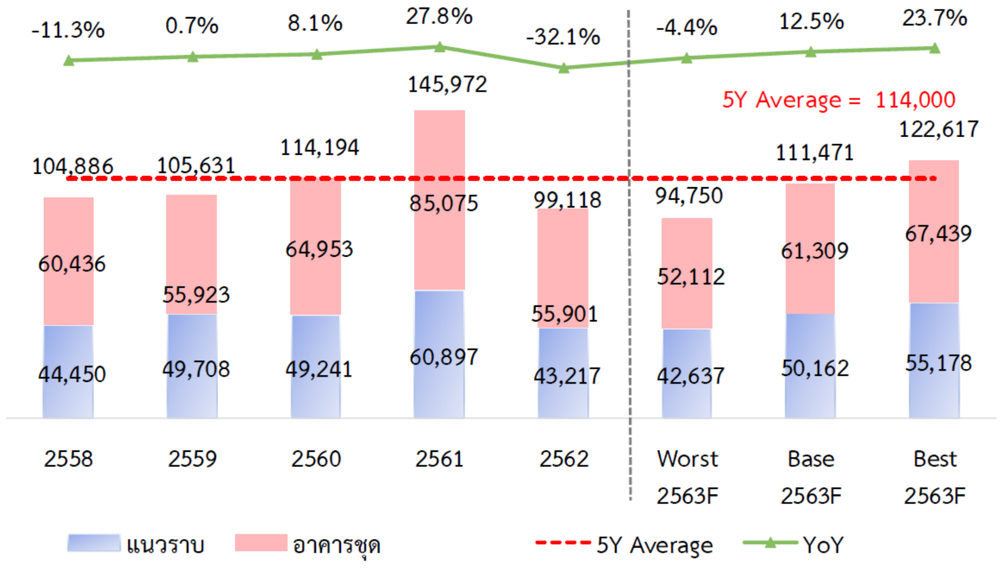
4.2.2 ทิศทางแนวโน้มการติดตั้งโซล่ารูฟท็อปและการสนับสนุนจากภาครัฐ

การพิจารณาแนวโน้มการเติบโตของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์รวมถึงภาคอุตสาหกรรม เป็นส่วนหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณาศักยภาพและแนวโน้มการติดตั้งระบบโซล่าบนหลังคา จากข้อมูลของ

ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ หรือ REIC (2020b) พบว่าภาพรวมของสถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยเขตกรุงเทพและปริมณฑล ปี 2562 ในด้านอุปสงค์มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากภาครัฐให้ความสำคัญกับผลกระทบของการควบคุม LTV นอกจากนี้ยังมีมาตรการกระตุ้นอสังหาริมรัพย์ถึง 3 มาตรการ อาทิ บ้านหลังแรกที่มูลค่าไม่เกิน 5 ล้านบาท นำมาลดหย่อนภาษีได้ไม่เกิน 2 แสนบาท มาตรการลดค่าธรรมเนียมการโอนกรรมสิทธิ์และค่าจดจำนองเหลือเพียงร้อยละ 0.01 สำหรับที่อยู่อาศัยราคาไม่เกิน 1 ล้านบาท และมาตรการลดค่าธรรมเนียมฯ เหลือร้อยละ 0.01 สำหรับราคาที่อยู่อาศัยไม่เกิน 3 ล้านบาทที่ซื้อจากผู้ประกอบการ

สำหรับปี 2562 ตลอดทั้งปีมีจำนวนที่อยู่อาศัยสร้างเสร็จจดทะเบียนใหม่ 111,657 หน่วย ลดลงร้อยละ -14.7 เมื่อเทียบกับปี 2561 แต่หากพิจารณาเฉพาะที่อยู่อาศัยแนวราบทั้งหมู่บ้านจัดสรรและที่ประชาชนสร้างเอง เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 แต่อาคารชุดลดลงร้อยละ -27.3

ส่วนแนวโน้มในปี 2563 ทาง REIC (2020b) คาดว่ามีจำนวนประมาณ 111,289 หน่วย โดยช่วงคาดการณ์อยู่ที่ประมาณ 100,161 ถึง 114,628 หน่วย โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละ -10.3 ถึงร้อยละ 2.7 เมื่อเทียบกับปี 2562 ดังภาพที่ 36

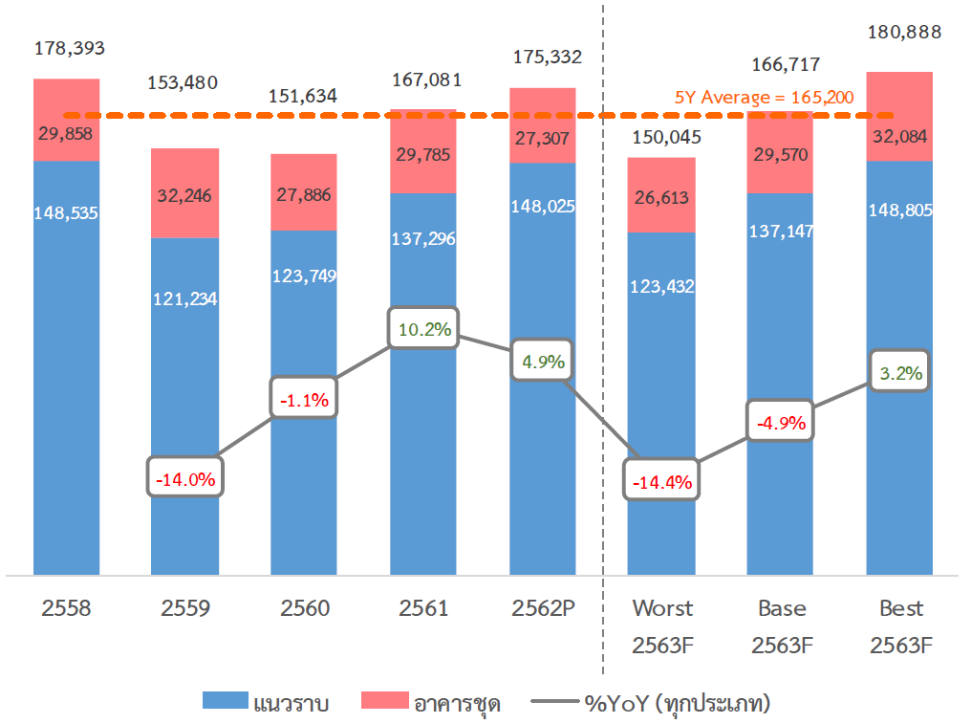


ภาพที่ 36 โครงการที่อยู่อาศัยเปิดขายใหม่ กรุงเทพฯ - ปริมณฑล ปี 2562 และแนวโน้มปี 2563
ที่มา: ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์ REIC (2020b)

ส่วนการพิจารณาความเติบโตของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในพื้นที่ภูมิภาคทั่วประเทศไทย จากข้อมูลของศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ หรือ REIC (2020a) พบว่าในปี 2562 สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยทั้งในด้านอุปสงค์และอุปทานมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2561 ซึ่งเป็นผลจาก

มาตรการกระตุ้นธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ของภาครัฐตามที่กล่าวไปแล้วนั้น ซึ่งมาตรดังกล่าวส่งผลเชิงบวกต่อกลุ่มจังหวัด EEC ซึ่งได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากภาครัฐจึงทำให้มีการปรับตัวเพิ่มสูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ เมื่อพิจารณาในด้านอุปสงค์การโอนกรรมสิทธิ์มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2561 โดยเป็นการเพิ่มขึ้นของที่อยู่อาศัยประเภทแนวราบ ในทางกลับกันประเภทอาคารชุดกลับมีจำนวนลดลง

ส่วนแนวโน้มในปี 2563 ทาง REIC (2020a) ยังคงรอติดตามและเฝ้าระวังปัจจัยเสี่ยงทั้งภายในและภายนอกประเทศ อาทิ ผลกระทบการส่งออกจากการแข็งตัวของค่าเงินบาท นโยบายกีดกันทางการค้า หรือแม้แต่สภาวะภัยธรรมชาติ อาจเป็นเหตุคาดได้ว่าภาพรวมการโอนกรรมสิทธิ์ที่อยู่อาศัย และการออกใบอนุญาตจัดสรรที่ดิน และการออกใบอนุญาตก่อสร้างอาคาร อาจลดลงจากปี 2562 ทั้งจำนวนหน่วยและมูลค่าโดยรวม ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 จำนวนหน่วยการโอนกรรมสิทธิ์ที่อยู่อาศัยจังหวัดภูมิภาค ปี 2562 และแนวโน้มปี 2563
ที่มา: ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์ REIC (2020a)

นอกจากนี้โอกาสอันสำคัญที่จะขยายไปสู่ตลาดที่มีศักยภาพในอาคารขนาดใหญ่ รวมถึงภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติบโตของอุตสาหกรรมในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งเกี่ยวพันกับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่ประเภทต่าง ๆ ที่ต้องถูกพัฒนาควบคู่กับความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของภูมิภาคนี้ โดยพื้นที่นำร่อง 3 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา ทั้งนี้โครงการขนาดใหญ่ที่กำลังดำเนินการและอยู่ในแผนการดำเนินงาน

ได้แก่ โครงการโครงสร้างพื้นฐาน (PPP EEC Track) เช่น โครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบิน โครงการสนามบินอู่ตะเภาและเมืองการบินภาคตะวันออก โครงการศูนย์ซ่อมบำรุงอากาศยานอู่ตะเภา โครงการท่าเรือแหลมฉบังระยะที่ 3 โครงการท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดระยะที่ 3 รวมถึงเขตส่งเสริมอุตสาหกรรมและนวัตกรรมดิจิทัล ส่วนแผนการดำเนินงานเขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษ อาทิ เขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษโครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบิน เขตส่งเสริมเศรษฐกิจพิเศษเมืองการบินภาคตะวันออก เขตนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก เขตส่งเสริมและนวัตกรรมดิจิทัล และเขตส่งเสริมอุตสาหกรรมเป้าหมายพิเศษ (EECO, 2018) โดยมุ่งเน้น 10 อุตสาหกรรมเป้าหมาย ทั้งกลุ่มของ 5 อุตสาหกรรมเดิม (First S-Curves) ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์แห่งอนาคต อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ อุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโยลีชีวภาพ อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร และอุตสาหกรรมท่องเที่ยวกลุ่มรายได้ดีและการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ และ อุตสาหกรรมอนาคต (New S-Curves) จำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ อุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจร อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ และอุตสาหกรรมดิจิทัล (EECO, 2019)

จากข้อมูลข้างต้นล้วนเป็นสิ่งที่สนับสนุนแนวคิดของโอกาสการเติบโตของโครงการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในสถานประกอบการเอง และลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากหน่วยงานการไฟฟ้าหลัก ซึ่งผลประโยชน์ของผู้ประกอบการคือต้นทุนการดำเนินงานที่ลดลง และด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันของระบบโซล่าเซลล์ทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนเพิ่มสูงขึ้น และระยะเวลาการคืนทุนลดน้อยลง ในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวกระโดดส่งผลให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลักในระบบโซล่าเซลล์สูงขึ้น สอดคล้องกับปริมาณการผลิตและความต้องการที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดความประหยัดต่อขนาดจึงทำให้ราคาอุปกรณ์ดังกล่าวในท้องตลาดต่ำลง โดยตัวอย่างจากงานวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ทำการติดตั้งระบบฯ ขนาด 20 kW โดยมีต้นทุนการติดตั้งระบบประมาณ 60,000 – 70,000 บาท/กิโลวัตต์ พบว่าระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 3 เดือน อัตราผลตอบแทนภายใน 17.73% แสดงให้เห็นว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในเทคโนโลยีปัจจุบันส่งผลทางด้านเศรษฐศาสตร์หรือจุดคุ้มทุนที่เร็วมากขึ้น (วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 2556)

สำหรับแนวนโยบายของรัฐนับว่าเป็นส่วนสำคัญยิ่งต่อการตัดสินใจลงทุนในโครงการฯ ซึ่งภาพรวมของการสนับสนุนพิจารณาถึงการเพิ่มสัดส่วนของพลังงานทดแทนให้ขยายมากขึ้นเพื่อทดแทนแหล่งต้นทุนพลังงานที่มาจากฟอสซิล หนึ่งในพลังงานที่มีศักยภาพคือการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งประเภทที่เชื่อมต่อกับสายส่งของหน่วยงานการไฟฟ้า ตัวอย่างผลงานการสนับสนุนเชิงนโยบาย เช่น การสนับสนุนโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา โดยคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กพพ.) โดยในปี 2562 ได้เปิดตัวโครงการ “โซลาร์

ภาคประชาชน” เพื่อการเสริมสร้างความมั่นคงของระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศตามแผน PDP2018 ตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการและช่วยส่งเสริมให้ระบบเศรษฐกิจของประเทศสามารถแข่งขันได้ รวมถึงพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โครงการนี้กำหนดหลักการโครงการนำร่องการรับจดทะเบียนเจ้าของบ้านและอาคารที่เป็นเจ้าของมิเตอร์ไฟฟ้า ประเภทบ้านเรือนที่อยู่อาศัยที่ต้องการติดตั้งแผงเซลล์ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองหรือหากมีพลังงานส่วนที่เหลือยังสามารถจำหน่ายให้กับการไฟฟ้าได้โดยสามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านมิเตอร์วัดค่าพลังงานชนิดพิเศษ ระยะเวลารับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์บนหลังคาที่ผลิตได้ตามโครงการนานถึง 10 ปี (ERC, 2019) โครงการนี้คาดว่าจะมีผู้สนใจลงทะเบียนและติดตั้งใหม่ประมาณ 10,000 – 20,000 ระบบ คิดเป็นมูลค่าราว 4,000 ล้านบาท/ปี หรือประมาณ 40,000 ล้านบาท ตลอดระยะเวลาโครงการ 10 ปี ซึ่งผู้สนใจทั้งบุคคลธรรมดาและนิติบุคคลที่มีเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าประเภท 1 ตามประกาศอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ไม่เกิน 10 kW โครงการนี้มีเป้าหมายและปริมาณการรับซื้อรวม 100 MW จำแนกเป็นพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง 30 MW และพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 70 MW ราคารับซื้อไฟฟ้าส่วนเกินในอัตราไม่เกิน 1.68 บาท/หน่วย ระยะเวลารับซื้อ 10 ปี ตลอดโครงการ

นอกจากนี้จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan) ที่มีเป้าหมายในเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทน 30% โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งตามแผนเดิม ณ ปี 2579 จะติดตั้งให้ได้รวม 6,000 เมกะวัตต์ ณ สิ้นปี 2560 ในปัจจุบันดำเนินการแล้ว 2,849 เมกะวัตต์ ซึ่งโดยแผนใหม่จะติดตั้งอีก 12,725 เมกะวัตต์ (โซล่าร์รู๊ฟท๊อปกับโซล่าร์แบบทุ่นลอยน้ำ) รวมมีเป้าหมาย ณ สิ้นปี 2580 อยู่ที่ 15,574 เมกะวัตต์ นอกจากนี้ยังมีโครงการผลิตพลังงานไฟฟาขนาดเล็กนั้นคือการส่งเสริม “โรงไฟฟ้าชุมชน” ที่มุ่งเน้นให้เกิด 1 ชุมชน 1 พลังงานทางเลือก โดยใช้กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมาสนับสนุน เป็นต้น

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา

การศึกษาในเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ด้วยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล (In-depth interview) เครื่องมือที่ใช้คือแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured) โดยกำหนดและคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ (Key informant) จำนวน 10 ท่าน เพื่อทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาเกณฑ์การออกแบบระบบ การประเมินขนาดของระบบ ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการติดตั้งระบบแต่ละพื้นที่ แนวคิดในการเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบสำหรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การประกอบเข้าเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงแนวคิดที่มีประโยชน์ในการออกแบบระบบโซล่าเซลล์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

ผลจากการ Analytic induction จากผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญทั้ง 10 ท่าน ทำให้ค้นพบประเด็นสำคัญต่อการปรับปรุงปัจจัยในกระบวนการออกแบบ PV system แบ่ง 3 หัวข้อ ดังนี้

4.3.1 กระบวนการออกแบบระบบโซล่าเซลล์

กระบวนการออกแบบ PV system เริ่มต้นตั้งแต่การศึกษาข้อมูลพื้นฐานของผู้ใช้งานโดยพิจารณาจาก Load profile ว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะสม่ำเสมอเพียงไร และมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่าใด และเก็บข้อมูลทางกายภาพของหลังคาที่จะติดตั้ง PV panel ซึ่งคุณลักษณะที่สำคัญได้แก่ รูปแบบหลังคาที่เป็นพื้นเดียวกันหรือมีหลายระดับ ในแต่ละด้านหันไปในทิศทางใด ตลอดจนมุมเอียงของหลังคา ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญมากต่อการออกแบบระบบ นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างหลังคาและความสะดวกต่อการบำรุงรักษาก็เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงด้วยเพื่อความปลอดภัยและการปฏิบัติงาน สำหรับอุปกรณ์ส่วนควบอื่นก็จะต้องทราบถึงตำแหน่งติดตั้ง ระยะห่างของแต่ละอุปกรณ์ เป็นต้น

นอกจากข้อมูลพื้นฐานที่กล่าวไว้แล้ว ยังจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้พารามิเตอร์หลัก ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ถูกประมวลผลทางสถิติในเชิงพื้นที่ ได้แก่ Global positioning system (GPS) ซึ่งแสดงพิกัด latitude, longitude, and altitude และ Global solar radiation ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังพื้นที่ติดตั้งระบบ

ผู้ออกแบบจะคำนวณตามหลักวิศวกรรมจากข้อมูลข้างต้น โดยอาจใช้ software ช่วยในการออกแบบด้วย เช่น ซอฟต์แวร์ PVsyst ซึ่งต้องจ่ายค่าสิทธิ์ใช้งานราว 641 USD ต่อปี เมื่อได้ผลการคำนวณเบื้องต้นแล้ว จะดำเนินการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบ โดยพิจารณาจาก technical data ให้มีความเหมาะสม และความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายให้ระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพสูงที่สุด จากนั้นประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และจัดทำข้อเสนอโครงการต่อไป

4.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์

ผู้ให้ข้อมูลกล่าวถึงการออกแบบ PV system ที่ผ่านมามักจะใช้ตัวแปรนำเข้า เพื่อการประมวลผลในการออกแบบ ซึ่งเป็นทั้งข้อมูลทั่วไป เช่น ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อวัน ขนาดพื้นที่ติดตั้งบนหลังคา และข้อมูลเฉพาะด้าน เช่น การแผ่รังสีดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก ประสิทธิภาพของระบบ เป็นต้น ทั้งนี้หากต้องการให้ผลลัพธ์ของ PV system มีความใกล้เคียงกันระหว่างการออกแบบและการผลิตไฟฟ้าจริง (ส่วนใหญ่แล้วเมื่อติดตั้งจริงมักจะผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า) นั้นหมายถึงความแม่นยำในการออกแบบจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ผู้ให้ข้อมูลทั้งหมดมีความเห็นสอดคล้องกันว่า หาก

กระบวนการออกแบบระบบได้มีการพิจารณาปัจจัยอื่นที่มีนัยสำคัญเพียงพอ และนำมาประกอบการคำนวณจะทำให้ผลการคำนวณที่ได้ มีความสอดคล้องกับผลลัพธ์จริงมากยิ่งขึ้น

1) Fundamentals criteria for the design

ผลการสัมภาษณ์จากผู้ให้ข้อมูล พบว่าปัจจัยที่มักนำมาประกอบการพิจารณา อาจมีความแตกต่างกันไปบ้างตามความถนัดของผู้ออกแบบ ซึ่งจำนวนของปัจจัยที่นำมาใช้ในขั้นตอนการออกแบบ จะมีความสัมพันธ์กับความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้ แต่ถึงแม้จะเลือกใช้ปัจจัยมากหรือน้อยเพียงใด การออกแบบ PV system ก็ต้องอยู่บนพื้นฐานของหลักวิศวกรรม และกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง

โดยข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์จะถูกใช้ในการพิจารณาสถานที่ติดตั้ง แหล่งข้อมูลจากข้อมูลวิชาการหรือจากระบบ GPS ส่วนการประเมินพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้ง PV panel ข้อมูลที่สนใจคือ ขนาดพื้นที่ ทิศทาง และมุมเอียง มักจะใช้ภาพถ่ายดาวเทียม และการสำรวจสถานที่จริงประกอบกัน สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานในปัจจุบัน หรือ energy demand จะเก็บข้อมูล kW_{peak}, kWh, and load profile โดย load profile จำเป็นอย่างยิ่งในการพิจารณาออกแบบ ข้อมูลส่วนนี้อาจทำการติดตั้ง power logger เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น สำหรับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ เช่น ระหว่าง PV panel, Invertor , MDB ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบให้ลดการสูญเสียพลังงาน

ปัจจัยข้างต้นเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ ซึ่งการนำปัจจัยทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนมาประกอบการคำนวณ ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการนำผลลัพธ์ไปใช้งาน และประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

2) Additional criteria for the design

ผู้ให้ข้อมูลซึ่งเป็นวิศวกรออกแบบ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและบำรุงรักษา PV system กล่าวถึงข้อมูลที่น่าสนใจเกี่ยวกับการพัฒนากระบวนการออกแบบ PV system ให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยการพิจารณาปัจจัยบางประการที่ถูกมองข้ามไปในขั้นตอนการออกแบบ แต่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการผลิตพลังงานของระบบ จากประสบการณ์ของวิศวกรดูแลระบบพบว่าปัจจัยที่กระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน คือ Operation temperature and relative humidity บริเวณที่ติดตั้ง PV module สิ่งเหล่านี้นอกจากเป็นไปตามธรรมชาติหรือฤดูกาลแล้ว ยังได้รับผลจากการสะท้อน การดูดซึม การแผ่รังสี ของวัสดุหลังคาหรือสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง มายัง PV module

นอกจากนี้ควรให้ความสนใจเรื่องของ Air Quality (Particulate matter) เนื่องจากในบางพื้นที่พบปัญหาฝุ่นควันอยู่เป็นประจำและทวีความรุนแรงมากขึ้น หรือได้รับผลกระทบจากฝุ่นควันของภูเขาไฟของประเทศใกล้เคียง เช่นในภูมิภาค Southeast Asia เป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นทั้ง fundamentals และ additional criteria ผู้วิจัยจึงสรุปปัจจัยที่ควรเก็บข้อมูลและนำมาใช้ในการออกแบบ PV system แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์

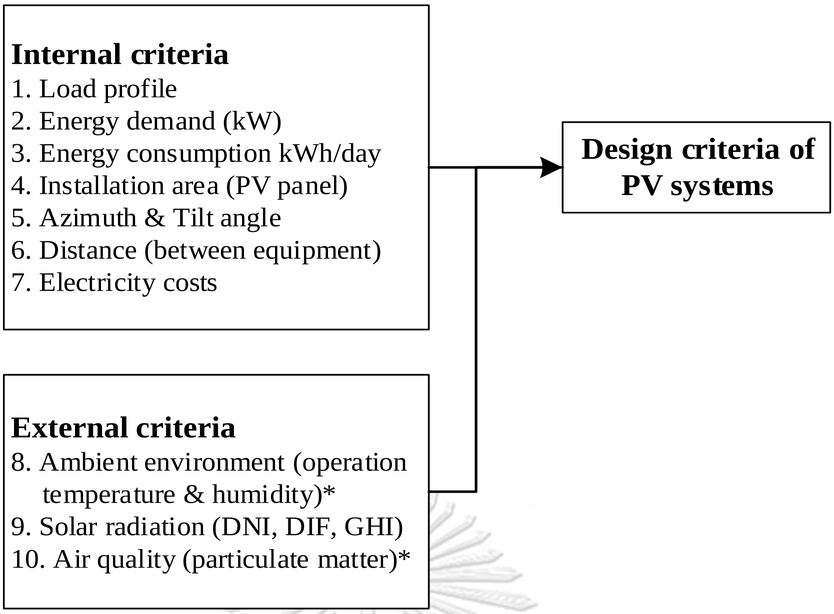
Factors	Suggestion in PV design process	
	Used	Abandon
Internal criteria		
1. Load profile	/	
2. Energy demand (kW)	/	
3. Energy consumption kWh/day	/	
4. Installation area (PV panel)	/	
5. Azimuth & Tilt angle	/	
6. Distance (between equipment)	/	
7. Electricity costs	/	
8. Shading		/
External criteria		
9. Ambient environment (operation temperature & humidity)	/	
10. Solar radiation (DNI, DIF, GHI)	/	
11. Air quality (particulate matter)	/	
12. Sea salt effect		/
Note: factor no. 9 & 11 added from the previous design		

ที่มา: Narkwatchara, Ratanatamskul, and Chandrachai (2020)

4.3.3 ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในกระบวนการออกแบบระบบโซล่าเซลล์

จากตัวแปรสำหรับการออกแบบเดิมและตัวแปรใหม่ในข้างต้น ผู้วิจัยจึงปรับปรุงกระบวนการออกแบบ โดยแบ่งข้อมูลนำเข้าออกเป็น 2 ส่วนตามแหล่งข้อมูล ได้แก่ เกณฑ์พิจารณาจากความต้องการใช้ระบบ (internal criteria) และเกณฑ์พิจารณาปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลต่อระบบ (external criteria) โดยนำปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (ambient environment) และคุณภาพของอากาศ (air quality) เพิ่มเข้าเป็นส่วนหนึ่งของเกณฑ์ในการออกแบบ (ตัวแปรที่ 8 และ 10) ดังภาพที่ 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 38 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในกระบวนการออกแบบระบบโซล่าเซลล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
การพัฒนาแนวคิดการออกแบบระบบโซล่าเซลล์

5.1 ผลการทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซล่าเซลล์และสร้างสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม

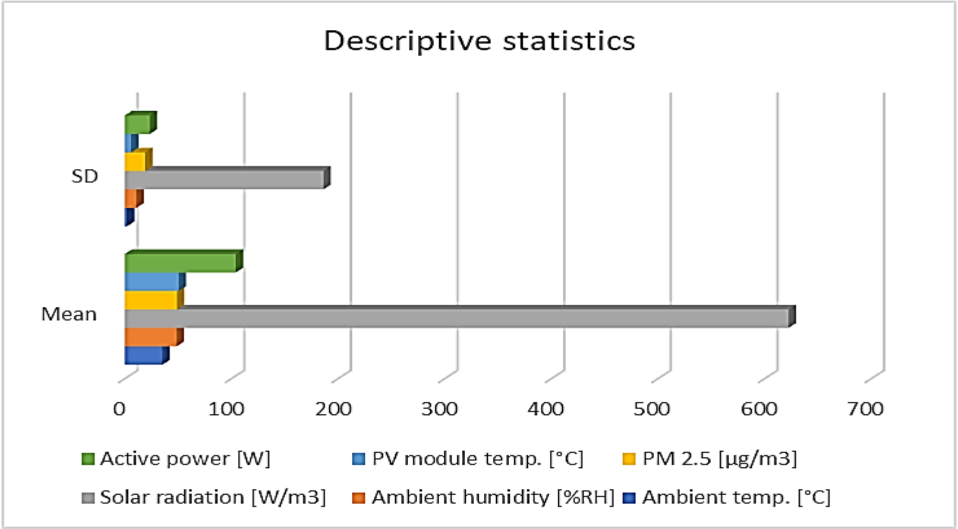
5.1.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาจากข้อมูลที่รวบรวมมาทั้ง 6 พารามิเตอร์ที่สำคัญ เก็บข้อมูลอัตโนมัติทุกนาทีตั้งแต่ช่วง 9:00 – 15:00 น. ในแต่ละวัน รวมระยะเวลา 20 วัน ได้ข้อมูลจำนวน 7,220 ตัวอย่าง ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เท่ากับ 35.26 °C ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เท่ากับ 48.71 %RH ค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์ เท่ากับ 622.54 watt/m^2 ค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองในอากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัม เท่ากับ 49.06 $\mu g/m^3$ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ เท่ากับ 50.61 °C และค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เท่ากับ 104.16 watt ภาพรวมของผลการวิเคราะห์ในด้านอื่น อาทิค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD) ค่าความเบ้ (Skewness: SI) และค่าความโด่ง (Kurtosis: KI) ปรากฏตามตารางที่ 8 และภาพที่ 39

ตารางที่ 8 ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาสำหรับจำแนกรายพารามิเตอร์

No.	Factor	Abbreviations	n	Mean	SD	SI	KI
1	Ambient temp (°C)	AMT	7,220	35.26	2.15	-0.38	0.15
2	Relative humidity (%RH)	AMH	7,220	48.71	10.97	-0.14	-0.44
3	Solar radiation (watt/m^2)	SR	7,220	622.54	186.39	-0.91	-0.19
4	PM 2.5 ($\mu g/m^3$)	PM	7,220	49.06	19.15	1.24	1.10
5	PV module temp (°C)	PVT	7,220	50.61	5.95	-0.28	-0.74
6	Active power (watt)	AP	7,220	104.16	23.55	-1.11	0.28
Remark: Data Collected between 9 am - 3 pm, every minute for 20 days							

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



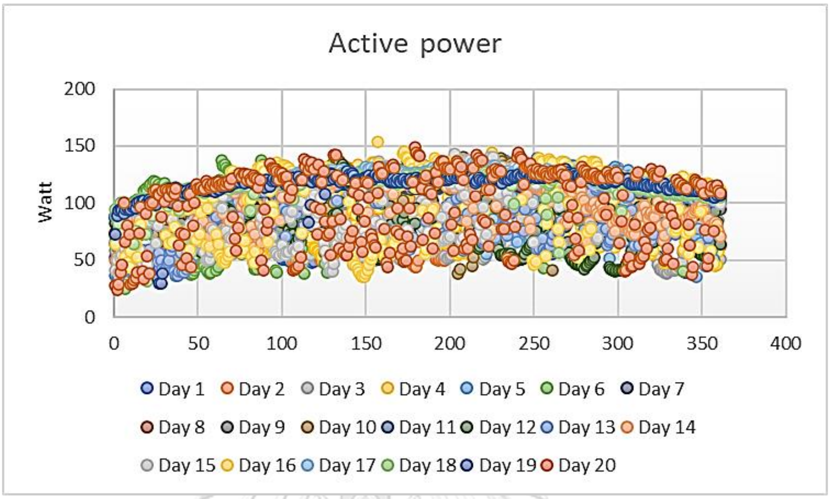
ภาพที่ 39 Descriptive statistics classified by parameters

จากข้อมูลทุกพารามิเตอร์ที่ได้จัดเก็บในทุกนาทีระหว่างช่วงเวลา 9:00 – 15:00น. ได้ข้อมูลจำนวน 361 ชุดต่อวัน ระยะเวลาการทดลอง 20 วัน จึงมีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 7,220 ชุดข้อมูล ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์จำแนกตามรายพารามิเตอร์เพื่อให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในทุกนาทีตลอดช่วงการทดลอง

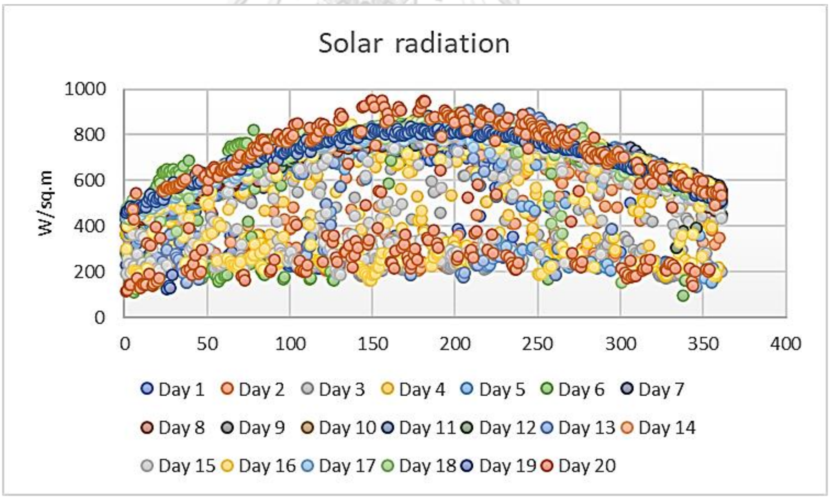
ข้อมูลสำคัญที่พบในภาพที่ 40 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Active power) พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตในช่วงระหว่างวันจะมีค่าสูงกว่าช่วงเวลาเช้าและเย็นและจากข้อมูลได้กราฟเส้นโค้งรูประฆังคว่ำ อย่างไรก็ตามในบางวันพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีการขยับตัวจากแนวเดิมบ้างในระหว่างวันขึ้นอยู่กับรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบกับแผงโซล่าเซลล์ ส่วนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดจะอยู่ในช่วงกลางวันซึ่งรังสีดวงอาทิตย์จะมีลักษณะตั้งฉากกับแผงโซล่าเซลล์

สำหรับข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ในภาพที่ 41 มีลักษณะเป็นกราฟเส้นโค้งรูประฆังคว่ำโดยการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าและมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน จากนั้นค่อย ๆ มีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเย็น ส่วนข้อมูลฝุ่นควันในอากาศ หรือ PM 2.5 ในภาพที่ 42 พบว่าข้อมูลรายนาทีตั้งแต่ช่วงเช้าถึงเย็นค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลเปรียบเทียบรายวันจะพบว่าระดับค่าฝุ่นควันในแต่ละวันมีความแตกต่างไปบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นในวันดังกล่าวที่มีผลต่อ PM 2.5 สำหรับข้อมูลอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ในภาพที่ 43 เป็นที่ชัดเจนว่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างวัน และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อถึงช่วงเย็นซึ่งสอดคล้องกับการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้าสู่แผงโซล่าเซลล์ ส่วนลักษณะของข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 44 พบว่าข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อมจะมีค่าต่ำในช่วงเช้าและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลาเย็น ข้อมูลที่รวบรวมสำหรับพารามิเตอร์นี้ส่วนใหญ่มี

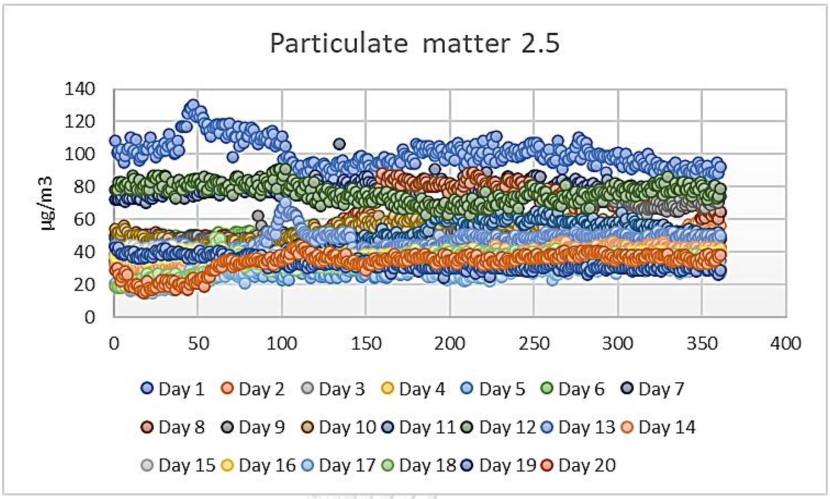
รูปแบบเหมือนกันทุกวัน นอกจากนี้ยังพบว่าข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ตามภาพที่ 45 บ่งชี้ว่าข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมจะมีค่าสูงมากในตอนเช้าและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเวลาเย็น จากการพิจารณาข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บรวบรวมทั้ง 20 วัน พบว่ามีรูปแบบและแนวโน้มคล้ายคลึงกันในแต่ละวัน ดังภาพที่ 40 ถึงภาพที่ 45 ตามลำดับ



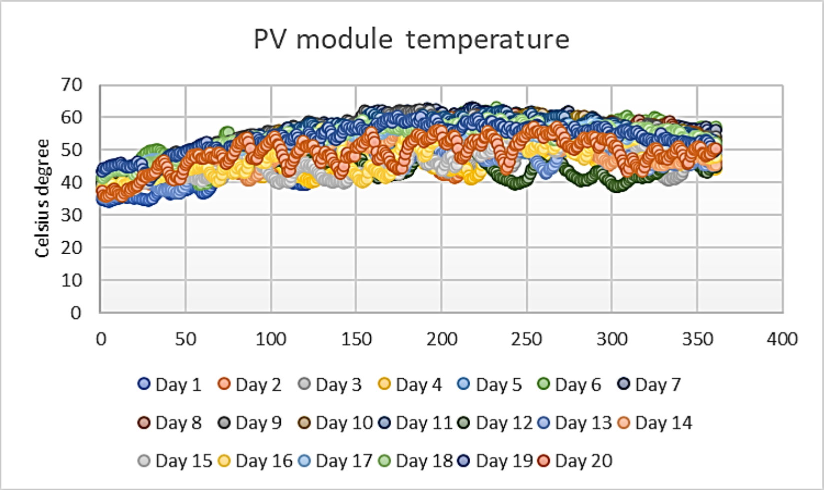
ภาพที่ 40 Scatter plot of Active power data by date



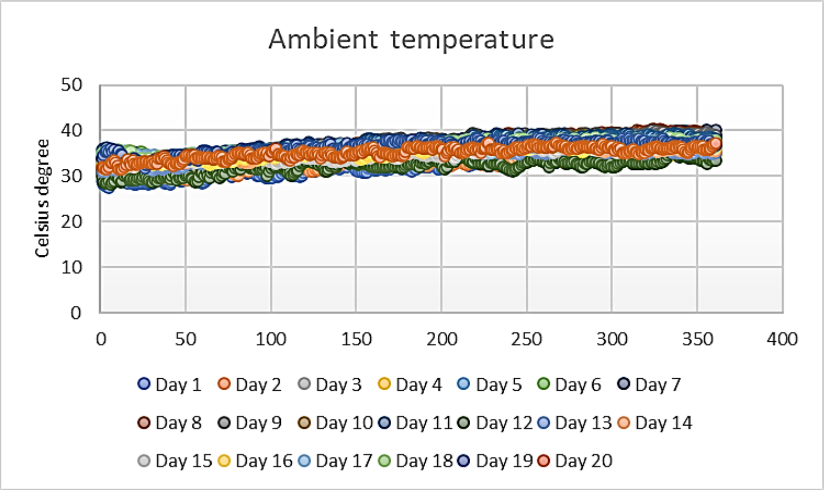
ภาพที่ 41 Scatter plot of Solar radiation data by date



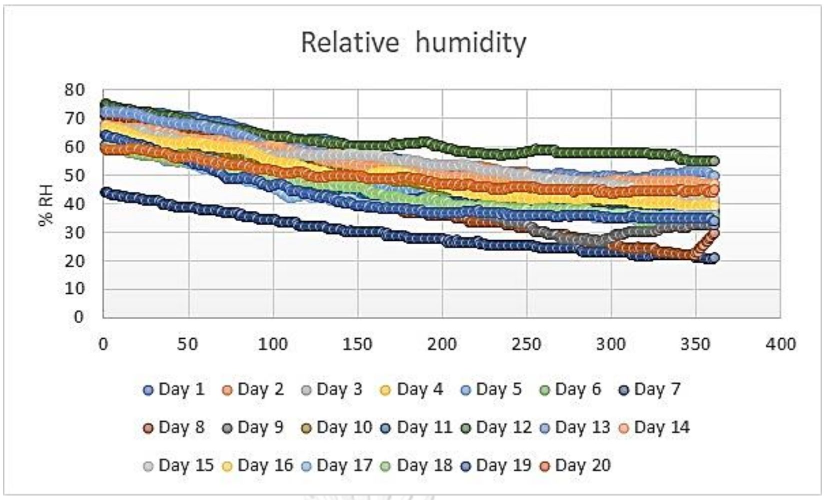
ภาพที่ 42 Scatter plot of Particulate matter 2.5 data by date



ภาพที่ 43 Scatter plot of PV module temperature data by date



ภาพที่ 44 Scatter plot of Ambient temperature data by date



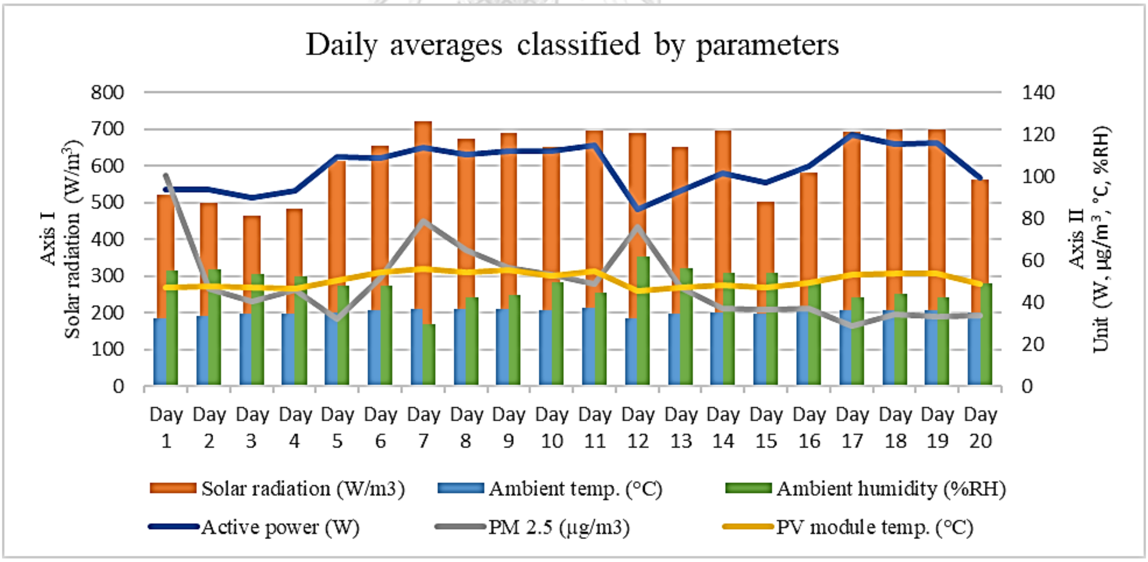
ภาพที่ 45 Scatter plot of Relative humidity data by date

สำหรับการสรุปข้อมูลจากค่าเฉลี่ยรายวันสำหรับ 6 พารามิเตอร์ จะแสดงเป็นแผนภูมิ (stacked area chart) ดังภาพที่ 46 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 119.79 วัตต์ ในวันที่ 17 และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 84.50 วัตต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง ส่วนข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุด 720.92 วัตต์ต่อตารางเมตร ในวันที่ 7 และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 464.76 วัตต์ต่อตารางเมตร ในวันที่ 3 ของการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าฝุ่นควันในอากาศ (PM 2.5) พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 100.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่แรก ในทางกลับกันมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 28.75 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่ 17 ของการทดลอง สำหรับอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 55.74 องศาเซลเซียล ในวันที่ 7 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 45.26 องศาเซลเซียล ในวันที่ 12 ของการทดลอง ส่วนข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุด 37.06 องศาเซลเซียล ในวันที่ 11 และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 32.15 องศาเซลเซียล ในวันที่ 12 ของการทดลอง รวมถึงข้อมูลสุดท้ายคือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 61.62 %RH ในวันที่ 12 ขณะที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 29.66 %RH ในวันที่ 7 ของการทดลอง

จากภาพที่ 46 แสดงผลรวมของความแปรผันของข้อมูลเฉลี่ยรายวันสำหรับพารามิเตอร์การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ ค่าฝุ่นละอองในอากาศ (PM 2.5) ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ตลอดจนค่าพลังงานผลิตได้ในแต่ละวัน จากกราฟมีข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับการแปรผันของพารามิเตอร์ตามเวลาและการกระจายข้อมูลเช่นพารามิเตอร์การแผ่รังสีแสงอาทิตย์พบว่าปริมาณเฉลี่ยต่อวันแตกต่างกันมากซึ่งมีค่าเฉลี่ย 256.16 W/m^2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 86.37 พารามิเตอร์นี้มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเช่น ปริมาณเมฆ ฝุ่นควันในอากาศ รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประการที่สองคือตัวแปรค่าฝุ่นละอองในอากาศ (PM 2.5) ที่มีค่าแตกต่างกันในแต่ละวันทั้งการเพิ่มและลดลงในแต่ละวัน โดยมีค่าเฉลี่ย 71.47 $\mu g/m^3$

และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.55 ปรากฏการณ์ความผันผวนในรายวันอาจเกิดขึ้นอย่างฉับพลันเช่นในวันที่ 1 PM 2.5 มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 100.22 μg / m^3 แต่ในวันถัดไปค่านั้นลดลงอย่างมากเหลือเพียง 46.31 μg / m^3 ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุรวมถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติและมลพิษทางอากาศ ในทางตรงกันข้ามพบว่าปัจจัยอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าพิสัยหรือช่วงความห่างของค่าข้อมูลสูงและต่ำเพียงแค่ 4.92 °C เท่านั้นและค่า SD มีค่า 1.42 ข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลในเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นฤดูร้อนในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติสำหรับการทดสอบการแจกแจงข้อมูลว่ามีลักษณะโค้งปกติหรือไม่ โดยพารามิเตอร์ค่าฝุ่นละอองในอากาศ (PM 2.5) และค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ มีความเบ้ไปทางขวา (Skewness> 0) และพารามิเตอร์ส่วนที่เหลือมีความเบ้ไปทางซ้าย (Skewness <0) ส่วนพารามิเตอร์ที่มีลักษณะโด่งสูงกว่าโค้งปกติ (Leptokurtic) คือค่าฝุ่นละออกในอากาศ (PM 2.5) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (kurtosis> 0) ในขณะที่พารามิเตอร์ส่วนที่เหลือมีลักษณะโด่งต่ำกว่าโค้งปกติ (Latykurtic) (kurtosis <0) ก็สามารถอธิบายได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีการแจกแจงใกล้เคียงกับโค้งปกติ ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ รวมถึงการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อทราบสมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนถัดไป ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 Mean of all parameters classified by date

5.1.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ผลจากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในรายคู่ของทุกพารามิเตอร์ พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกรวม 8 รายคู่ และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบรวม 7 รายคู่ จากทั้งหมดที่ทำวิเคราะห์ 15 รายคู่ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 Pearson correlation Coefficient

Factor	SR	PM	PVT	AMT	AMH#
Active power: AP	0.698**	-0.078**	0.661**	0.509**	-0.431**
Solar radiation: SR		0.063**	0.625**	0.438**	-0.374
Particulate matter 2.5 : PM			0.081**	-0.115**	-0.095**
PV module temperature: PVT				0.826**	-0.789**
Ambient temperature: AMT					-0.874**
***Correlation is significat at the 0.01 level, #Relative humidity*					

จากตารางความสัมพันธ์ข้างต้นพบว่าพารามิเตอร์อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกสูงที่สุด (r = 0.826) ซึ่งผลของรังสีดวงอาทิตย์ส่งผลทั้งอุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น รวมถึงอุณหภูมิที่แผงโซล่าเซลล์ที่สูงขึ้นและระบายความร้อนสู่อากาศแวดล้อมได้น้อยลงเพราะอุณหภูมิอากาศแวดล้อมก็สูงเช่นกัน รองลงมาคือพารามิเตอร์รังสีดวงอาทิตย์ (SR) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.698) ซึ่งหลักการพื้นฐานของโซล่าเซลล์จะเปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งหากมีความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูงขึ้นย่อมจะได้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ในทางตรงกันข้ามพบความสัมพันธ์เชิงลบที่สูงสุด คือพารามิเตอร์อุณหภูมิแวดล้อม (AMT) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = - 0.874) ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในอากาศลดน้อยลงหรือความชื้นที่สะสมในอากาศลดน้อยลงนั้นเอง รองลงมาคือพารามิเตอร์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.789) เนื่องมาจากผลของรังสีที่ส่องลงมาทำให้อุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์สูงขึ้นและในขณะเดียวกันความชื้นในอากาศก็ลดต่ำลงเนื่องจากได้รับรังสีของดวงอาทิตย์ ตามลำดับ ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ในลำดับถัดไปโดยทำการควบคุมพารามิเตอร์บางประการเพื่อค้นหาว่าปัจจัยในรายคู่อื่น ๆ มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ผลิตได้อย่างไรเพื่อค้นหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงเมื่อดำเนินการควบคุมพารามิเตอร์อื่นที่อาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ดังกล่าว

5.1.3 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบแยกส่วน

การวิเคราะห์เพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และเพื่อขจัดอิทธิพลของตัวแปรบางตัวที่อาจส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สนใจศึกษามีความคลาดเคลื่อนไป ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบแยกส่วน ด้วยการวิเคราะห์โดยควบคุมตัวแปรแต่ละตัวแปรรวม 5 ครั้ง ซึ่งเริ่มวิเคราะห์และควบคุมตัวแปรค่ารังสีดวงอาทิตย์ ตัวแปรค่าฝุ่นควันขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตัวแปรค่าอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์ ตัวแปรค่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม และตัวแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ตามลำดับ

5.1.3.1 ผลการวิเคราะห์โดยควบคุมตัวแปรค่ารังสีดวงอาทิตย์

เมื่อตัวแปรรังสีแสงอาทิตย์ถูกควบคุม พบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงสุดคือระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซล์ (PVT) มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.788) รองลงมาคือระหว่างอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.402) ในทางตรงกันข้ามพบว่าความสัมพันธ์เชิงลบที่สูงสุดคือระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นเดียวกัน (r = -0.852) รองลงมาคือระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) และอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.767) รายละเอียดดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 Partial correlations: Control Solar radiation

Control factor: Solar radiation	PM	PVT	AMT	AMH#
Active power: AP	-0.171**	0.402**	0.316**	-0.256**
Particulate matter 2.5 : PM		0.053**	-0.159**	-0.077**
PV module temperature: PVT			0.788**	-0.767**
Ambient temperature: AMT				-0.852**
**Partial correlation is significat at the 0.01 level, #Ambient humudity				

5.1.3.2 ผลการวิเคราะห์โดยควบคุมตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5)

เมื่อตัวแปรฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ถูกควบคุม พบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงสุดคือระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.844) รองลงมาคือระหว่างอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.672) ในทางตรงกันข้ามพบว่าความสัมพันธ์เชิงลบที่สูงสุดคือระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นเดียวกัน (r = -0.895) รองลงมาคือระหว่างความชื้น

สัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) และอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.788) รายละเอียดดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 Partial correlations: Control PM 2.5

Control factor: PM 2.5	SR	PVT	AMT	AMH#
Active power: AP	0.706**	0.672**	0.505**	-0.442**
Solar radiation: SR		0.623**	0.449**	-0.371**
PV module temperature: PVT			0.844**	-0.788**
Ambient temperature: AMT				-0.895**
***Partial correlation is significat at the 0.01 level, #Ambient humudity*				

5.1.3.3 ผลการวิเคราะห์โดยควบคุมตัวแปรอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์

เมื่อตัวแปรอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ถูกควบคุม พบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงสุดคือระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ (SR) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.486) รองลงมาคือระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ (SR) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.248) ในทางตรงกันข้ามพบว่าความสัมพันธ์เชิงลบที่สูงสุดคือระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นเดียวกัน (r = -0.642) รองลงมาคือระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.324) รายละเอียดดังตารางที่ 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 12 Partial correlations: Control PV module temp

Control factor: PV module temp.	SR	PM	AMT	AMH#
Active power: AP	0.486**	-0.176**	-0.089**	0.196**
Solar radiation: SR		0.016**	-0.179**	0.248**
Particulate matter 2.5 : PM			-0.324**	-0.050**
Ambient temperature: AMT				-0.642**
***Partial correlation is significat at the 0.01 level, #Ambient humudity*				

5.1.3.4 ผลการวิเคราะห์โดยควบคุมตัวแปรอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

เมื่อตัวแปรอุณหภูมิอากาศแวดล้อมถูกควบคุม พบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงสุดคือระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ (SR) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r =

0.613) รองลงมาคือระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ (SR) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.520) ในทางตรงกันข้ามพบว่าความสัมพันธ์เชิงลบที่สูงสุดคือระหว่างฝุ่นควันขนาดเล็กในอากาศ (PM) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นเดียวกัน (r = -0.405) รองลงมาคือระหว่างอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (AMH) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.244) รายละเอียดดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 Partial correlations: Control Ambient temp

Control factor: Ambient temp.	SR	PM	PVT	AMH[#]
Active power: AP	0.613**	-0.023	0.496**	0.032**
Solar radiation: SR		0.127**	0.520**	0.020
Particulate matter 2.5 : PM			0.315**	-0.405**
PV module temperature: PVT				-0.244**
Partial correlation is significat at the 0.01 level, [#]Ambient humudity				

5.1.3.5 ผลการวิเคราะห์โดยควบคุมตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

เมื่อตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศถูกควบคุม พบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงสุดคือระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ (SR) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.641) รองลงมาคือระหว่างรังสีดวงอาทิตย์ (SR) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีลักษณะความสัมพันธ์ในเชิงบวก (r = 0.579) ในทางตรงกันข้ามพบว่าความสัมพันธ์เชิงลบที่สูงสุดคือระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบเช่นเดียวกัน (r = -0.409) รองลงมาคือระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (AP) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ (r = -0.132) รายละเอียดดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 Partial correlations: Control Relative humidity

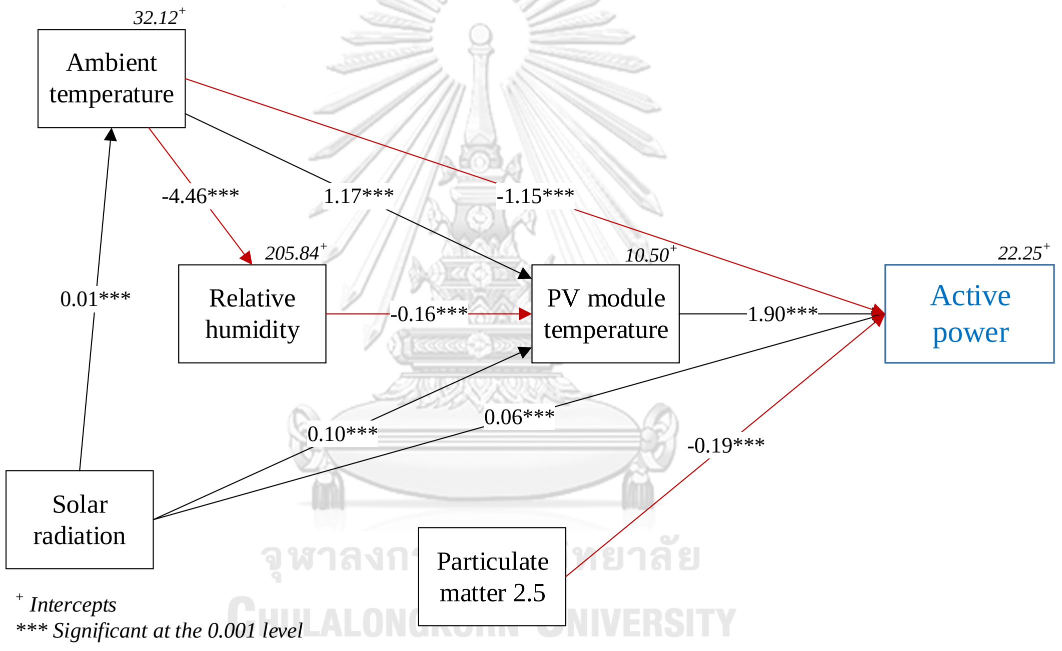
Control factor: Relative humidity	SR	PM	PVT	AMT[#]
Active power: AP	0.641**	-0.132**	0.579**	0.301**
Solar radiation: SR		0.030*	0.579**	0.246**
Particulate matter 2.5 : PM			0.010	-0.409**
PV module temperature: PVT				0.458**
***Partial correlation is significat at the 0.01 level, [#]Ambient temperature* **Partial correlation is significat at the 0.05 level*				

5.1.4 การวิเคราะห์สมการโครงสร้าง

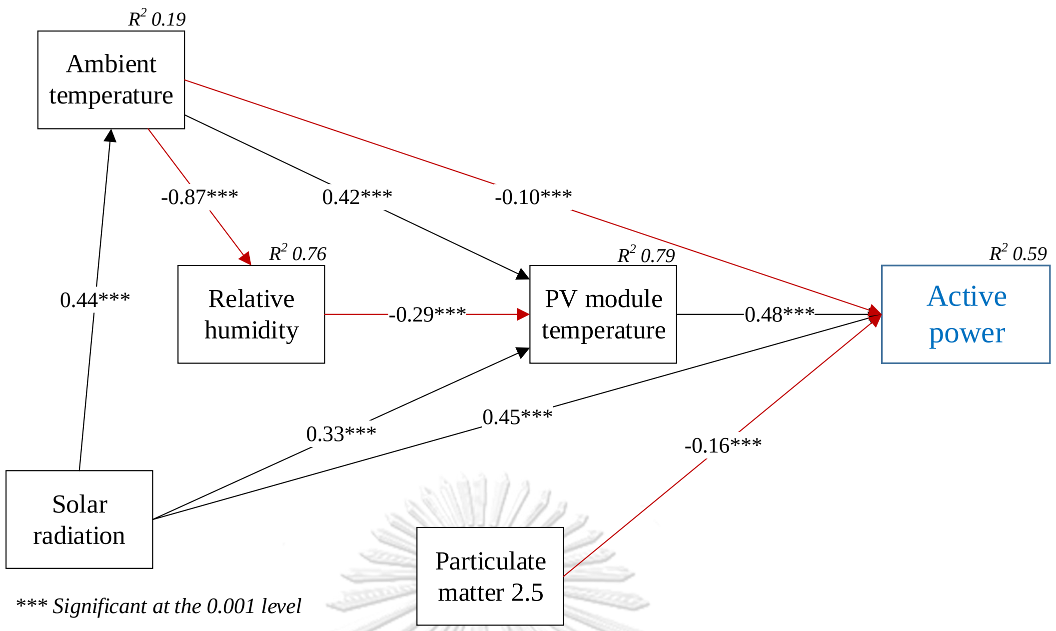
ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองสมการโครงสร้างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากนั้นดำเนินการปรับปรุงโมเดลตั้งต้นให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลนำเสนอตามขั้นตอนดังนี้

5.1.4.1 โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ (The causal relationship model)

การสร้างโมเดลพร้อมทั้งปรับปรุงให้มีความเหมาะสม พบว่าค่าดัชนีสำหรับวิเคราะห์ความกลมกลืนสูงกว่าเกณฑ์ตัดสินใจทุกด้าน ด้วยเหตุนี้โมเดลที่พัฒนาขึ้นจึงมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์เป็นอย่างดี ผู้วิจัยนำเสนอโมเดล 2 รูปแบบ ประกอบด้วย Unstandardized estimates model ดังภาพที่ 47 และ Standardized estimates model ดังภาพที่ 48



ภาพที่ 47 Unstandardized estimates model



ภาพที่ 48 Standardized estimates model

จากโมเดลในข้างต้นพบว่าดัชนีสำคัญซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีค่าดังนี้ Chi-square = 2.782, df = 1, CMIN / df = 2.782, CFI = 1.000, TLI = 0.999, RFI = 0.999 และ RMSEA = 0.048 ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 Model consistency with empirical data

Model	Chi-square	CMIN/df	CFI	TLI	RFI	RMSEA
All factors	2.782	2.782	1.000	0.999	0.999	0.016
Criterion		<3.00	>.95	>.95	>.95	< .07
Result		Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.4.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์เส้นทาง (Direction and Path coefficient of the model)

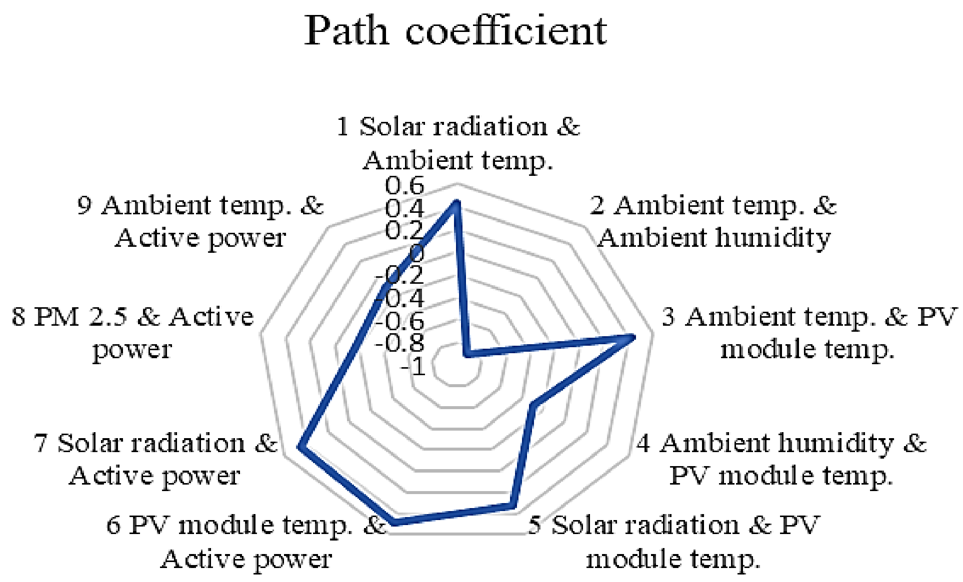
ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์เส้นทางของตัวแบบรายคู่ ดังตารางที่ 5-9 จะแสดงอิทธิพลทั้งด้านบวกและด้านลบรวมทั้ง 9 คู่ประกอบด้วยอิทธิพลเชิงบวก 5 คู่ตัวแปร ในทางกลับกันพบว่ามีอิทธิพลเชิงลบ 3 คู่ตัวแปร ได้แก่ 1) อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (-4.46) 2) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (-0.16) และ 3) ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (-0.19) แสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 Path coefficient of model

No.	Factor			Path coefficient	
				Unstandardized estimates	Standardized estimates
1	Solar radiation	→	Ambient temp.	0.01***	0.44***
2	Ambient temp.	→	Relative humidity	-4.46***	-0.87***
3	Ambient temp.	→	PV module temp.	1.17***	0.42***
4	Relative humidity	→	PV module temp.	-0.16***	-0.29***
5	Solar radiation	→	PV module temp.	0.01***	0.33***
6	PV module temp.	→	Active power	1.90***	0.48***
7	Solar radiation	→	Active power	0.06***	0.45***
8	PM 2.5	→	Active power	-0.19***	-0.16***
9	Ambient temp.	→	Active power	-1.15***	-0.10***

*** *Regression weights is significant at the 0.001 level*

จากผลการวิเคราะห์ในตารางข้างต้น ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางในรูปแบบ Unstandardized estimates และ Standardized estimates ดังกล่าวซึ่งแสดงในรายคู่ข้างต้น โดยพบว่าน้ำหนักการถดถอยในทุกคู่มีนัยสำคัญทางสถิติในระดับ 0.001 โดยมีค่าน้ำหนักการถดถอยในเชิงบวกจำนวน 5 คู่ และมีค่าน้ำหนักการถดถอยในเชิงลบจำนวน 4 คู่ ได้แก่ 1) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity) มีค่า -0.87 ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในอากาศลดน้อยลงหรือความชื้นที่สะสมในอากาศลดน้อยลงนั้นเอง 2) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity) และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PV module temperature) มีค่า -0.29 เนื่องมาจากผลของรังสีที่ส่องลงมาทำให้อุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์สูงขึ้นและในขณะเดียวกันความชื้นที่สะสมในอากาศก็ลดต่ำลงเนื่องจากได้รับรังสีของดวงอาทิตย์ 3) ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Active power) มีค่า -0.16 โดยหากสภาพอากาศในบริเวณดังกล่าวมีคุณภาพที่ไม่ดีย่อมลดทอนปริมาณรังสีที่จะตกกระทบมายังแผงโซล่าเซลล์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ด้วยเหตุนี้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงลดลง และ 4) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature) และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Active power) มีค่า -0.10 โดยอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่สูงขึ้นการระบายความร้อนของแผงโซล่าเซลล์น้อยส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมสูงขึ้นและความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดน้อยลง อธิบายได้โดยแผนภูมิเรดาร์ ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 Radar chart for standardized Path coefficient

5.1.4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Analysis of influence factors on active energy)

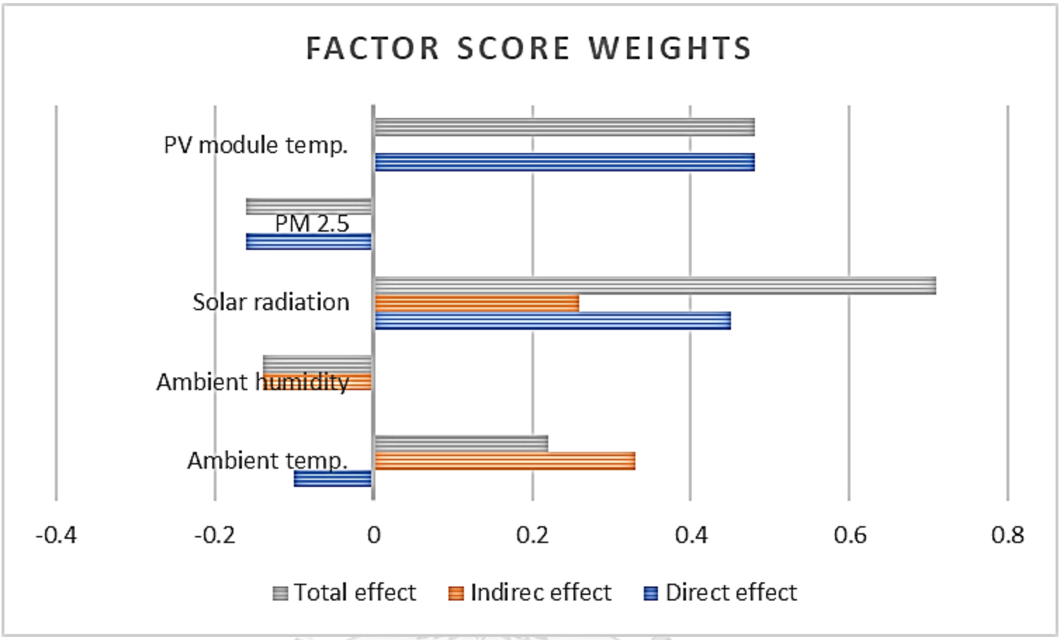
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รับอิทธิพลเชิงบวกโดยตรง (Direct effect) จากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ ในขณะที่อิทธิพลเชิงลบทางตรงมาจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ในทางกลับกันอิทธิพลเชิงบวกในทางอ้อม (Indirect effect) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ในขณะที่อิทธิพลเชิงลบทางอ้อมมาจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 17 All factor score weights

Factor	Dependent variable (active power)		
	Direct effect	Indirect effect	Total effect
Ambient temperature: AMT	-1.15^{+}, ($-0.10^{\#}$)	3.59^{+}, ($0.33^{\#}$)	2.44^{+}, ($0.22^{\#}$)
Relative humidity: AMH		-0.30^{+}, ($-0.14^{\#}$)	-0.30^{+}, ($-0.14^{\#}$)
Solar radiation: SR	0.06^{+}, ($0.45^{\#}$)	0.03^{+}, ($0.26^{\#}$)	0.09^{+}, ($0.71^{\#}$)
PM 2.5: PM	-0.19^{+}, ($-0.16^{\#}$)		-0.19^{+}, ($-0.16^{\#}$)
PV module temperature: PVT	1.90^{+}, ($0.48^{\#}$)		1.90^{+}, ($0.48^{\#}$)
$^{+}$*Unstandardized effects,* $^{\#}$*Stardized effects*			

จากตารางข้างต้นพบว่าอิทธิพลทั้งหมด (Total effect) ต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้รับอิทธิพลรวมสูงสุดในเชิงบวกจากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ รองลงมาคืออุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้รับอิทธิพลรวมสูงสุดในเชิงลบมาจากปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 Clustered chart for standardized factor score weights

5.1.4.3 สมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Prediction Equation)

จากโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุในข้างต้นที่ได้จากการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง (SEM) ผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาสมการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ โดยพิจารณาจากตัวแบบ Unstandardized estimates model ซึ่งค่าคงที่ในสมการเท่ากับ 22.25 จากข้อมูลของค่าในตาราง Intercepts หรือเป็น Estimates of intercepts for predicting endogenous variables ส่วนค่าประมาณของน้ำหนักการถดถอย จากตาราง Regression Weights ของแต่ละตัวแปรจะถูกนำมากำหนดในสมการ อาทิ สำหรับสีดวงอาทิตย์ (SR) มีค่า 0.06 ส่วนของอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) มีค่า 1.9 ทั้งสองมีค่าในเชิงบวก ในทางกลับกันพบว่ามีดัชนีบางตัวที่มีน้ำหนักการถดถอยที่มีค่าในเชิงลบ คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม มีค่า -1.15 รวมถึงฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ มีค่า -0.19 โดยสมการที่พัฒนาจากผลการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง (SEM) เพื่อการทำนายปริมาณพลังงานไฟฟ้าผลิตได้ที่แปรเปลี่ยนตามสภาวะแวดล้อม แสดงดังสมการที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

สมการทำนายพลังงานไฟฟ้าจากการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง (SEM)

$$\hat{y}_{Active\ power} = 22.25 + 0.06(SR) + 1.9(PVT) - 1.15(AMT) - 0.19(PM) \quad 5.1$$

หรือเขียนสมการที่ 5.1 เต็มรูปได้สมการที่ 5.2 ดังนี้

$$\hat{y}_{Active\ power} = 22.25 + 0.06(Solar\ radiation) + 1.9(PV\ temperature) - 1.15(Ambient\ temperature) - 0.19(PM2.5) \quad 5.2$$

สูตรสำหรับการคำนวณข้างต้นพัฒนามาจากโมเดลสมการโครงสร้างเพื่อการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ด้วยพารามิเตอร์ในการทำนายหลักประกอบด้วยปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (SR) ค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) บริเวณที่ติดตั้งระบบ และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ทั้งนี้สมการที่พัฒนาขึ้นมาสามารถอธิบายการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 59.0% (R^2 = 0.59) ของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ (สมการดังกล่าวสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงระหว่างวัน หรือกล่าวคือในช่วงที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้น)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าโมเดลสมการโครงสร้างในรูปที่ 5-9 สามารถใช้ในการคำนวณเพื่อคาดการณ์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ตามขนาดของระบบในพื้นที่ติดตั้งซึ่งมีลักษณะเช่นเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นได้อย่างไร ทั้งนี้ผู้วิจัยจะนำแนวคิดและสมการทำนายที่สร้างขึ้นไปสู่การพัฒนาสูตรการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตตั้งของระบบโซล่าเซลล์ที่ใช้กันในปัจจุบัน ให้เป็นสูตรการคำนวณที่คำนึงถึงปัจจัยอื่นที่มีลักษณะเฉพาะในเขตภูมิภาคแบบร้อนชื้นต่อไป

5.1.5 การพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนี Ambient temperature และ PM 2.5

ผู้วิจัยทำการพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีทั้งสองด้วยการคำนวณผลลัพธ์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้สภาพแวดล้อมตามสมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่สร้างมาจากการทดลองในข้างต้น โดยแบ่งการพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดแต่ละด้านเริ่มจากดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature) และดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ดังนี้

5.1.5.1 การพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

จากสมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าในหัวข้อ 5.1.4 ผู้วิจัยทำการสร้างเกณฑ์ชี้วัดของดัชชีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ด้วยการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าผลิตจากสมการทำนายที่ 5.1 โดยสมการดังกล่าวมีปัจจัยทำนายประกอบด้วย ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (SR) ค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) ในบริเวณที่ติดตั้งระบบฯ และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ซึ่งในหัวข้อนี้เป็นการหาดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

(AMT) จึงทำการกำหนดตัวแปรการทำนายอื่นให้คงที่ โดยค่าคงที่ของ SR, PVT, PM 2.5 กำหนดจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.1.1 [SR=622.54 w/m^2, PVT=50.61 °C, PM=49.06 μg/m^2] และแทนค่าคงที่ดังกล่าวลงในสมการที่ 5.1 ดังแสดงในสมการที่ 5.3

$$\hat{y}_{Active\ power} = 22.25 + 0.06(622.54) + 1.9(50.61) - 1.15(AMT) - 0.19(49.06) \qquad 5.3$$

จากสมการที่ 5.3 ปรับรูปเป็นสมการที่ 5.4

$$\hat{y}_{Active\ power} = 146.44 - 1.15(AMT) \qquad 5.4$$

คำนวณหาร้อยละที่ลดลงของพลังงานไฟฟ้า ได้ดังสมการที่ 5.5

$$\%D_{AP} = \frac{AP - \hat{Y}_{ap}}{AP} \times 100 \qquad 5.5$$

เมื่อ $\%D_{AP}$ = ร้อยละที่ลดลงจากพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับสมการเดิม

AP = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามสมการปกติ

$\hat{Y}_{ap}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขปัจจัย AMT

ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) คำนวณได้ดังสมการที่ 5.6

$$AMT_{index} = 1 - \left[\frac{AP - \hat{Y}_{ap}}{AP}\right] \qquad 5.6$$

เมื่อต้องการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง ($\hat{Y}_{ap}$) หรือที่เรียกว่า $E_{load(AMT)}$ ภายใต้การคำนึงถึงปัจจัยดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.7 ดังนี้

$$\hat{Y}_{ap} = AP \times AMT_{index} \qquad 5.7$$

หรือเขียนในรูปของสมการที่ 5.8 ดังนี้

$$E_{load(AMT)} = E_{load} \times AMT_{index} \qquad 5.8$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อ $E_{load(AMT)}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือที่ต้องการภายใต้เงื่อนไข AMT

E_{load} = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือาที่ต้องการตามสมการปกติ

AMT_{index} = ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

จากสมการที่ 5.8 หากต้องการทราบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการตามสมการปกติ (E_{load}) สามารถคำนวณตามสมการที่ 5.9 ดังนี้

$$E_{load} = \frac{E_{load(AMT)}}{AMT_{index}} \quad 5.9$$

จากสมการทำนายนำมาสู่การพัฒนาดัชนี AMT ด้วยการคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง ด้วยการแทนค่า AMT ในสมการที่ 5.3 ตั้งแต่ 35.3 °C และคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และบันทึกผล จากนั้นเพิ่มค่า AMT ขึ้นไปครั้งละ 0.1 °C ทำการคำนวณเช่นเดียวกัน จนถึงค่า AMT 40.0 °C จากนั้นพิจารณาค่าพลังงานที่ลดลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการหาร้อยละของพลังงานที่ลดลงและกำหนดเป็นค่าดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index})

ผลการคำนวณพบว่าหากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีแนวโน้มสูงขึ้น ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากผลการคำนวณนำมาสู่การกำหนดค่าดัชนีสำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.949 – 1.000 ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

Ambient Temp. (°C)	Active Power (W)	Decrease* (W)	% Decrease	AMT index
35.30	105.85	0.05	0.043	1.000
35.40	105.73	0.16	0.152	0.998
35.50	105.62	0.28	0.261	0.997
35.60	105.50	0.39	0.369	0.996
35.70	105.39	0.51	0.478	0.995
35.80	105.27	0.62	0.586	0.994
35.90	105.16	0.74	0.695	0.993
36.00	105.04	0.85	0.804	0.992
36.10	104.93	0.97	0.912	0.991
36.20	104.81	1.08	1.021	0.990
36.30	104.70	1.20	1.129	0.989
36.40	104.58	1.31	1.238	0.988

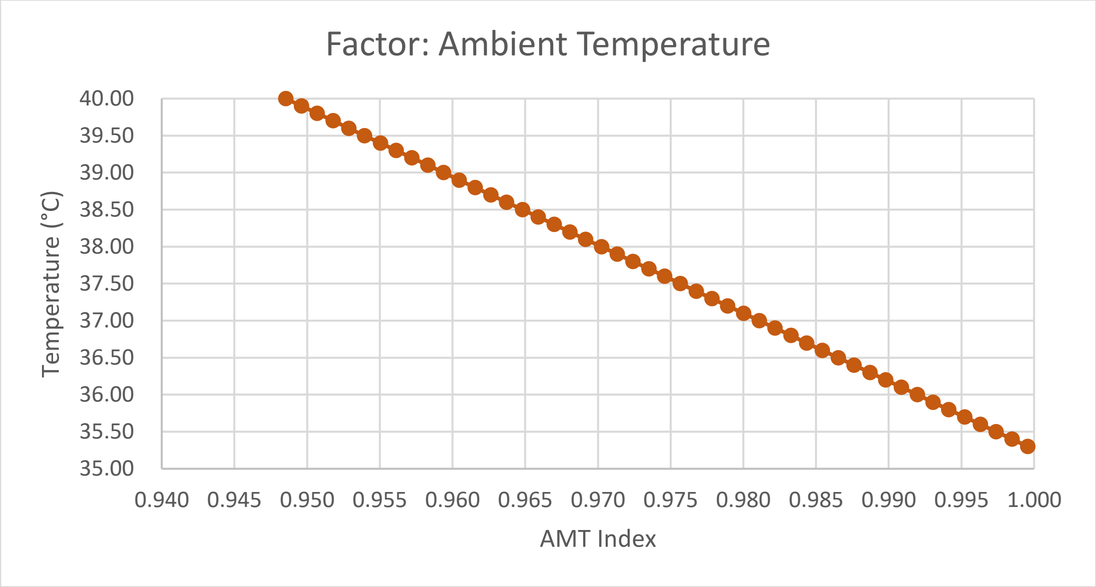
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ambient Temp. (°C)	Active Power (W)	Decrease* (W)	% Decrease	AMT index
36.50	104.47	1.43	1.347	0.987
36.60	104.35	1.54	1.455	0.985
36.70	104.24	1.66	1.564	0.984
36.80	104.12	1.77	1.672	0.983
36.90	104.01	1.89	1.781	0.982
37.00	103.89	2.00	1.890	0.981
37.10	103.78	2.12	1.998	0.980
37.20	103.66	2.23	2.107	0.979
37.30	103.55	2.35	2.215	0.978
37.40	103.43	2.46	2.324	0.977
37.50	103.32	2.58	2.433	0.976
37.60	103.20	2.69	2.541	0.975
37.70	103.09	2.81	2.650	0.974
37.80	102.97	2.92	2.758	0.972
37.90	102.86	3.04	2.867	0.971
38.00	102.74	3.15	2.976	0.970
38.10	102.63	3.27	3.084	0.969
38.20	102.51	3.38	3.193	0.968
38.30	102.40	3.50	3.302	0.967
38.40	102.28	3.61	3.410	0.966
38.50	102.17	3.73	3.519	0.965
38.60	102.05	3.84	3.627	0.964
38.70	101.94	3.96	3.736	0.963
38.80	101.82	4.07	3.845	0.962
38.90	101.71	4.19	3.953	0.960
39.00	101.59	4.30	4.062	0.959
39.10	101.48	4.42	4.170	0.958
39.20	101.36	4.53	4.279	0.957
39.30	101.25	4.65	4.388	0.956
39.40	101.13	4.76	4.496	0.955
39.50	101.02	4.88	4.605	0.954
39.60	100.90	4.99	4.713	0.953
39.70	100.79	5.11	4.822	0.952

Ambient Temp. (°C)	Active Power (W)	Decrease* (W)	% Decrease	AMT index
39.80	100.67	5.22	4.931	0.951
39.90	100.56	5.34	5.039	0.950
40.00	100.44	5.45	5.148	0.949

** Decrease from base active Power (105.89 W) [SR=622.54, PVT=50.61, PM=49.06]*

จากผลการคำนวณหาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในระดับต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผู้วิจัยนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 51



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและค่าดัชนี

5.1.5.2 การพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ

จากสมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าในหัวข้อ 5.1.4 ผู้วิจัยทำการสร้างเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ด้วยการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าผลิตจากสมการทำนายที่ 5.1 โดยสมการดังกล่าวมีปัจจัยทำนายประกอบด้วย ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (SR) ค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ (PVT) ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) ในบริเวณที่ติดตั้งระบบฯ และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ซึ่งในหัวข้อนี้เป็นการหาดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) จึงทำการกำหนดตัวแปรการทำนายอื่นให้คงที่ โดยค่าคงที่ของ SR, PVT, AMT กำหนดจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.1.1 [SR=622.54 w/m^2, PVT=50.61 °C, AMT=35.26 °C] และแทนค่าคงที่ดังกล่าวลงในสมการที่ 5.1 ดังแสดงในสมการที่ 5.10

$$\hat{y}_{Active\ power} = 22.25\ +\ 0.06(622.54) + 1.9(50.61) -\ 1.15(35.26) - 0.19(PM) \qquad 5.10$$

จากสมการที่ 5.10 ปรับรูปเป็นสมการที่ 5.11

$$\hat{y}_{Active\ power} = 115.21 - 0.19(PM) \qquad 5.11$$

คำนวณหาร้อยละที่ลดลงของพลังงานไฟฟ้า ได้ดังสมการที่ 5.12

$$\%D_{AP} = \frac{AP\ -\ \hat{Y}_{ap}}{AP} \times 100 \qquad 5.12$$

เมื่อ $\%D_{AP}$ = ร้อยละที่ลดลงจากพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับสมการเดิม

AP = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามสมการปกติ

$\hat{Y}_{ap}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขปัจจัย PM

ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) คำนวณได้ดังสมการที่ 5.13

$$PM_{index} =\ 1 - \left[\frac{AP - \hat{Y}_{ap}}{AP}\right] \qquad 5.13$$

เมื่อต้องการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง ($\hat{Y}_{ap}$) หรือที่เรียกว่า $E_{load(PM)}$ ภายใต้การคำนึงถึงปัจจัยดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.14 ดังนี้

$$\hat{Y}_{ap} =\ AP\ \times\ PM_{index} \qquad 5.14$$

หรือเขียนในรูปของสมการที่ 5.15 ดังนี้

$$E_{load(PM)} =\ E_{load}\ \times\ PM_{index} \qquad 5.15$$

เมื่อ $E_{load(PM)}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือที่ต้องการภายใต้เงื่อนไข PM

E_{load} = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือที่ต้องการตามสมการปกติ

PM_{index} = ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากสมการที่ 5.15 หากต้องการทราบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการตามสมการปกติ (E_{load}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.16 ดังนี้

$$E_{load} = \frac{E_{load(PM)}}{PM_{index}} \qquad 5.16$$

จากสมการทำนายนำมาสู่การพัฒนาดัชนี PM ด้วยการคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ด้วยการแทนค่า PM ในสมการที่ 5.4 ตั้งแต่ 50 $\mu g/m^2$ และคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และบันทึกผล จากนั้นเพิ่มค่า PM ขึ้นไปครั้งละ 1 $\mu g/m^2$ ทำการคำนวณเช่นเดียวกัน จนถึงค่า PM 100 $\mu g/m^2$ จากนั้นพิจารณาค่าพลังงานที่ลดลงในแต่ละช่วงของค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการหาร้อยละของพลังงานที่ลดลงและกำหนดเป็นค่าดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index})

ผลการคำนวณพบว่าหากฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้น ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากผลการคำนวณนำมาสู่การกำหนดค่าดัชนีสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.909 – 0.997 ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5)

Particulate matter 2.5	Active Power (W)	Decrease* (W)	% Decrease	PM 2.5 index
50	105.71	0.18	0.169	1.000
51	105.52	0.37	0.348	0.997
52	105.33	0.56	0.528	0.995
53	105.14	0.75	0.707	0.993
54	104.95	0.94	0.886	0.991
55	104.76	1.13	1.066	0.989
56	104.57	1.32	1.245	0.988
57	104.38	1.51	1.425	0.986
58	104.19	1.70	1.604	0.984
59	104.00	1.89	1.784	0.982
60	103.81	2.08	1.963	0.980
61	103.62	2.27	2.142	0.979
62	103.43	2.46	2.322	0.977
63	103.24	2.65	2.501	0.975
64	103.05	2.84	2.681	0.973

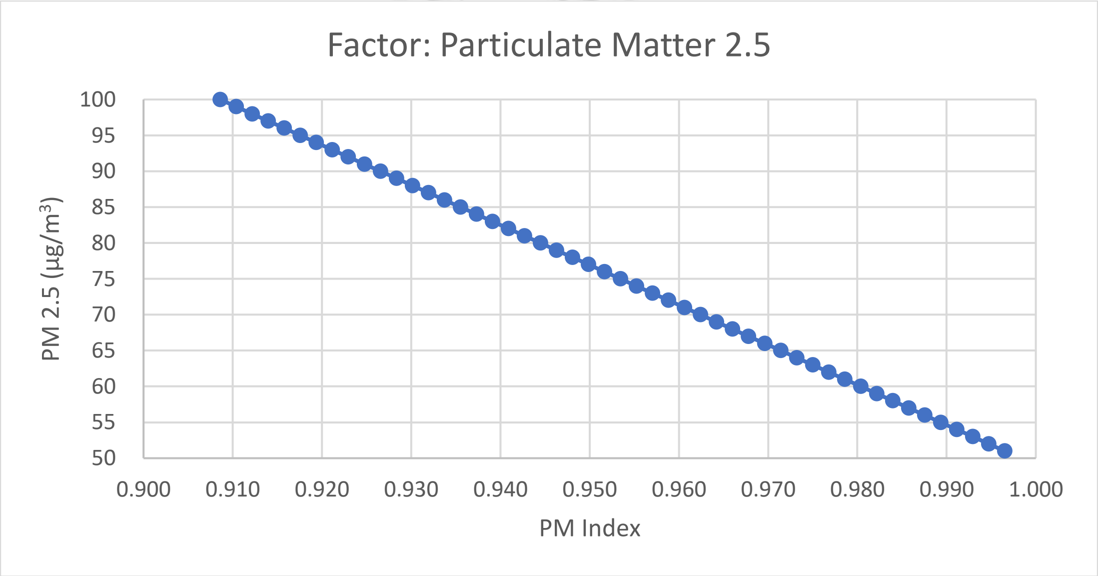
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Particulate matter 2.5	Active Power (W)	Decrease* (W)	% Decrease	PM 2.5 index
65	102.86	3.03	2.860	0.971
66	102.67	3.22	3.040	0.970
67	102.48	3.41	3.219	0.968
68	102.29	3.60	3.398	0.966
69	102.10	3.79	3.578	0.964
70	101.91	3.98	3.757	0.962
71	101.72	4.17	3.937	0.961
72	101.53	4.36	4.116	0.959
73	101.34	4.55	4.296	0.957
74	101.15	4.74	4.475	0.955
75	100.96	4.93	4.654	0.953
76	100.77	5.12	4.834	0.952
77	100.58	5.31	5.013	0.950
78	100.39	5.50	5.193	0.948
79	100.20	5.69	5.372	0.946
80	100.01	5.88	5.552	0.944
81	99.82	6.07	5.731	0.943
82	99.63	6.26	5.910	0.941
83	99.44	6.45	6.090	0.939
84	99.25	6.64	6.269	0.937
85	99.06	6.83	6.449	0.936
86	98.87	7.02	6.628	0.934
87	98.68	7.21	6.808	0.932
88	98.49	7.40	6.987	0.930
89	98.30	7.59	7.166	0.928
90	98.11	7.78	7.346	0.927
91	97.92	7.97	7.525	0.925
92	97.73	8.16	7.705	0.923
93	97.54	8.35	7.884	0.921
94	97.35	8.54	8.064	0.919
95	97.16	8.73	8.243	0.918
96	96.97	8.92	8.422	0.916
97	96.78	9.11	8.602	0.914

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Particulate matter 2.5	Active Power (W)	Decrease* (W)	% Decrease	PM 2.5 index
98	96.59	9.30	8.781	0.912
99	96.40	9.49	8.961	0.910
100	96.21	9.68	9.140	0.909
** Decrease from base active Power (105.89 W) [SR=622.54, PVT=50.61, AMT=35.26]*				

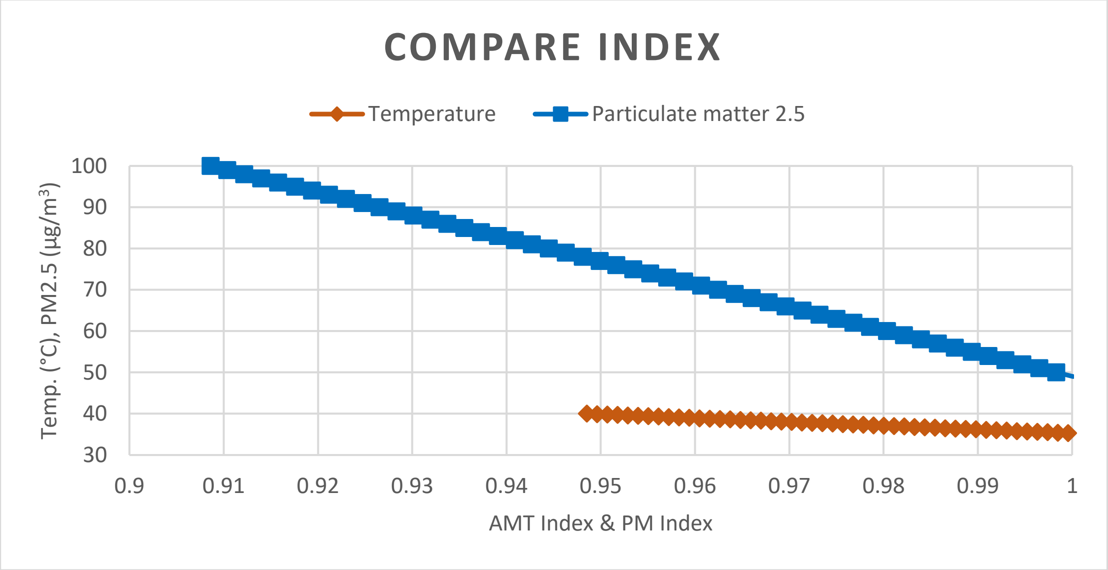
จากผลการคำนวณหาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM 2.5) ในระดับต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผู้วิจัยนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศและค่าดัชนี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการศึกษาข้างต้นนำมาสู่การกำหนดช่วงของค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ และค่าดัชนีที่ควรเลือกใช้สำหรับการคำนวณการลดทอนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบ สามารถแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมและค่าดัชนี

ผลการศึกษาข้างต้นหากต้องการทราบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขปัจจัย AMT และ PM ควบคู่กัน จากสมการที่ 5.7 และ 5.14 นำมาสู่สมการที่ 5.17 ดังนี้

$$\hat{Y}_{apt} = AP \times AMT_{index} \times PM_{index} \quad 5.17$$

เมื่อ $\hat{Y}_{apt}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขปัจจัย AMT และ PM

AP = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามสมการปกติ

AMT_{index} = ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

PM_{index} = ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ

หรือเขียนในรูปของสมการที่ 5.18 ดังนี้

$$E_{load} = \frac{E_{load(AMT\&PM)}}{AMT_{index} \times PM_{index}} \quad 5.18$$

โดยที่

E_{load} = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือที่ต้องการตามสมการปกติ

$E_{load(AMT\&PM)}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หรือที่ต้องการภายใต้เงื่อนไข AMT และ PM

AMT_{index} = ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

PM_{index} = ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ

5.2 การพัฒนาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์

ผู้วิจัยนำข้อค้นพบที่ได้จากวิเคราะห์ผลการทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าในข้างต้น จนนำมาสู่ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) และดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) ซึ่งพัฒนาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากสมการที่ 5.1 โดยการกำหนดค่าคงที่ในตัวแปรการทำนาย และแทนค่าปัจจัยทำนาย (AMT หรือ PM) ตามดัชนีที่ต้องการพัฒนา (AMT_{index} หรือ PM_{index}) จากนั้นทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Active power) จากปัจจัยดังกล่าว ซึ่งจะเห็นได้ว่าดัชนีทั้งสองที่พัฒนาขึ้นมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกับพลังงานที่ผลิตได้

จากการคำนวณในข้างต้น จะพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจะมีค่าลดน้อยลงกว่าการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าแบบปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เขตร้อนชื้นดังเช่นประเทศไทย ด้วยเหตุนี้ในขั้นตอนการคำนวณหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบฯ ควรคำนึงถึงปัจจัยที่ไม่ถูกนำมาเข้าร่วมในการพิจารณาในขั้นตอนการออกแบบระบบ คือ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) ผู้วิจัยนำดัชนีดังกล่าวมาปรับปรุงสมการสำหรับการคำนวณขนาดกำลังการผลิตติดตั้งเพื่อให้เกิดความแม่นยำและเหมาะสมในเชิงพื้นที่ ในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ต่อไป

5.2.1 การพัฒนาสมการการออกแบบใหม่

จากทฤษฎีทางไฟฟ้าสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่กล่าวถึงในบทที่ 4 โดยสมการที่ 4.8 หากพิจารณาเป้าหมายเป็นการคำนวณหาพลังงานที่ต้องการใช้หรือเป้าหมายพลังงานที่ต้องการได้รับจากระบบ (E_{load}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.19 (Iemsomboon et al., 2013; Mostafa et al., 2016; Sakulpong et al., 2011; Schmid, 2002; Skunpong et al., 2008; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$E_{load} = \frac{E_{glob} \times P_{peak} \times Q}{I_{STC}} \quad 5.19$$

การคำนวณหาพลังงานที่ผลิตได้จากระบบ จากสมการที่ 5.19 มีตัวแปรสำหรับการคำนวณ 4 ตัวแปร ผลลัพธ์ที่ได้จากผลคูณของค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งโลกต่อวัน (E_{glob}) ขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (P_{peak}) และดัชนีคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์ (Q) หารด้วยค่าการแผ่รังสีลงมาพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไขการทดสอบ STC (I_{STC}) ดังนั้นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (E_{load}) จึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์ซึ่งในการคำนวณมักใช้ค่า Q ระหว่าง 0.60 – 0.75 (แสดงไว้ในตารางที่ 4 - 1) สำหรับระบบโซล่าเซลล์แบบเชื่อมต่อกับระบบ (Grid-connected) โดยค่า Q ที่ลดลงจาก 1 (ค่าตามทฤษฎี) คือคุณภาพของระบบที่มีค่าน้อยลงนั้นเอง

ค่าคุณภาพของระบบ (Q) ขึ้นอยู่กับระบบที่เลือกใช้ อุปกรณ์ประกอบระบบ รวมถึงปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งผู้ออกแบบมักเลือกใช้ค่าดังกล่าวตามระบบและจากประสบการณ์ที่ผ่านมาในโครงการก่อนหน้าในการกำหนดค่าของปัจจัยดังกล่าว ด้วยเหตุนี้หากค่าคุณภาพของระบบมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าที่ชัดเจนจะทำให้การประเมินระบบโซล่าเซลล์มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น

ผู้วิจัยทำการศึกษาแนวคิดในการกำหนดค่าคุณภาพของระบบหรือปัจจัยอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันสำหรับการแทนค่าเพื่อคำนวณในสมการหลัก (สมการที่ 5.19) ซึ่งในทางทฤษฎีค่าคุณภาพของระบบจะเท่ากับ 1 (*Q=1*) ซึ่งในความเป็นจริงมีปัจจัยหลากหลายที่ลดทอนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษาของ Khatib, Mohamed, and Sopian (2013) ทำการศึกษาเรื่อง *"A review of photovoltaic systems size optimization techniques"* ได้ใช้สมการหลักในการคำนวณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากสมการหลักที่ผู้วิจัยทบทวนไว้ในบทที่ 4 (สมการที่ 4.7) ซึ่งได้แปลงค่าปัจจัยคุณภาพของระบบ (Q) ออกเป็นค่าประสิทธิภาพของระบบ (η_S) ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η_{inv}) และอัตราส่วนปลอดภัย (S_f) ซึ่งเผื่อสำหรับความผิดพลาดของการคำนวณจากปัจจัยด้านอื่นที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ส่วนผลการศึกษาของ Drif et al. (2007) ได้กล่าวถึง พารามิเตอร์ของประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบฯ ต้องพิจารณาจากประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η_{inv}) ซึ่งคำนวณจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับต่อพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และประสิทธิภาพของระบบ (η_{sys}) ซึ่งเกี่ยวข้องความสามารถในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ากับความสูญเสียในระบบสายไฟฟ้าทั้งด้านกระแสตรงและกระแสสลับรวมถึงการสูญเสียในอุปกรณ์และจุดต่อของระบบ ทั้งในรูปแบบของแรงดันตกและแสดงออกมาในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นในสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ขณะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพิจารณาความสูญเสีย (capture losses: L_c) ซึ่งเกิดจากความสูญเสียจากอุณหภูมิ (thermal losses: L_{ct}) และความสูญเสียเบ็ดเตล็ดที่เกิดในระบบ (miscellaneous losses: L_{cm})

แนวคิดข้างต้นสอดคล้องกับ B. S. Kumar and Sudhakar (2015) ที่ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบขนาด 10 MW รวมถึงผลงานจากคณะนักวิจัยข้างต้น N. M. Kumar et al. (2020) ที่ศึกษาเพิ่มเติมในด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบโซล่าแบบเชื่อมต่อกับระบบ ซึ่งปรากฏการกำหนดปัจจัยคุณภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกับผลงานวิจัยในครั้งแรก และเป็นไปในทำนองเดียวกันกับ Drif et al. (2007) ที่กล่าวแล้วในข้างต้น ด้วยแนวคิดที่สอดคล้องกันสำหรับการประเมินขนาดกำลังการผลิตติดตั้งระบบฯ จึงสรุปได้ว่า องค์ประกอบของปัจจัยคุณภาพระบบประกอบด้วย ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η_{inv})

ประสิทธิภาพของระบบ (η_{sys}) ความสูญเสียจากอุณหภูมิ (thermal losses: L_{ct}) และความสูญเสียเบ็ดเตล็ดที่เกิดในระบบ (miscellaneous losses: L_{cm}) เป็นส่วนที่ผู้ออกแบบระบบมักใช้ในการกำหนดค่าคุณภาพของระบบ (Q) ในการคำนวณหาขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ

จากการทบทวนการศึกษาวิจัยในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาค่าปัจจัยคุณภาพระบบที่นำมาคำนวณในสมการ มักใช้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η_{inv}) ประสิทธิภาพของระบบ (η_{sys}) แสดงได้ดังสมการที่ 5.20

$$Q = \eta_{sys} \times \eta_{inv} \quad 5.20$$

เมื่อ Q = ดัชนีคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์

η_{sys} = ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า (Electrical system efficiency)

η_{inv} = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (Inverter efficiency)

จากสมการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมดังกล่าวถึงแล้วในสมการที่ 5.1 ถึง 5.18 จนนำมาสู่การพัฒนาดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT_{index}) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 18 รวมถึงการพัฒนาดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM_{index}) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 19 กระบวนการพัฒนาข้างต้นได้สมการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ดังสมการที่ 5.18

การพัฒนาสมการการออกแบบใหม่เริ่มจากนำสมการที่ 5.18 มาแทนค่าในสมการที่ 5.19 เพื่อคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขทั้งหมด (AMT_{index} และ PM_{index}) แสดงดังสมการที่ 5.21

$$\frac{E_{load(AMT\&PM)}}{AMT_{index} \times PM_{index}} = \frac{E_{glob} \times P_{peak} \times Q}{I_{STC}} \quad 5.21$$

จากสมการที่ 5.21 เขียนได้เป็นสมการที่ 5.22 ดังนี้

$$E_{load(AMT\&PM)} = \frac{E_{glob} \times P_{peak} \times Q \times AMT_{index} \times PM_{index}}{I_{STC}} \quad 5.22$$

นำปัจจัยคุณภาพระบบจากสมการที่ 5.20 แทนค่าในสมการที่ 5.22 ได้ดังสมการที่ 5.23

$$E_{load(AMT\&PM)} = \frac{E_{glob} \times P_{peak} \times \eta_{sys} \times \eta_{inv} \times AMT_{index} \times PM_{index}}{I_{STC}} \quad 5.23$$

จากสมการที่ 5.23 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์การคำนวณคือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบตามตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงปัจจัยคุณภาพของระบบ และสภาพแวดล้อม ทั้งนี้หากต้องการคำนวณหาขนาดของกำลังการผลิตติดตั้งของระบบที่เหมาะสม เพื่อกำหนดขนาดของระบบที่ต้องดำเนินการติดตั้ง ทำได้โดยปรับสมการที่ 5.23 เป็นดังสมการที่ 5.24

$$P_{peak} = \frac{E_{load(AMT\&PM)} \times I_{STC}}{E_{glob} \times \eta_{sys} \times \eta_{inv} \times AMT_{index} \times PM_{index}} \qquad 5.24$$

เนื่องจากการแผ่รังสีดวงของดวงอาทิตย์ ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศในแต่ละเดือนจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อการคำนวณโดยละเอียดในแต่ละเดือนแล้วจึงหาผลลัพธ์รวม จึงได้สมการที่ 5.25

$$P_{peak} = \sum_{i=1}^{n=12} \left\{\frac{1}{E_{glob} \times AMT_{index} \times PM_{index}}\right\} \times \left\{\frac{E_{load(AMT\&PM)} \times I_{STC}}{\eta_{sys} \times \eta_{inv}}\right\} \qquad 5.25$$

เมื่อ P_{peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบโซล่าเซลล์ ภายใต้เงื่อนไข STC (kW_p)

$E_{load(AMT\&PM)}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบต่อวัน (kWh/d)

I_{STC} = การแผ่รังสีลงมาพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC (1 kW/m^2))

E_{glob} = การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งโลกต่อวัน ($kWh/m^2.d$)

η_{sys} = ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า (Electrical system efficiency)

η_{inv} = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (Inverter efficiency)

AMT_{index} = ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

PM_{index} = ดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ

i = เดือนที่ทำการประเมิน มีค่าตั้งแต่ 1 - 12

สมการที่ 5.25 ได้ถูกนำมาใช้เป็นสมการหลักสำหรับการคำนวณหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในบทที่ 6 ต่อไป

5.2.2 การทดสอบสมการคำนวณขนาดระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาใหม่

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบถึงความแตกต่างระหว่างขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่างสมการคำนวณแบบเดิมและสมการคำนวณที่พัฒนาขึ้นใหม่ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรและมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยการจำลองค่าของตัวแปรในแต่ละระดับเข้าแทนที่ในสมการและ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำนวณผลลัพธ์ออกมา จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลการคำนวณแบบปกติและผลการคำนวณในสมการใหม่ เลือกทดสอบด้วยสถิติการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มไม่อิสระต่อกัน (Paired Sample t-test)

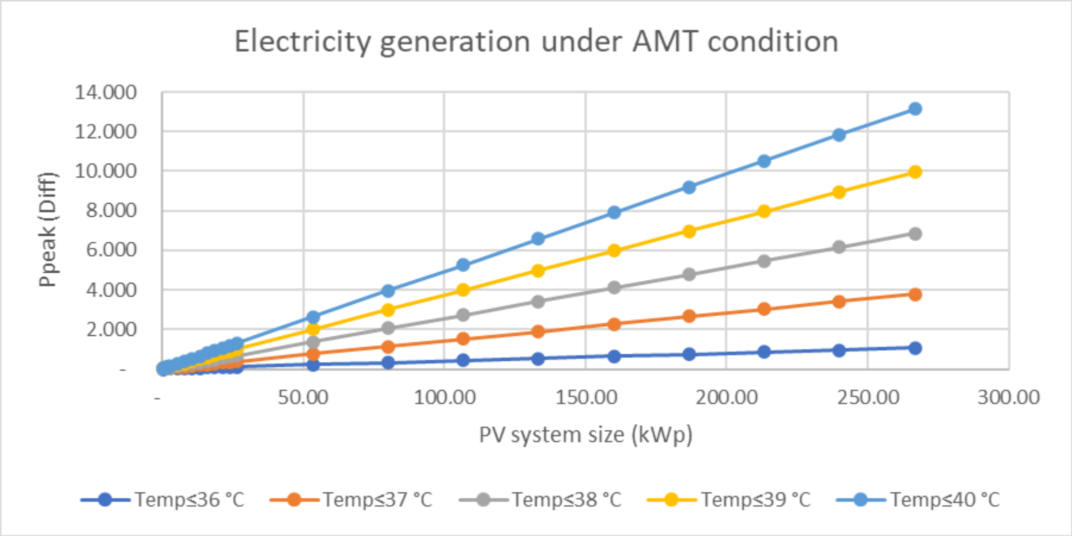
การทดสอบสมการคำนวณในลำดับแรกด้วยการแทนค่าดัชนีลงในสมการจำแนกตามพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ (E_{load}) โดยเปรียบเทียบระหว่างสมการปกติและสมการที่สร้างใหม่ เพื่อพิจารณาว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบโซล่าเซลล์มีความแตกต่างกันเช่นไร ดังตารางที่ 20 และตารางที่ 21 นอกจากนี้นำเสนอในรูปแบบกราฟผลต่างของการคำนวณสมการทั่วไปและสมการใหม่ ดังภาพที่ 54 และภาพที่ 55 ตามลำดับ

ตารางที่ 20 ผลการคำนวณขนาดระบบและเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

E_{load} (kWh/d)	P_{peak} (kWp)	P_{peak} (kWp) New equation at AMT condition*				
		T ≤ *36°C*	*T* ≤ *37°C*	*T* ≤ *38°C*	*T* ≤ *39°C*	*T* ≤ *40°C*
10	2.67	2.68	2.70	2.74	2.77	2.80
20	5.33	5.35	5.41	5.47	5.53	5.60
30	8.00	8.03	8.11	8.21	8.30	8.39
40	10.67	10.71	10.82	10.94	11.07	11.19
50	13.33	13.39	13.52	13.68	13.83	13.99
60	16.00	16.06	16.23	16.41	16.60	16.79
70	18.67	18.74	18.93	19.15	19.36	19.59
80	21.33	21.42	21.64	21.88	22.13	22.39
90	24.00	24.10	24.34	24.62	24.90	25.18
100	26.67	26.77	27.05	27.35	27.66	27.98
200	53.33	53.55	54.09	54.70	55.33	55.96
300	80.00	80.32	81.14	82.05	82.99	83.95
400	106.67	107.10	108.18	109.40	110.65	111.93
500	133.33	133.87	135.23	136.75	138.31	139.91
600	160.00	160.64	162.27	164.10	165.98	167.89
700	186.67	187.42	189.32	191.45	193.64	195.87
800	213.33	214.19	216.36	218.80	221.30	223.85
900	240.00	240.96	243.41	246.15	248.96	251.84
1000	266.67	267.74	270.45	273.50	276.63	279.82

Note: Fix PM =1, and AMT between 0.953 to 0.996 depending on ambient temperature

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

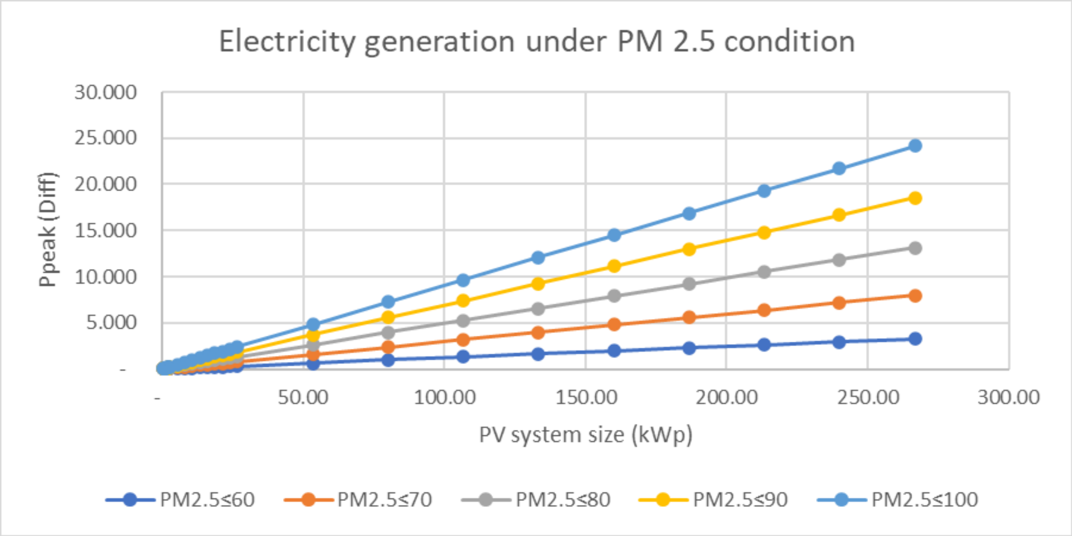


ภาพที่ 54 ผลต่างของการคำนวณสมการทั่วไปและสมการใหม่ภายใต้ AMT

ตารางที่ 21 ผลการคำนวณขนาดระบบและเปรียบเทียบกับเงื่อนไข PM 2.5

E_{load} (kWh/d)	P_{peak} (kWp)	P_{peak} (kWp) New equation at PM 2.5 ($\mu g/m^3$) condition*				
		PM ≤ 60	*PM ≤ 70*	*PM ≤ 80*	*PM ≤ 90*	*PM ≤ 100*
10	2.67	2.70	2.75	2.80	0.29	2.91
20	5.33	5.40	5.49	5.60	0.57	5.82
30	8.00	8.10	8.24	8.39	0.86	8.72
40	10.67	10.80	10.99	11.19	1.14	11.63
50	13.33	13.50	13.73	13.99	1.43	14.54
60	16.00	16.19	16.48	16.79	1.71	17.45
70	18.67	18.89	19.22	19.59	2.00	20.36
80	21.33	21.59	21.97	22.39	2.28	23.26
90	24.00	24.29	24.72	25.18	2.57	26.17
100	26.67	26.99	27.46	27.98	2.85	29.08
200	53.33	53.98	54.93	55.96	5.70	58.16
300	80.00	80.97	82.39	83.95	8.56	87.24
400	106.67	107.96	109.85	111.93	11.41	116.32
500	133.33	134.95	137.32	139.91	14.26	145.40
600	160.00	161.94	164.78	167.89	17.11	174.48
700	186.67	188.93	192.24	195.87	19.96	203.56
800	213.33	215.92	219.70	223.85	22.82	232.64
900	240.00	242.91	247.17	251.84	25.67	261.72
1000	266.67	269.91	274.63	279.82	28.52	290.80
Note: Fix AMT =1, and PM between 0.917 to 0.988 depending on air quality						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 55 ผลต่างของการคำนวณสมการทั่วไปและสมการใหม่ภายใต้ PM 2.5

ผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบโซล่าเซลล์ในตารางข้างต้น ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการทางสถิติแบบ Paired Sample t-test ผลการทดสอบพบความแตกต่างระหว่างการคำนวณด้วยสมการแบบปกติและสมการคำนวณสูตรใหม่ ทุกคู่การทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$) ตามตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ Paired Sample t-test

Pair	Between	*t*	*p-value*	Between	*t*	*p-value*
1	P_{T36} & P_{peak}	*3.654*	*.001*	$PM2.5\le_{60}$ & P_{peak}	*3.655*	*.001*
2	P_{T37} & P_{peak}	*3.650*	*.001*	$PM2.5\le_{70}$ & P_{peak}	*3.654*	*.001*
3	P_{T38} & P_{peak}	*3.656*	*.001*	$PM2.5\le_{80}$ & P_{peak}	*3.655*	*.001*
4	P_{T39} & P_{peak}	*3.655*	*.001*	$PM2.5\le_{90}$ & P_{peak}	*3.655*	*.001*
5	P_{T40} & P_{peak}	*3.655*	*.001*	$PM2.5\le_{100}$ & P_{peak}	*3.654*	*.001*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากสมการกับโครงการโซล่าเซลล์ที่ดำเนินการแล้ว

การทดสอบสมการสำหรับคำนวณหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์บนหลังคา เพื่อทดสอบว่าสมการคำนวณตามที่พัฒนาขึ้นนั้น มีความถูกต้องสำหรับคาดการณ์ขนาดของระบบโซล่าเซลล์ที่ควรติดตั้งได้อย่างเหมาะสมกับโครงการฯ ในประเทศไทย ด้วยเหตุนี้จึงทำการทดสอบกับอาคารธุรกิจแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เข้าสู่ระบบของอาคารดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อระบบโซล่าเซลล์เข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติอาคารแห่งนี้มีการใช้พลังงานเฉลี่ยย้อนหลัง 12 เดือน

ในปี 2562 ประมาณ 5,700 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน หรือเทียบได้เป็น 190 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน มีการใช้โหลดทางไฟฟ้าประมาณร้อยละ 50 ในช่วงระหว่างวัน คิดเป็น 2,850 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน หรือเทียบได้เป็น 95 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งได้มีการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้วขนาด 26.5 kW_p ซึ่งแผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ร่วมกับอินเวอร์เตอร์แบบ Grid-connect เพื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักของอาคารที่รับพลังงานมาจากการไฟฟ้าในพื้นที่

โดยกระบวนการสำหรับการทดสอบเริ่มจากใช้สมการทำนายที่พัฒนาขึ้นมาประเมินขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ควรติดตั้งในสถานที่ดังกล่าว ผู้วิจัยกำหนดตัวแปรสำหรับการคำนวณดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบต่อวัน (E_{load}) เท่ากับ 95 kWh/day ค่าการแผ่รังสีลงมาพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC (I_{STC}) เท่ากับ 1 kW/m^2 ค่าการแผ่รังของดวงอาทิตย์ต่อวันในพื้นโครงการ (จังหวัดปทุมธานี) 1,860 kWh/m^2 ต่อปี หรือคิดเป็น 5.10 kWh/m^2 ต่อวัน ปัจจัยคุณภาพของระบบโซล่าเซลล์ (Q) เท่ากับ 0.70 ดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) มีค่าระหว่าง (0.995 – 1) ซึ่งมีจะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละเดือน รวมถึงดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กอากาศ (PM) มีค่าระหว่าง (0.935 – 1) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละเดือนเช่นกัน ผลการคำนวณจากสมการทำนายพบว่าโครงการนี้ควรมีกำลังการผลิตติดตั้งขนาด 27.12 kW_p ซึ่งจะพบว่าระบบโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งไปแล้วนั้นมีการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ขนาด 26.5 kW_p ซึ่งมีความแตกต่างกันประมาณ 0.62 kW_p หรือคิดเป็น 2.34% จากขนาดระบบที่ได้ดำเนินการติดตั้งและผลิตพลังงานแล้ว

สำหรับการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบที่ได้ติดตั้งแล้วขนาด 26.5 kW_p ผู้วิจัยนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อเดือนจากโครงการนี้ และพลังงานไฟฟ้าที่คาดการณ์ว่าจะผลิตได้จากขนาดติดตั้งของระบบที่สมการนำเสนอ โดยข้อมูลเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อวันเมื่อครั้งที่ประเมินระบบก่อนการติดตั้ง คือ 2,850 kWh ต่อเดือน หรือคิดได้เป็น 95 kWh ต่อวัน ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามความต้องการและที่ติดตั้งแล้ว

รายละเอียด	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการจากระบบ PV ต่อเดือน	2,850
ข้อมูลบันทึกได้จากระบบ PV ที่ดำเนินการติดตั้งแล้ว ขนาด 26.5 kW_p	2,796
ความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ผลิตได้และเป้าหมาย	*1.89%*

จากผลการบันทึกข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในข้างต้นพบว่า พลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะได้รับจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการคือ 2,850 kWh และได้ทำการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขนาด 26.5 kWp ซึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตลอดทั้งปีตามข้อมูลที่บันทึกได้ในรายเดือนรวมค่าพลังงานตลอดทั้งปีเท่ากับ 2,796 kWh ซึ่งแตกต่างกันถึง 1.89% นั้นแสดงให้เห็นว่าหากมีการติดตั้งระบบตามที่คำนวณได้ในแบบเดิมนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ตามที่ระบบมีความต้องการ ด้วยเหตุนี้การชดเชยความสูญเสียจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง หากต้องการให้ระบบสามารถผลิตพลังงานได้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานอย่างแท้จริงด้วยการกำหนดขนาดกำลังการผลิตติดตั้งตามผลการคำนวณที่ได้จากสมการดังกล่าว

5.3 การสร้างและรวบรวมฐานข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์หลักในระบบโซล่าเซลล์

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน ทั้งนี้ระบบที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า (Gird connected) เป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน นอกจากผลิตพลังงานไฟฟ้าและใช้เองในอาคารที่ติดตั้งแล้วนั้น ยังต้องเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าหลัก เช่น การไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขึ้นอยู่กับพื้นที่ของอาคารว่าอยู่ในเขตใด ด้วยเหตุที่ต้องเชื่อมต่อกับระบบพลังงานหลัก ทางหน่วยงานการไฟฟ้าทั้งสองแห่งจึงกำหนดให้อุปกรณ์ที่จะนำมาเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก จะต้องมีมาตรฐาน มีความน่าเชื่อถือ และมีความปลอดภัยทั้งต่อระบบโครงข่ายหลักของการไฟฟ้าเอง และของเจ้าของอาคารซึ่งเป็นผู้ใช้บริการติดตั้งและเชื่อมโครงข่าย ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ อินเวอร์เตอร์ และแผงโซล่าเซลล์ที่นำมาใช้งานในระบบ Gird Connected ต้องได้รับการรับรองและอยู่ในบัญชีรายชื่อผลิตภัณฑ์ซึ่งจะปรากฏยี่ห้อ รุ่น พิกัด ตามที่หน่วยงานการไฟฟ้าฯ ประกาศเท่านั้น จึงจะสามารถขออนุญาตนำระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ดำเนินการแล้วเสร็จดังกล่าว เชื่อมต่อกับระบบได้ รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอนุญาต มีดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3.1 แผงโซล่าเซลล์ (Photovoltaic Module)

สำหรับมาตรฐานการรับรองผลิตภัณฑ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จำเป็นต่อการเลือกใช้งานและเชื่อมต่อกับระบบของระบบการไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น หลักเกณฑ์การรับรองผลิตภัณฑ์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบ 3 ด้าน ได้แก่ 1) ผ่านการทดสอบรับรองตามมาตรฐาน IEC 61215 หรือ มอก.1843 สำหรับแผงโซล่าเซลล์ประเภท Crystalline และมาตรฐาน IEC 61646 หรือ มอก.2210 สำหรับแผงโซล่าเซลล์ประเภท Thin flim 2) ผ่านการทดสอบรับรอง Potential induced degradation (PID) ตามมาตรฐาน IEC 62804 และ 3) ผ่านการทดสอบรับรองความปลอดภัยตามมาตรฐาน IEC 61730-2 หรือ มอก.2580-2 สรุปได้ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์

No.	Standard	Remark
1	มาตรฐาน IEC 61215 หรือ มอก.1843	Crystalline type
	มาตรฐาน IEC 61646 หรือ มอก.2210	Thin flim type
2	มาตรฐาน IEC 62804	All type
3	มาตรฐาน IEC 61730-2 หรือ มอก.2580-2	All type

โดยต้องมีรายงานผลการทดสอบที่ออกโดยหน่วยงานหรือสถาบันทดสอบที่เป็นกลาง และได้รับการรับรองมาตรฐานห้องทดสอบ ISO/IEC17025 นอกจากนี้ถึงแม้ผลิตภัณฑ์โซล่าเซลล์ผ่านการรับรองตามมาตรฐานดังกล่าวแล้ว แต่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงพิกัดการผลิตพลังงาน ชนิดของแผงโซล่าเซลล์ และที่สำคัญคือประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จะระบุค่า %Efficiency ภายใต้การทดสอบตามเงื่อนไข STC

5.3.2 อินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบผู้ให้บริการไฟฟ้า (Grid Tie Inverter)

สำหรับมาตรฐานการรับรองผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ ที่จำเป็นต่อการเลือกใช้งานและเชื่อมต่อกับระบบของระบบการไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น หลักเกณฑ์การรับรองผลิตภัณฑ์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบ 3 ด้าน ได้แก่ 1) ผ่านการทดสอบสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC testing) ตามมาตรฐาน IEC 62920 2) ผ่านการทดสอบความปลอดภัยตามมาตรฐาน IEC 62109 และ 3) ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพตามมาตรฐาน IEC 61683 หรือ EN 50530 สรุปได้ดังตารางที่ 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 25 มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์

No.	Standard	Remark
1	มาตรฐาน IEC 62920	EMC testing
2	มาตรฐาน IEC 62109	Safety testing
3	มาตรฐาน IEC 61683 หรือ EN 50530	Efficiency testing

โดยต้องมีรายงานผลการทดสอบที่ออกโดยหน่วยงานหรือสถาบันทดสอบที่เป็นกลาง และได้รับการรับรองมาตรฐานห้องทดสอบ ISO/IEC17025 นอกจากนี้ถึงแม้ผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ผ่านการรับรองตามมาตรฐานดังกล่าวแล้ว แต่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาถึงขนาดกำลังสูงสุด และที่สำคัญคือประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่จะระบุค่า %Efficiency ซึ่งหากมีค่าสูงหมายถึงประสิทธิภาพดีและความสูญเสียในการแปลงพลังงานต่ำลง

5.4 การศึกษาและกำหนดตัวแบบประเมินทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

5.4.1 การหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ควรเป็นระบบที่สามารถนำรังสีจากดวงอาทิตย์มาใช้งานได้มากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการคำนวณประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบขึ้นมา โดยปกติแล้วมักอ้างอิงการคำนวณหาสมรรถนะของระบบตามมาตรฐาน IEC 61724 ว่าด้วยการวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic system performance) ซึ่งกำหนดให้มีการวิเคราะห์ตัวแปร ดังนี้ 1) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Array Yield) 2) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในทางทฤษฎี (Reference Yield) 3) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้ (Final Yield) 4) พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses) 5) พลังงานสูญเสียในระบบ (System Losses) 6) สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) 7) ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) และ 8) ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency) เป็นต้น

1) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) โดยคำนวณหาได้จากสมการที่ 5.26 (Boonyang Plangklang, 2010; Lasnier, 2017)

$$Y_A = \frac{E_a}{P_0} \qquad 5.26$$

เมื่อ

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kW_p)

E_a คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_0 คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W_p)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) โดยคำนวณหาได้จากสมการที่ 5.27 (Boonyang Plangklang, 2010; Lasnier, 2017; Schmid, 2002)

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \qquad 5.27$$

เมื่อ

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kW_p)

E_{tot} คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ STC=1 kW/m^2

3) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) โดยคำนวณหาได้จากสมการที่ 5.28 (Boonyang Plangklang, 2010; Schmid, 2002)

$$Y_f = \frac{E_{tot}}{P_0} \qquad 5.28$$

เมื่อ

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

E_{tot} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

P_0 คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

4) พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses) โดยคำนวณหาได้จากสมการที่ 5.29 (Boonyang Plangklang, 2010; Schmid, 2002)

$$L_C = Y_r - Y_A \qquad 5.29$$

เมื่อ L_c คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kW_p)

5) พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses) คำนวณหาได้จากสมการที่ 5.30 (Boonyang Plangklang, 2010; Schmid, 2002)

$$L_S = Y_A - Y_f \qquad 5.30$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ L_s คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kW_p)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6) สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio, PR) คำนวณหาได้จากสมการที่ 5.31 (Boonyang Plangklang, 2010; Lasnier, 2017; Schmid, 2002)

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \qquad 5.31$$

7) ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) คำนวณหาได้จากสมการที่ 5.32 (Boonyang Plangklang, 2010; Lasnier, 2017; Schmid, 2002)

$$\eta_a = \frac{E_a}{H_i \times A_A} \qquad 5.32$$

เมื่อ

η_a คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

8) ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency) โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 5.33 (Boonyang Plangklang, 2010; Lasnier, 2017; Schmid, 2002)

$$\eta_{tot} = \frac{E_{tot}}{H_i \times A_A} \quad 5.33$$

เมื่อ η_{tot} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

9) พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (E_a: kWh) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 5.34 (Boonyang Plangklang, 2010; Schmid, 2002)

$$E_a = V_{dc} \times I_{dc} \times Time \quad 5.34$$

เมื่อ

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของ PV array

I_{dc} คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายจาก PV array

Time คือ ระยะเวลาที่ PV array จ่าย V_{dc} และ I_{dc}

10) พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (H_i : kWh/m^2) สามารถคำนวณได้จากสมการ 5.35 (Boonyang Plangklang, 2010; Schmid, 2002)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$H_i = G_i \times Time \quad 5.35$$

เมื่อ

G_i คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ PV array ได้รับจริง (kW/m^2)

Time คือ ระยะเวลาที่ PV array ได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จริง

11) พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (E_{grid}: kWh) คำนวณได้ตามสมการที่ 5.36 (Boonyang Plangklang, 2010; Schmid, 2002)

$$E_{grid} = V_{ac} \times I_{ac} \times Time \quad 5.36$$

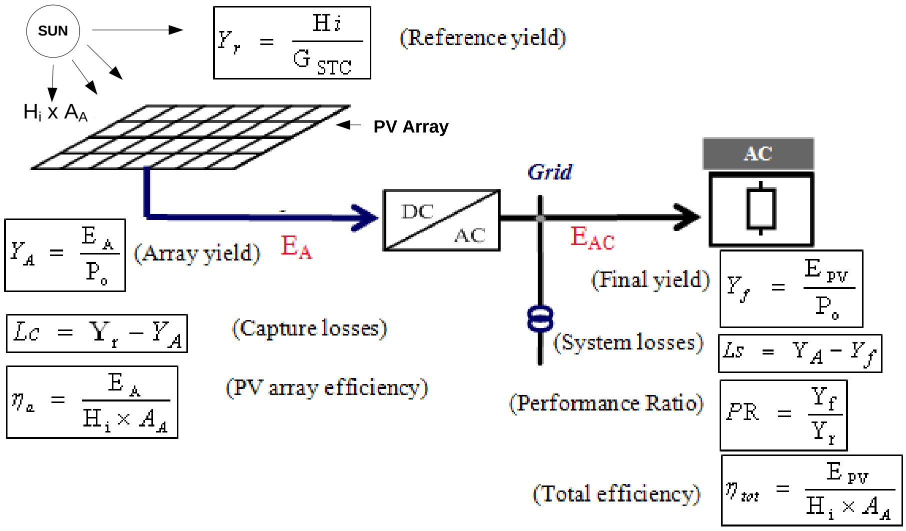
เมื่อ

V_{ac} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของอินเวอร์เตอร์ทางด้านเอาต์พุตที่ป้อนให้ระบบจำหน่าย

I_{ac} คือ กระแสไฟฟ้าที่ขั้วของอินเวอร์เตอร์ทางด้านเอาต์พุตที่ป้อนให้ระบบจำหน่าย

Time คือ ระยะเวลาที่ อินเวอร์เตอร์ป้อน V_{ac} และ I_{ac} ให้ระบบจำหน่าย

จากค่าพารามิเตอร์ในข้างต้น สำหรับการใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ PVGCS แสดงให้เห็นดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 ไดอะแกรมของระบบ PVGCS และค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพและสมรรถนะ

ที่มา: Boonyang Plangklang (2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.4.2 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ PVGCS

แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแนวคิดสำหรับการคำนวณมีหลากหลายเทคนิควิธีผ่านการวิเคราะห์ดัชนีสำหรับการตัดสินใจต่าง ๆ อาทิ การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth analysis) การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual worth analysis) การวิเคราะห์ผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit/cost analysis) และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate of return analysis) เป็นต้น (เยาวเรศ ทับพันธุ์, 2551; บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, 2555)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid Connected) จะพิจารณาราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบเป็นสำคัญ โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การทำนายปริมาณพลัง

ไฟฟ้า (kWh) ที่ระบบผลิตได้ต่อปี (E_{tot}) และ 2) การหาค่าสมมูลรายปีของระบบ PVGCS ตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (Annual Equivalent of the Life Cycle Cost, ALCC)

5.4.2.1 การประมาณราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

โดยทั่วไปการคำนวณพื้นฐานเกี่ยวกับการไหลเวียนของเงินในโครงการ (Cash flow) ที่สอดคล้องกับการลงทุนด้านโซล่าเซลล์ มักใช้ 2 แนวทาง ได้แก่ วิธี Static และวิธี Dynamic โดยวิธีแบบหลังจะสามารถเห็นการไหลเวียนเงินสดที่เกิดขึ้นผ่านปัจจัยต่าง ๆ ได้ดีมากกว่าแบบ Static ทั้งนี้การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสายส่งของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า (PV Grid Connected System: PVGCS) จะพิจารณาราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จำแนกได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การทำนายปริมาณพลังงาน (kWh) ที่ระบบผลิตได้ต่อปี (E_{tot}) และการหาค่าสมมูลรายปีของระบบ PVGCS ตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (ALCC) (บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

การประมาณราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบจะพิจารณามูลค่าการลงทุนของระบบต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) เงินลงทุนเริ่มแรก และ 2) เงินลงทุนในรายปี

1) เงินลงทุนเริ่มแรก เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้เมื่อติดตั้งระบบฯ ในครั้งแรก ได้แก่

- มูลค่าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- โครงสร้างที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง
- อุปกรณ์ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบ
- อุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
- อุปกรณ์ส่วนควบอื่น ๆ
- ค่าแรงในการติดตั้งและทดสอบระบบ

2) เงินลงทุนประจำปี เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องสำรองงบประมาณในรายปี ได้แก่

- ค่าซ่อมบำรุงตามรอบใช้งาน
- ค่าอะไหล่ (กรณีชำรุด)

การคำนวณหาราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบจะต้องใช้ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้ในสมการคำนวณ ประกอบด้วย

- ต้นทุนเริ่มต้นของการติดตั้งระบบ (Capital cost: C_c)
- ค่าเดินระบบและซ่อมบำรุงประจำปี (Operation & Maintenance cost: C_{om})
- ต้นทุนทดแทนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array replacement cost: C_{rm})
- ต้นทุนทดแทนของระบบย่อย (Subsystem replacement cost: C_{rs})
- อายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array lifetime: Y_{pv})

- อายุการใช้งานของระบบย่อย (Subsystem replacement cost: Y_s)
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ตลอดทั้งปี (PV system energy output: E_y)

โดยการคำนวณจะพิจารณาในช่วงระยะเวลา Y ปี อัตราส่วนลด (Discount rate) เท่ากับ n% และอัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate) เท่ากับ 1 ซึ่งข้อมูลข้างต้นล้วนสำคัญต่อการประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

5.4.2.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ จะเริ่มจากการหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทั้งหมด (C_r) การหามูลค่าปัจจุบันของการใช้ระบบและซ่อมบำรุง (C_a) การคำนวณราคาตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (LCC) การคำนวณค่าสมมูลประจำปีของราคาระบบตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (ALCC) รวมถึงการคำนวณราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบฯ รายละเอียด ดังนี้

1) การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทดแทนทั้งหมด (C_r) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบย่อย ได้จากสมการที่ 5.37 (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$C_r = C_{rm} \sum_{i=1}^{n_m} \left\{ \frac{(1+\ i)^{y-1}}{(1+d)^{iy_m}} \right\} + C_{rs} \sum_{i=1}^{n_s} \left\{ \frac{(1+i)^{y-1}}{(1+y)^{iy_s}} \right\} \qquad 5.37$$

เมื่อ

n_m คือ จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

n_s คือ จำนวนระบบย่อย

C_{rm} คือ ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนทดแทน (บาท)

C_{rs} คือ ราคาระบบย่อยที่เปลี่ยนทดแทน (บาท)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันการเดินระบบผลิตพลังงานและการซ่อมบำรุง (C_a) ดังแสดงในสมการที่ 5.38 (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$C_a = C_{om} \times P_a \qquad 5.38$$

โดย P_a คือ ค่าตัวปรับค่าเข้าสู่มูลค่าในปัจจุบันของระบบ (Present Worth Factor) คำนวณได้จากสมการที่ 5.39 โดยผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 26 (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$P_a = \frac{(1+d)^{y-1}}{d(1+d)^y} \quad 5.39$$

ตารางที่ 26 ตัวคูณปรับค่ามูลค่าปัจจุบัน

อัตราส่วนลด (%)	**ตัวคูณปรับค่ามูลค่าปัจจุบันสำหรับจำนวนปีที่พิจารณา**					
	5	10	15	20	25	30
0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
5	4.3	7.7	10.4	12.5	14.1	15.4
10	3.8	6.1	7.6	8.5	9.1	9.4
15	3.3	5.0	5.9	6.3	6.5	6.6
20	3.0	4.2	4.7	4.9	6.0	6.0

3) การคำนวณราคาตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (Life Cycle Cost: LCC) สามารถหาได้จากสมการที่ 5.40 (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$LCC = C_c + C_r + C_a - C_s \quad 5.40$$

เมื่อ C_c คือ ราคาเริ่มต้นของการติดตั้งระบบฯ
C_r คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทดแทนทั้งหมด
C_a คือ มูลค่าปัจจุบันการเดินระบบผลิตพลังงานและการซ่อมบำรุง
C_s คือ มูลค่าซากของระบบฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) การคำนวณค่าสมมูลประจำปีของราคาระบบตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ (Annual Equivalent of the Life Cycle Cost: ALCC) จากสมการที่ 5.41 (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$ALCC = \frac{LCC}{P_a} \quad 5.41$$

5) การคำนวณราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบฯ (Price/kWh) ได้จากสมการที่ 5.42 (Schmid, 2002; บุญยัง ปลั่งกลาง, 2553)

$$C_w = \frac{ALCC}{E_y \times C_w} \qquad 5.42$$

เมื่อ E_y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ตลอดทั้งปี (kWh/year)
C_w คือ ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ (บาท)

6) กระแสเงินลดที่ได้รับสุทธิจากโครงการ (Cashflow: C_t) คำนวณได้จากผลคูณของปริมาณพลังงานที่ผลิตได้กับต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตพลังงานไฟฟ้า หักด้วยต้นทุนรวม ดังสมการที่ 5.43

$$C_t = \left[E_y \times C_w\right] - \left[C_r + C_a - C_s\right] \qquad 5.43$$

เมื่อ C_t คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละปี
E_y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ในแต่ละปี
C_w คือ ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ
C_r คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทดแทนทั้งหมด
C_a คือ มูลค่าปัจจุบันการเดินระบบผลิตพลังงานและการซ่อมบำรุง
C_s คือ มูลค่าซากของระบบฯ

5.4.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินโครงการติดตั้งระบบ

การวิเคราะห์เพื่อหาความเป็นไปได้ของโครงการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ หากพิจารณาเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงการที่แพร่หลาย ได้แก่ วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (The net present value method: NPV) วิธีดัชนีการทำกำไร (Profitability index method: PI) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR) ผลตอบแทนต่อการลงทุน (Return on Investment: ROI) และวิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback period method: PB) โดยการวิเคราะห์โครงการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยเลือกใช้ ดัชนี NPV PI BCR ROI และ PB ในการคำนวณและพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการ ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

1) วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (The net present value method) โดยเครื่องมือวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV เป็นการคำนวณหาผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากโครงการที่คาดว่าจะได้รับในอนาคต ตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.44

$$NPV = \left[\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}\right] - I \qquad 5.44$$

เมื่อ *NPV* คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

I คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก

C_t คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละงวด

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ *n*

n คือ จำนวนปี

r คือ อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราผลตอบแทน

2) วิธีดัชนีการทำกำไร (Profitability index method) โดยเครื่องมือวิธีดัชนีการทำกำไร หรือ PI เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้าสุทธิกับกระแสเงินสดจ่ายลงทุนครั้งแรก ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 5.45

$$PI = \frac{\left[\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+K)^t}\right]}{I} \qquad 5.45$$

เมื่อ *PI* คือ ดัชนีกำไร

I คือ เงินจ่ายลงทุนครั้งแรก

K คือ อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ

C_t คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละงวด

t คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่ *n*

n คือ จำนวนปี

3) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR) การเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนในรูปของกระแสรายได้ที่เกิดขึ้นในอนาคตที่มีการปรับค่าให้เป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว กับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยคำนวณได้ดังสมการที่ 5.46

$$BCR = \frac{\left[\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+K)^t}\right]}{\left[\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+k)^t}\right]} \qquad 5.46$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อ B_t คือ กระแสเงินสดรับ ณ ปีที่ t

C_t คือ กระแสเงินสดจ่าย ณ ปีที่ t

k คือ อัตราคิดลด

n คือ อายุโครงการ

4) ผลตอบแทนต่อการลงทุน (Return on Investment: ROI) โดยเป็นสัดส่วนของผลตอบแทนที่ใช้ในการลงทุน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.47

$$ROI = \frac{Total\ revenue - \ Total\ cost}{Investment} \times\ 100 \qquad 5.47$$

5) วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback period method: PB) เป็นการพิจารณาการลงทุนจากมูลค่าเงินลงทุนที่ได้ชำระไปกับระยะเวลาที่ผลประโยชน์ตอบแทนจากการลงทุนจะกลับคืนมา โดยคำนวณได้จากสมการที่ 5.48

$$PB = \frac{Initial\ Investment}{Sammation\ Cash\ Inflows} \qquad 5.48$$

จากแนวคิดสำหรับการใช้เครื่องมือเพื่อการวิเคราะห์ตัดสินใจในโครงการ จะพบว่ามีหลายเครื่องมือซึ่งย่อมมีข้อดีข้อด้อยที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะโครงการ ด้วยเหตุนี้การตัดสินใจควรอยู่บนพื้นฐานการตัดสินใจจากผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมืออันหลากหลายประกอบกัน ผลการศึกษาตัวแบบในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ข้างต้น จะนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยเขียนชุดข้อมูลคำสั่งเพื่อการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นส่วนหนึ่งของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ 6.2 ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะสำคัญ การพัฒนาซอฟต์แวร์ การทดสอบใช้งาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพ

6.1 การศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม

การศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะที่สำคัญต่อการออกแบบผลิตพลังงานด้วยแสงอาทิตย์ ได้ทราบถึงประสบการณ์การใช้งานของผู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและติดตั้งระบบฯ ตลอดจนข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน แนวโน้มการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อประโยชน์ต่อการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ ให้ตรงกับความต้องการใช้งานของกลุ่มเป้าหมาย โดยผู้วิจัยทำการศึกษาเชิงคุณภาพ ด้วยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกรายบุคคล โดยกำหนดและคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลคนสำคัญ (Key informant) จำนวน 10 ท่าน เพื่อทราบความต้องการใช้งานและคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของซอฟต์แวร์ช่วยการคำนวณระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

ผลจากการ Analytic induction ทำให้ทราบประเด็นสำคัญต่อแนวคิดในการพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนี้

6.1.1 ประสบการณ์ใช้ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณ

ผู้วิจัยได้ประมวลข้อมูลที่มีประโยชน์จากผู้ให้ข้อมูล พบว่าสามารถจำแนกกลุ่มของผู้ที่มีประสบการณ์ใช้ซอฟต์แวร์ช่วยสำหรับการประเมิน รวมถึงการออกแบบระบบ ได้เป็น 3 กลุ่มผู้ใช้งาน ซึ่งมีลักษณะและประสบการณ์ใช้งานที่แตกต่างกันไป ดังนี้

1. กลุ่มผู้ใช้งานที่ต้องการผลลัพธ์ขั้นพื้นฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผู้ใช้งานในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มักต้องการใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อประเมินขนาดของระบบในเบื้องต้น โดยป้อนปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพียงบางตัวแปรเข้าไป และให้ซอฟต์แวร์ทำการคำนวณขนาดของระบบออกมา (kW_p) จากผลลัพธ์ที่ได้นั้น ผู้ออกแบบและติดตั้งระบบฯ จะนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกแผงโซล่าเซลล์ และอินเวอร์เตอร์ จากเอกสารทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์แต่ละแบรนด์ ว่าหากต้องการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ตามขนาดพิกัดติดตั้งนี้ ควรต้องใช้รุ่นใด จำนวนเท่าใด มาประกอบกันเข้าเป็นระบบ

จากแนวทางการใช้งานของผู้ออกแบบกลุ่มนี้ จะพบว่าผลการคำนวณขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบ มีที่มาในลักษณะแบบใช้ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปในการประเมิน เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันหรือต่อเดือน พื้นที่สำหรับติดตั้งบนหลังคา เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ขนาดของระบบ (kW) ที่จะติดตั้ง จึงคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็น รวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากระบบยังอาจน้อยกว่าความเป็นจริงที่คาดไว้และส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการที่กำหนดไว้

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ทราบดีถึงข้อด้อยของการใช้งานในลักษณะนี้ แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านเงินลงทุนซื้อซอฟต์แวร์ที่มีในปัจจุบัน รวมทั้งความยุ่งยากในการทำความเข้าใจ และวิธีการใช้งานซอฟต์แวร์ที่บางครั้งจะซับซ้อน จากเหตุผลข้างต้นผู้ใช้งานกลุ่มนี้จึงอาศัยการคำนวณเบื้องต้นจากซอฟต์แวร์พื้นฐานเพียงเท่านั้น

2. กลุ่มผู้ใช้งานที่ใช้ฟังก์ชั่นการทำงานบางส่วนของซอฟต์แวร์

สำหรับผู้ใช้งานในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นผู้ออกแบบ ผู้ติดตั้งระบบฯ ซึ่งมักต้องการใช้ซอฟต์แวร์ที่นำข้อมูลศักยภาพในเชิงพื้นที่ประกอบการคำนวณ เพื่อให้ผลการคำนวณขนาดติดตั้งของระบบมีความเที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งผลการประเมินขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของพื้นที่สำหรับการติดตั้งระบบ เช่น ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่ติดตั้ง การป้อนข้อมูลโหลดโปรไฟล์ การกำหนดขนาดพื้นที่ติดตั้ง การกำหนดประเภทของแผงโซล่าเซลล์ เป็นต้น รวมถึงการใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์อื่นประกอบ เช่น Google map หรือ Google earth เพื่อประมาณการณ์ขนาดของพื้นที่ติดตั้งบนหลังคาเป็นต้น รวมถึงการใช้ประโยชน์จากการประเมินความคุ้มค่าในการติดตั้ง การคืนทุน ผลประโยชน์โครงการ เป็นต้น

จากแนวทางการใช้งานของผู้ออกแบบกลุ่มนี้ จะพบว่าผลการคำนวณขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบ มีการป้อนข้อมูลที่สำคัญเข้าไปร่วมในกระบวนการคำนวณของซอฟต์แวร์ ด้วยเหตุนี้ผลลัพธ์ของขนาดติดตั้งระบบ (kW) จึงมีความใกล้เคียงกับพลังงานที่จะผลิตได้หลังการติดตั้งมากขึ้น แต่ทั้งนี้การเลือกแผงโซล่าเซลล์ และอินเวอร์เตอร์ ยังคงใช้ข้อมูลประกอบการพิจารณาจากเอกสารทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์แต่ละแบรนด์ ว่าควรใช้รุ่นและจำนวนเท่าใดอยู่ดี

3. กลุ่มผู้ใช้งานซอฟต์แวร์อย่างเต็มรูปแบบ

ส่วนผู้ใช้งานในกลุ่มนี้อาจพบได้น้อย ส่วนใหญ่เป็นผู้ออกแบบ และผู้เกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบ ซึ่งปฏิบัติงานในองค์กรขนาดใหญ่ที่ลงทุนจัดหาซอฟต์แวร์ที่มีความสมบูรณ์ ซึ่งมีฟังก์ชั่นที่ค่อนข้างหลากหลาย แต่ต้องจ่ายค่าสิทธิ์เป็นเงินจำนวนมากในการใช้งานซอฟต์แวร์ หรือหากเป็นซอฟต์แวร์ที่เปิดให้ใช้งานได้ฟรีสำหรับสมาชิกก็ยังมีข้อจำกัดที่อุปกรณ์แผงโซล่าเซลล์ และอินเวอร์เตอร์ที่โปรแกรมเสนอให้ติดตั้งตามขนาดที่คำนวณได้ ยังคงมีเพียงผลิตภัณฑ์ที่เป็นแบรด์ของซอฟต์แวร์นั้น ๆ เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายนั้นเอง ผู้ใช้งานจึงขาดโอกาสในการเลือกผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งอาจมีประสิทธิภาพสูงกว่าหรือเทียบเคียงซึ่งมีราคาที่ต่ำกว่ามาร่วมตัดสินใจในขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์

6.1.2 คุณสมบัติของซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณที่พึงประสงค์

ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ได้ให้คำแนะนำสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ใหม่ ซึ่งสามารถจำแนกหมวดหมู่แนวคิดด้านคุณสมบัติและสิ่งที่ต้องการ ดังนี้

1. ด้านการใช้งานซอฟต์แวร์ ผู้ให้ข้อมูลกล่าวถึงการออกแบบหน้าตาและตำแหน่งของการป้อนข้อมูลบนซอฟต์แวร์ควรเข้าใจง่าย หรือทำเป็น Symbol ที่คาดเดาได้ง่าย เพื่อให้ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณมีคุณลักษณะแบบ User friendly ผลลัพธ์การคำนวณควรส่งออกเป็นไฟล์รูปแบบ PDF หรือไฟล์ภาพ เพื่อการจัดเก็บหรืออ้างอิงในอนาคต ซอฟต์แวร์ควรเป็นแบบคำนวณและแสดงผลบนเว็บไซต์ เนื่องจากสามารถเข้าถึงได้ทุกพื้นที่ที่มีระบบอินเตอร์เน็ต

2. ด้านฟังก์ชั่นของซอฟต์แวร์ ผู้ให้ข้อมูลมีความคาดหวังต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยประเมิน ว่านอกจากข้อมูลที่ประกอบการคำนวนอย่างพื้นฐานแล้ว หากสามารถนำปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ดึงเข้ามาคำนวณอย่างอัตโนมัติ เช่น ปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะได้ผลการประเมินที่ใกล้เคียงกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น ส่วนความสามารถในการให้คำแนะนำเลือกอุปกรณ์หลัก เช่น โซล่าเซลล์ และอินเวอร์เตอร์ ที่ผ่านการรับรองจากหน่วยงานการไฟฟ้าของไทยแล้ว เป็นฟังก์ชั่นที่จะช่วยลดขั้นตอนในการหาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมซึ่งได้รับการยอมรับให้เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าฯ และควรมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนหรือเลือกอุปกรณ์เองที่มีในระบบ ตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ด้วย

3. ด้านสิทธิ์การใช้งาน ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่มองว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นอาจอยู่ในรูปแบบของการทดลองใช้งาน (Trial version) ซึ่งอาจจำกัดเวลาในการใช้ หรือจำนวนครั้งในการใช้ และหากผู้ใช้งานสนใจก็จ่ายค่าสิทธิ์ในการใช้งาน ซึ่งอาจเป็นรายเดือน/รายปี ต่อไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสม แสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 สรุปประเด็นสำคัญจากผู้ให้ข้อมูลสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์

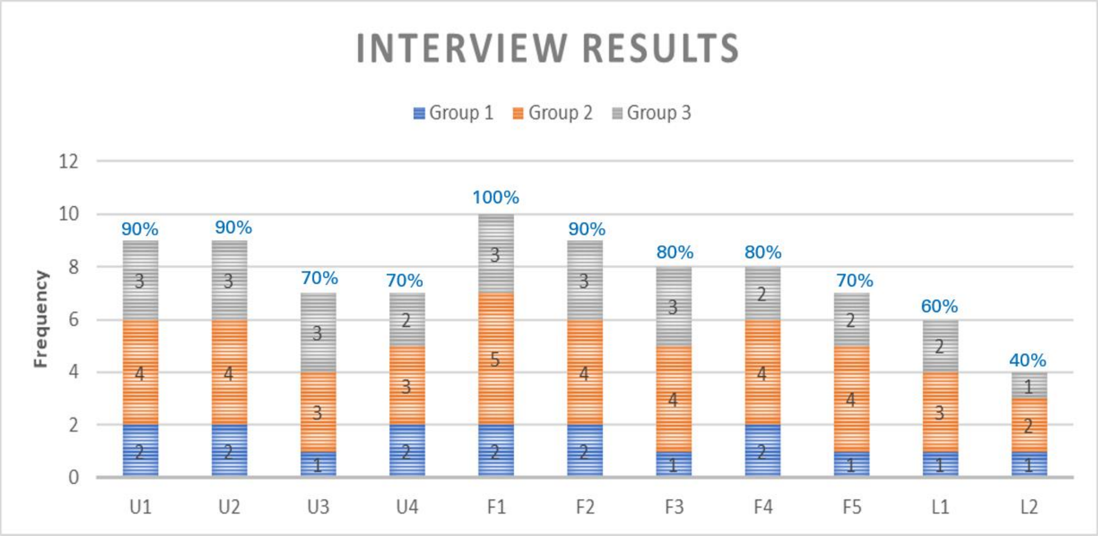
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ที่พึงประสงค์	ผู้ให้ข้อมูลในประเด็นนี้ (คนที่) จากกลุ่มที่		
	กลุ่ม 1 (2 คน)	กลุ่ม 2 (5 คน)	กลุ่ม 3 (3 คน)
ด้านการใช้งานซอฟต์แวร์			
1. หน้าจอการ key ข้อมูล และการแสดงผลควรออกแบบให้เข้าใจง่าย หรือทำเป็น Icon ที่สื่อความชัดเจน (U1)	2, 8	1, 4, 6, 9	3, 5, 7
2. ซอฟต์แวร์ควรมีคุณลักษณะแบบ User friendly (U2)	2, 8	1, 6, 9, 10	3, 5, 7
3. ผลลัพธ์จากการคำนวณควร export เป็นไฟล์รูปแบบต่าง ๆ เช่น PDF หรือ JPEG (U3)	8	4, 6, 9	3, 5, 7
4. การใช้งานควรเป็นแบบคำนวณและแสดงผลบนเว็บไซต์ เพื่อให้ใช้งานได้ทุกเครื่องถ้ามีรหัสผ่าน (U4)	2, 8	1, 4, 9	5, 7

รายละเอียดคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ที่พึงประสงค์	ผู้ให้ข้อมูลในประเด็นนี้ (คนที่) จากกลุ่มที่		
	กลุ่ม 1 (2 คน)	กลุ่ม 2 (5 คน)	กลุ่ม 3 (3 คน)
ด้านฟังก์ชั่นของซอฟต์แวร์			
1. ต้องแสดงผลการคำนวณพื้นฐานหรือขั้นสูงได้อย่างถูกต้อง (F1)	2, 8	1, 4, 6, 9, 10	3, 5, 7
2. ควรมี Option สำหรับการคำนวณอย่างละเอียดเช่น ปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม เป็นต้น (F2)	2, 8	1, 4, 6, 10	3, 5, 7
3. ข้อมูลในเชิงพื้นที่ควรมีฐานข้อมูลและถูกนำมาคำนวณอย่างอัตโนมัติ (F3)	2	1, 4, 6, 10	3, 5, 7
4. ควรมีระบบช่วยเลือกอุปกรณ์ที่มีความหลากหลายและต้องผ่านตามเกณฑ์ของหน่วยงานการไฟฟ้า (F4)	2, 8	1, 6, 9, 10	3, 5
5. สามารถเลือกอุปกรณ์ได้เองตามที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของระบบ (F5)	8	1, 6, 9, 10	3, 7
ด้านสิทธิ์การใช้งาน			
1. ซอฟต์แวร์แบบ Trial version (L1)	8	4, 6, 10	5, 7
2. ซอฟต์แวร์แบบ Shareware (L2)	2	1, 9	3
หมายเหตุ: 1. ตัวเลข คือ ลำดับผู้ให้ข้อมูล 2. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจำแนกตามลักษณะการใช้ซอฟต์แวร์ (ตามหัวข้อ 6.1.1)			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากความคิดเห็นของผู้ให้ข้อมูล (key informant) ในกระบวนการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก และได้รวบรวมประเด็นที่สำคัญดังตารางข้างต้น เพื่อให้เห็นความสำคัญในแต่ละประเด็นอย่างชัดเจน จึงได้รวบรวมและนำเสนอในรูปแบบกราฟ ดังภาพที่ 57



ภาพที่ 57 กราฟสรุปประเด็นสำคัญจากผู้ให้ข้อมูลสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์

จากกราฟสรุปประเด็นสำคัญในข้างต้น พบว่าในประเด็นการใช้งานซอฟต์แวร์ (U1-4) พบว่าคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ควรออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน และมีลักษณะ User friendly มากที่สุด รองลงมาคือความสามารถในการ export ไฟล์ในรูปแบบอื่นได้ รวมถึงการใช้งานซอฟต์แวร์ผ่านเว็บไซต์ซึ่งสามารถใช้งานได้ทุกที่เมื่อมี User และ Password ส่วนประเด็นความต้องการฟังก์ชั่นของซอฟต์แวร์ (F1-5) พบว่าผลลัพธ์การคำนวณทั้งแบบพื้นฐานและแบบขั้นสูงได้อย่างถูกต้องแม่นยำมาในอันดับสูงสุด รองลงมาคือความต้องการ Option ในการคำนวณอย่างละเอียด และมีฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ประกอบการคำนวณอย่างอัตโนมัติเมื่อต้องการเรียกใช้งาน รวมถึงการสนองตอบความต้องการของผู้ออกแบบที่จะสามารถเลือกผลิตภัณฑ์หลักได้เองตามความเหมาะสม ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้ให้ข้อมูลได้กล่าวถึงสิทธิ์ในการใช้งาน (L1-2) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วต้องการสิทธิ์ของซอฟต์แวร์ในลักษณะ Trial version โดยผู้ให้ข้อมูลทราบว่าอาจมีจำกัดเวลาในการใช้ หรือจำนวนครั้งในการใช้งาน แต่ก็เป็นผลดีหากผู้ใช้งานสนใจในความสามารถของซอฟต์แวร์ก็ย่อมยินดีที่จะจ่ายค่าสิทธิ์ในการใช้งาน ซึ่งอาจเป็นรายเดือน/รายปี ต่อไป รองลงมาคือซอฟต์แวร์ในลักษณะ Shareware

6.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

จากการศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่พึงประสงค์ในข้างต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลและคำแนะนำอันมีประโยชน์มาต่อยอดในการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยเริ่มจากการร่างแนวคิดการพัฒนาฯ จากนั้นดำเนินการจำทำฐานข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ ฐานข้อมูลแผงโซล่าเซลล์ ฐานข้อมูล

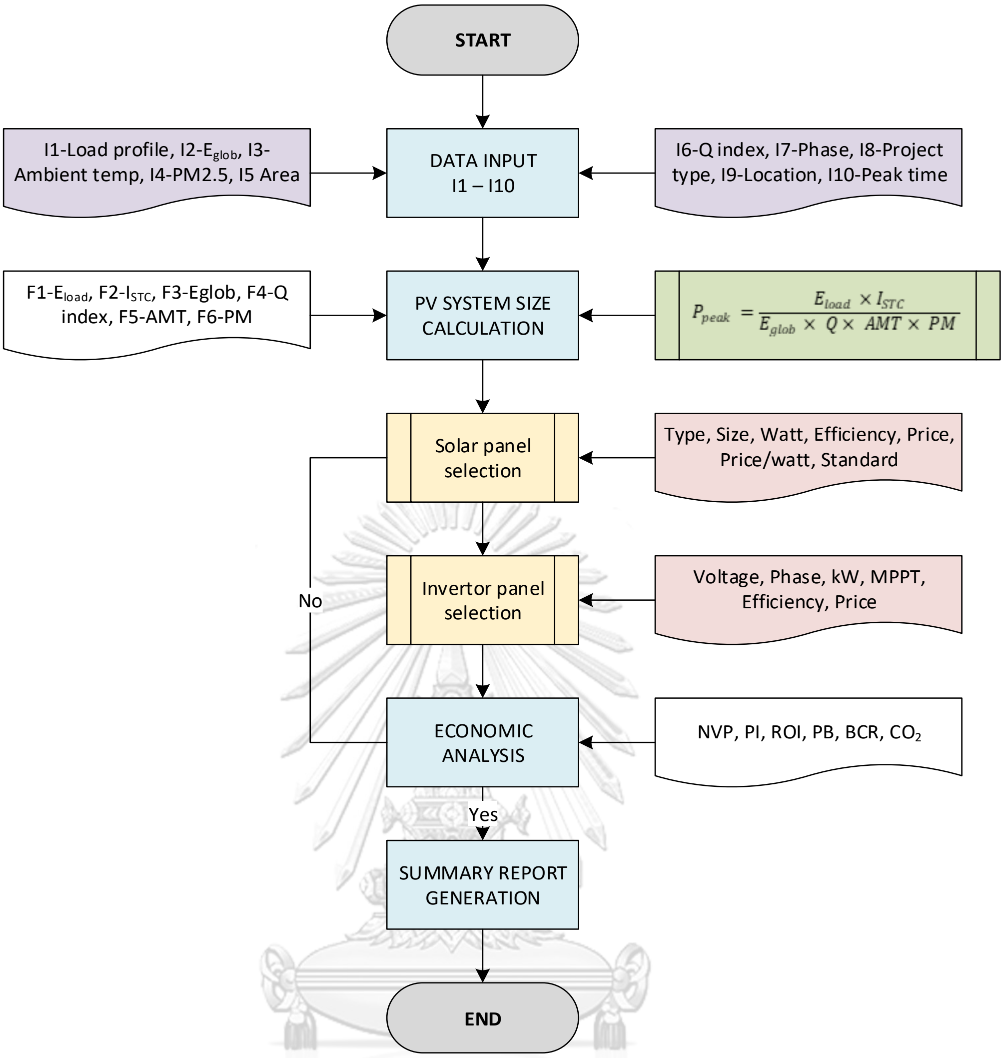
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อินเวอร์เตอร์ ฐานข้อมูลปัจจัยแวดล้อม เป็นต้น จากนั้นดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการ ดังนี้

6.2.1 แนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เริ่มจากการกำหนดปัจจัยนำเข้า (Input) ที่ประกอบด้วยตัวแปรจำนวน 10 ตัวแปร ได้แก่ Load profile, Eglob, Ambient temp, Particulate matter, Roof area, Quality index, Electrical phase, Project type, Location และ Peak time จากข้อมูลนำเข้าในข้างต้นจะถูกป้อนเข้าสู่สมการคำนวณหาขนาดติดตั้งของระบบ เมื่อได้หาขนาดของระบบได้แล้วจึงทำการพิจารณาเลือกแผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ หลังจากคำนวณต้นทุนการติดตั้งระบบทั้งหมดจะดำเนินการประเมินโครงการผ่านดัชนีทางการเงิน อาทิ PB, IRR, NPV และ PI จากนั้นระบบจะสร้างหน้าจอสรุปผลแสดงข้อมูลสาระสำคัญ นอกจากนี้ยังสามารถ Export เอกสารในรูปแบบอิเล็คทรอนิกส์ เช่น PDF เพื่อสามารถนำส่งผ่านระบบอินเตอร์เน็ต หรือจัดเก็บไฟล์ข้อมูลลงในอุปกรณ์อื่น ๆ ต่อไปได้ ดังภาพที่ 58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 58 สรุปแนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบและประเมิน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2.2 การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลแผงโซล่าเซลล์

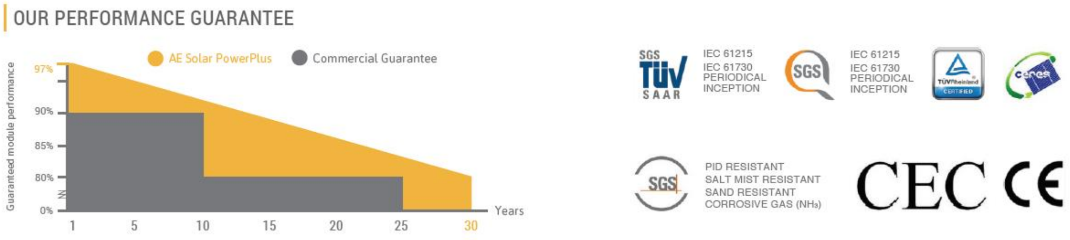
จากมาตรฐานการรับรองผลิตภัณฑ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จำเป็นต่อการเลือกใช้งานและเชื่อมต่อกับระบบของระบบการไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวและจัดทำ Database โดยคำนึงถึงความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน เพิ่มลดต่อไปในอนาคตตามเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป ฐานข้อมูลแบ่งคุณสมบัติออกเป็นหมวดหมู่และสามารถกรองข้อมูลได้อย่างง่าย อาทิ 1) จำแนกชนิดของแผงโซล่าเซลล์ตามเทคโนโลยีวัสดุที่ใช้แบบ Monocrystalline และ Polycrystalline 2) ขนาดแผงโซล่าเซลล์ของแต่ละรุ่น/ยี่ห้อ 3) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Watt) 4) ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ (η) 4) ราคาต่อแผงโซล่าเซลล์ 5) ราคาต่อพลังงานที่ผลิต และ 6) ประเทศผู้ผลิต เป็นต้น

ข้อมูลเหล่านี้เป็นการเตรียมข้อมูลและจะถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้หากมีผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ท้องตลาด ผู้ดูแลระบบจะนำข้อมูลทางเทคนิคและราคาปัจจุบันนำเข้าสู่ฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ ทุกครั้งตามประกาศของหน่วยงานการไฟฟ้าที่เกี่ยวกับรายชื่อและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง และการสืบราคาผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทุกไตรมาสและนำมาปรับปรุงฐานข้อมูลให้ทันสมัย เช่น คุณสมบัติทางเทคนิคของโซล่าเซลล์จากผู้ผลิตรายหนึ่ง ดังภาพที่ 59 ภาพที่ 60 และภาพที่ 61

ELECTRICAL DATA		AE300P6-72	AE305P6-72	AE310P6-72	AE315P6-72	AE320P6-72	AE325P6-72
Nominal power	Pm (Wp)	300	305	310	315	320	325
Open circuit voltage	Voc (V)	45.23	45.38	44.47	45.59	45.72	45.83
Short-circuit current	Isc (A)	9.07	9.13	9.17	9.24	9.28	9.33
Voltage at max power	Vmp (V)	36.43	36.51	36.60	36.66	36.75	36.83
Current at max power	Imp (A)	8.23	8.35	8.47	8.59	8.71	8.82
Filling Factor	(%)	73.13	73.61	74.35	74.78	75.42	76.00
Module Efficiency	(%)	15.46	15.72	15.98	16.23	16.49	16.75
System Voltage	(V)	1000					
Temp. coefficient Voc	(%/°C)	-0.35					
Temp. coefficient Isc	(%/°C)	0.06					
Temp. coefficient Pm	(%/°C)	-0.42					
Operating temp.	(°C)	-40 to +85					
NOCT	(°C)	45±2					

The electrical data apply to standard test conditions (STC): Irradiance of 1000 W/m² with spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25°C.

ภาพที่ 59 ตัวอย่างคุณสมบัติด้านเทคนิคทางด้านไฟฟ้า



ภาพที่ 60 ตัวอย่างการแสดงประสิทธิภาพ และมาตรฐานที่ผ่านการทดสอบ

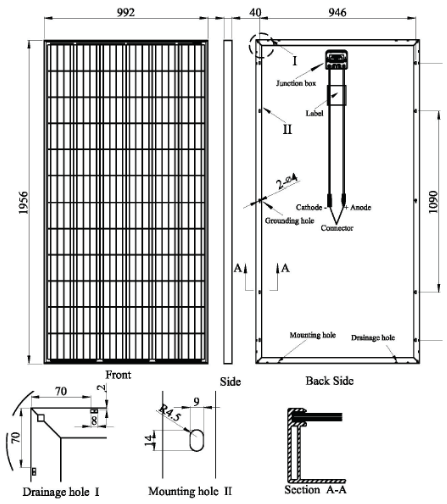
TECHNICAL DATA

Junction box	3 bypass diodes, IP 67
Wire cross section (ø, mm²)	4.0
Cable length (mm)	900 or 1100
Connector type	MC 4 / MC 4 compatible
Dimensions (L x W x H, mm)	1956 x 992 x 40
Weight (kg)	23.5
Specification (mm)	Poly 156 / 6 x 12
Hail resistance	Max. Ø 28 mm, at 23 m/s
Wind load	2400Pa / 244kg / m²
Mechanical load	5400Pa / 550kg / m²

PACKAGING INFORMATION

Packing configuration	54pcs / pallet
Loading Capacity	648pcs / 40HQ
Size / pallet (mm)	1990 x 1120 x 2335
Weight	1380kg / pallet

SCALE



ภาพที่ 61 ตัวอย่างคุณสมบัติทั่วไปและกายภาพของผลิตภัณฑ์

6.2.3 การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบ

จากมาตรฐานการรับรองผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ประเภท Grid Connected ต้องผ่านการทดสอบและรับรองจากห้องปฏิบัติการที่อยู่ในรายชื่อของหน่วยงานการไฟฟ้า และได้ยื่นรายงานผลการทดสอบเพื่อขึ้นทะเบียนอุปกรณ์อย่างถูกต้องเท่านั้น จึงจะนำมาใช้งานในระบบนี้ได้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวและจัดทำ Database โดยคำนึงถึงความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน เพิ่มลดต่อไปในอนาคตตามเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป และตัวแทนจำหน่ายที่ยังมีการจำหน่ายในปัจจุบันเท่านั้น โดยฐานข้อมูลที่จัดทำขึ้นจะแบ่งคุณสมบัติออกเป็นหมวดหมู่และสามารถกรองข้อมูลได้อย่างง่าย อาทิ 1) จำแนกระดับแรงดันตามการใช้งาน (Volt) 2) จำแนกตามจำนวนเฟส (Phase) ตามการใช้งาน 3) ขนาดพิกัดด้าน Output (kW) 4) จำนวนของ MPPT 5) ประสิทธิภาพ และ 6) มูลค่าของอินเวอร์เตอร์ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูลเหล่านี้เป็นการเตรียมข้อมูลและจะถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้หากมีผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ท้องตลาด ผู้ดูแลระบบจะนำข้อมูลทางเทคนิคและราคาปัจจุบันนำเข้าสู่ฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ ทุกครั้งตามประกาศของหน่วยงานการไฟฟ้าที่เกี่ยวกับรายชื่อและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง และการสืบราคาผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทุกไตรมาส เช่น คุณสมบัติทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์จากผู้ผลิตรายหนึ่ง ดังภาพที่ 62 ภาพที่ 63 และภาพที่ 64

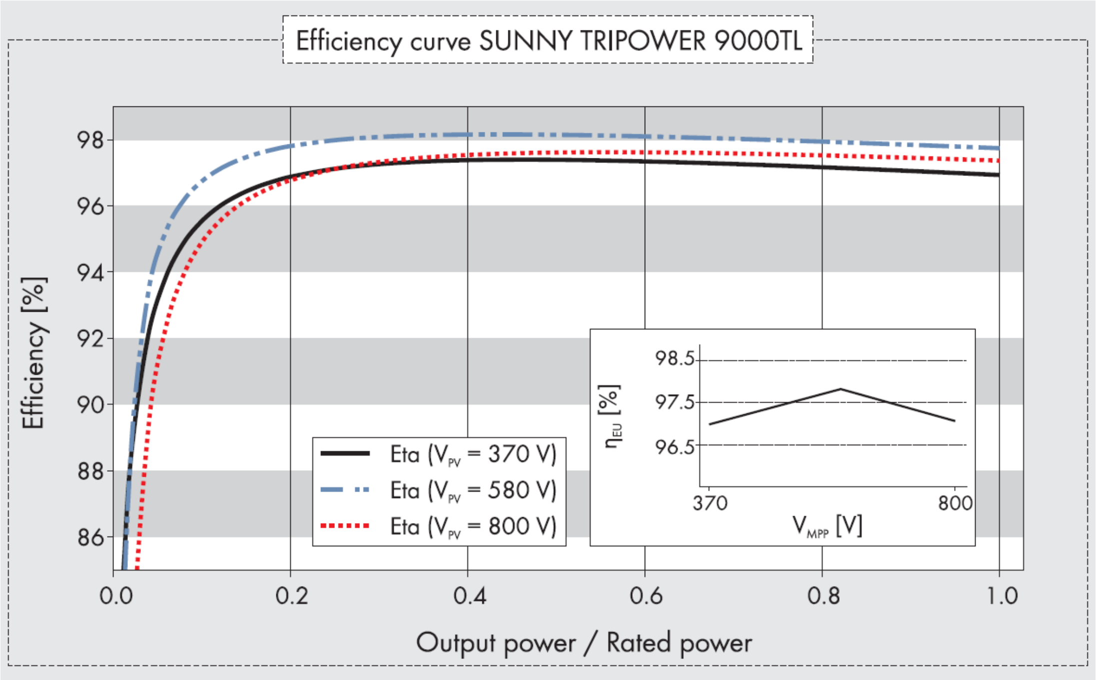
Standard Compliance *(more available upon request)*	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116
Grid Code	IEC 61727, NB/T 32004-2013, VDE-AR-N-4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, C10/11, EN 50438-Ireland, EN 50438-Turkey, AS 4777, PEA (Only 20KTL), MEA (Only 20KTL), NRS 097-2-1

ภาพที่ 62 ตัวอย่างแสดงความสอดคล้องกับคุณสมบัติตามมาตรฐาน

Technical data	Sunny Tripower 5000TL
Input (DC)	
Max. DC power (@ cos ϕ = 1)	5100 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V / 580 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2
Output (AC)	
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W
Max. apparent AC power	5000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 V – 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / −5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A
Power factor at rated power	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / European Efficiency	98 % / 97.1 %

ภาพที่ 63 ตัวอย่างคุณสมบัติด้านเทคนิคทางด้านไฟฟ้าทั้งด้าน Input และ Output

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 64 ตัวอย่างแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จำแนกตามแรงดันระบบ

6.2.4 การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อม

สำหรับการคำนวณตามสมการที่พัฒนาขึ้นใหม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องประกอบการคำนวณ โดยปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ โดยผู้วิจัยทำการนำเข้าข้อมูลข้างต้นจากแหล่งที่เชื่อถือได้ และนำมาจัดทำเป็นฐานข้อมูลรายเดือนมีรายละเอียด ดังนี้

1. ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (E_{glob}) เป็นปัจจัยด้านการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จำแนกตามพื้นที่ติดตั้ง ผู้วิจัยนำข้อมูลจาก Global Solar Atlas ซึ่งเป็นผู้ให้บริการข้อมูล (GSA, 2020) ที่มีความสอดคล้องกับปัจจัยนำเข้าที่ผู้วิจัยต้องการ อาทิ Direct normal irradiation (DNI) Global horizontal irradiation (GHI) และ Global tilted irradiation at optimum angle (GTI_{opta}) เป็นต้น จำแนกรายจังหวัด จากนั้นนำมาถัวเฉลี่ยค่าน้ำหนักรายเดือนอ้างอิงตามค่า DNI จนได้เป็นฐานข้อมูลรายเดือนจำแนกรายจังหวัด ที่เรียกว่า Data E_{glob} มีหน่วยเป็น kWh/m^2 สำหรับใช้ในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นใหม่

2. ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) เป็นปัจจัยค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมจำแนกตามพื้นที่ติดตั้ง ผู้วิจัยนำข้อมูลจาก Climate-Data ของ AM Online Projects ซึ่งเป็นผู้ให้บริการข้อมูล (Climate-Data, 2020) ที่มีความสอดคล้องกับปัจจัยนำเข้าด้านสภาพแวดล้อมที่ผู้วิจัยต้องการ ข้อมูลที่นำมาจัดทำเป็นฐานข้อมูลประกอบด้วยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือนจำแนกตามจังหวัด หน่วยเป็น °C จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาเทียบตามเกณฑ์เพื่อแปลงเป็นค่าดัชนีอุณหภูมิแวดล้อมราย

เดือนจำแนกรายจังหวัด ที่เรียกว่าดัชนี AMT สำหรับนำมาประกอบการคำนวณในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อไป

3. ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) เป็นปัจจัยค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจำแนกตามพื้นที่ติดตั้ง ผู้วิจัยนำข้อมูลจากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ซึ่งได้เผยแพร่ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศหลากหลายดัชนีข้อมูลมีทั้งสรุปข้อมูลรายปี และข้อมูลรายเดือนที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) ผู้วิจัยนำข้อมูลค่า PM 2.5 สูงสุดเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จำแนกรายเดือน หน่วยเป็น $\mu g/m^3$ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาเทียบตามเกณฑ์เพื่อแปลงเป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศจำแนกรายจังหวัด ที่เรียกว่าดัชนี PM สำหรับนำมาประกอบการคำนวณในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ต่อไป ทั้งนี้มีข้อจำกัดบางประการกล่าวคือข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย แต่มีแนวโน้มที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทนี้มากขึ้นซึ่งสามารถนำมาปรับฐานข้อมูลในภายหลังได้ต่อไป

6.2.5 ผลการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพฯ

จากแนวคิดในการพัฒนาซอฟต์แวร์รวมถึงการจัดเตรียมฐานข้อมูลต่าง ๆ ที่สำคัญจนนำมาสู่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ฯ โดยผลการพัฒนาได้ซอฟต์แวร์เพื่อการประเมินที่มีลักษณะการใช้งาน เริ่มจากการเข้าระบบและจำแนกสิทธิ์ของผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ การป้อนข้อมูลโครงการที่ต้องการประเมิน การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล การแสดงผลลัพธ์ของการประเมินและการส่งออกข้อมูลเป็นเอกสารสรุป ดังนี้

6.2.5.1 การเข้าระบบและจำแนกสิทธิ์ของผู้ใช้งานซอฟต์แวร์

เมื่อเริ่มต้นใช้งานผู้ใช้ซอฟต์แวร์จะต้อง Login เพื่อเข้าถึงการใช้งาน โดยแบ่งระดับของ User ออกเป็น 2 ระดับ คือ ผู้ใช้งาน (User) และผู้ดูแลระบบ (Admin) ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันไปกล่าวคือ “ระดับผู้ใช้งาน” จะสามารถป้อนข้อมูลโครงการที่ต้องการประเมิน สั่งให้ระบบวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล สั่งให้ระบบแสดงผลลัพธ์ของการประเมิน รวมถึงการส่งออกข้อมูลสรุปในรูปแบบของไฟล์อิเล็คทรอนิกส์ (PDF) หรือการสั่งพิมพ์เอกสารสรุปดังกล่าวผ่านเครื่องพิมพ์ได้ ส่วน “ระดับผู้ดูแลระบบ” นอกจากสามารถใช้งานตามฟังก์ชั่นข้างต้นได้แล้ว ยังสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์และอัพเดตข้อมูลสำคัญที่ถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลได้ ซึ่งมีจำนวน 6 ฐานข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ 1) ฐานข้อมูลสถานที่ตั้ง (Location) 2) ฐานข้อมูลค่ารังสีดวงอาทิตย์ (E_{glob}) 3) ฐานข้อมูลค่าดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) 4) ฐานข้อมูลค่าดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) 5) ฐานข้อมูลทางเทคนิคและราคาของ PV module และ 5) ฐานข้อมูลทางเทคนิคและราคาของ Grid-connected inverter โดยวัตถุประสงค์ที่อนุญาตให้ผู้ใช้งานระดับ “ผู้ดูแลระบบ” ได้เปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลดังกล่าวเพื่อให้ฐานข้อมูลมีความทันสมัยและรองรับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะเกิดขึ้น

ในอนาคตได้ โดยจะนำข้อมูลทางเทคนิคและราคาปัจจุบันนำเข้าสู่ฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ทุกครั้งตามประกาศของหน่วยงานการไฟฟ้า (การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ที่เกี่ยวกับรายชื่อและผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ที่ผ่านการรับรองและขึ้นทะเบียนเป็นที่เรียบร้อย รวมถึงการสืบราคาผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทุกไตรมาสเพื่อนำมาปรับปรุงฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์

6.2.5.2 ขั้นตอนการป้อนข้อมูลโครงการที่ต้องการประเมิน

ผู้ใช้งานซอฟต์แวร์จะต้องเตรียมข้อมูลพื้นฐานของโครงการที่ประเมิน เพื่อความพร้อมในขั้นตอนการป้อนข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ระบบ ได้แก่

1) ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย (Baht/kWh) ของโครงการที่ประเมิน ผู้ใช้จะป้อนข้อมูลในส่วนนี้ เนื่องจากค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยในอาคาร โรงงาน หรือตามประเภทธุรกิจ จะมีความแตกต่างกัน

2) ค่าอัตราคิดลด (Discount rate) ซึ่งซอฟต์แวร์กำหนดค่ามาตรฐาน (Default) ไว้แล้ว หากผู้ใช้งานต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว สามารถเลือกค่าใหม่ได้จากเครื่องมือปรับเปลี่ยนค่าบนหน้าจอ ซึ่งค่าอัตราคิดลดจะถูกนำไปใช้ในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

3) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 6 เดือน (kWh) เพื่อที่จะทราบ Load profile ของโครงการ โดยซอฟต์แวร์มีช่องให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลในแต่ละเดือน จำนวน 6 ช่อง ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ควบคู่กับการเลือกข้อมูลช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้า (Peak time) เพื่อการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงระหว่างวันต่อไป

4) ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ ผู้ใช้งานต้องเลือกจังหวัดซึ่งเป็นที่ตั้งของโครงการ โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการเลือกฐานข้อมูลในเชิงพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

5) การกำหนดปัจจัยคุณภาพของระบบ ซึ่งซอฟต์แวร์กำหนดค่ามาตรฐาน (Default) ไว้แล้ว หากผู้ใช้งานต้องการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว สามารถเลือกค่าใหม่ได้จากเครื่องมือปรับเปลี่ยนค่าบนหน้าจอ ซึ่งปัจจัยคุณภาพของระบบจะถูกนำไปเป็นตัวแปรของการคำนวณ

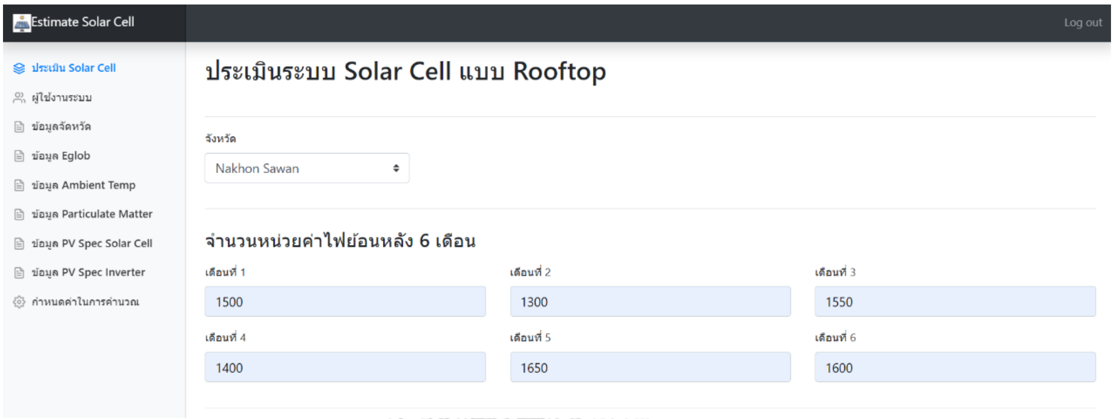
6) การเลือกคุณลักษณะของระบบไฟฟ้า ผู้ใช้งานจะเลือกพิกัดของระบบไฟฟ้าของโครงการซึ่งระบบจะแสดงค่าเป็น 1 และ 3 Phase ให้ผู้ใช้งานได้เลือก ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาสู่การเลือกคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์

7) การเลือกลักษณะของการใช้พลังงานไฟฟ้า (Peak time) ผู้ใช้งานจะเลือกช่วงเวลาการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับโครงการ ซึ่งข้อมูล Peak time จะถูกคำนวณร่วมกับข้อมูล Load profile เพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงระหว่างวันต่อไป

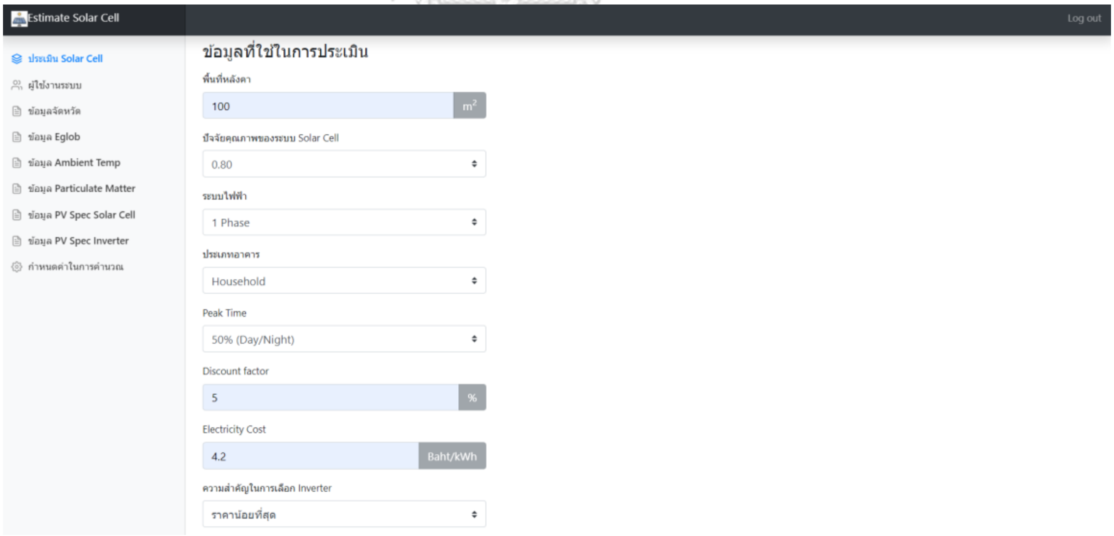
8) การกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม (Options) หากผู้ใช้งานต้องการกำหนดยี่ห้อหรือประเภทของผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์ รวมถึงยี่ห้อของอินเวอร์เตอร์ที่ต้องการเอง โดยไม่ได้ให้

ซอฟต์แวร์แนะนำสามารถเลือกได้ในส่วนนี้ โดยการทำงานของระบบจะเลือกนำเสนอรุ่นและขนาดของผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวให้ผู้ใช้งาน

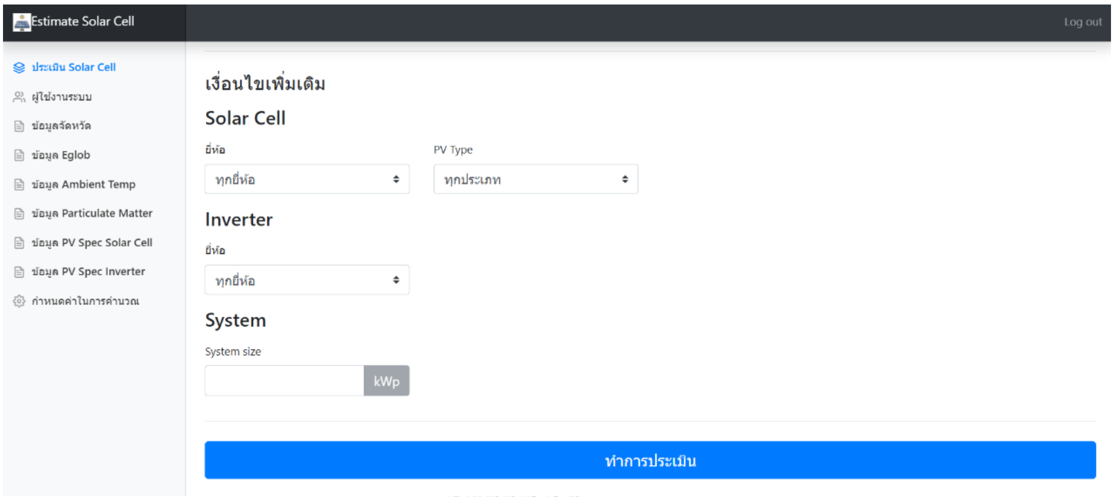
การนำเข้าข้อมูลข้างต้นลงในซอฟต์แวร์โดยผู้ใช้งาน ดังภาพที่ 65 ระบบจะบันทึกและพร้อมที่ประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าในโครงการดังกล่าว จากนั้นเมื่อผู้ใช้งานได้กดปุ่มคำสั่งทำการประเมิน ซอฟต์แวร์จะเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลต่อไป แสดงได้ดังภาพที่ 66



(ก)

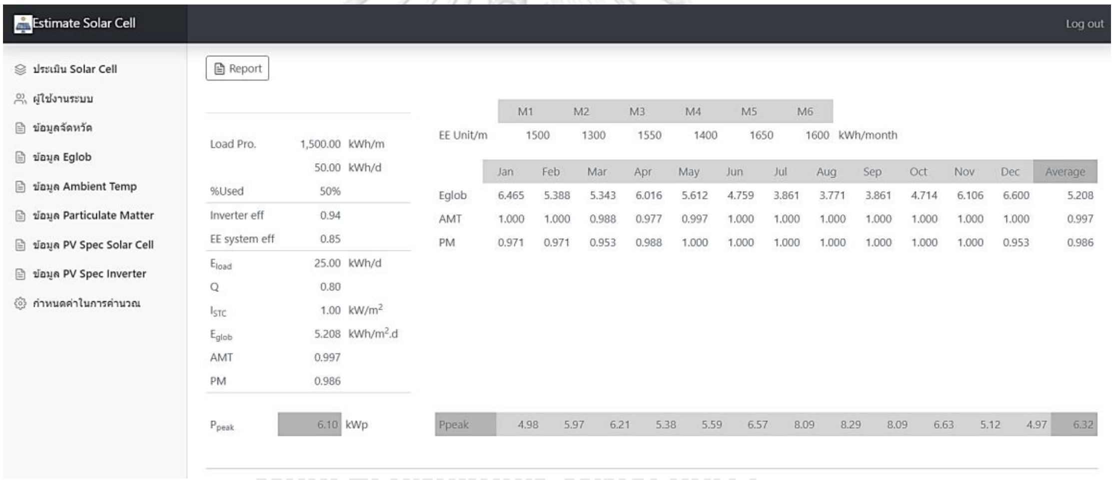


(ข)

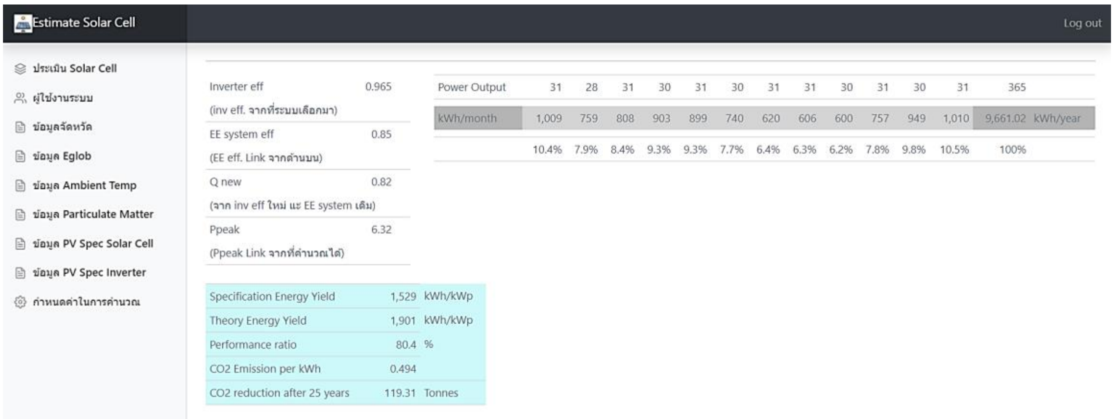


(ค)

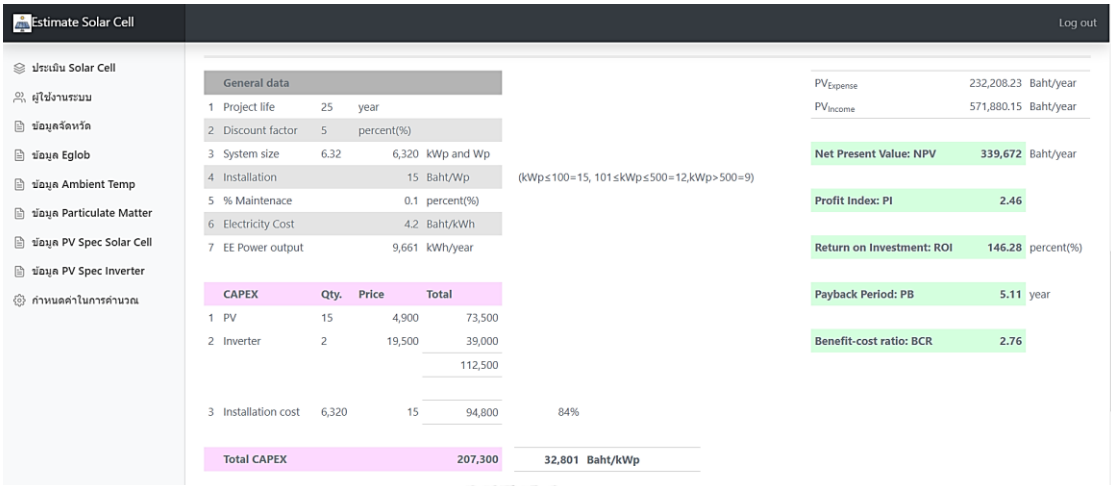
ภาพที่ 65 การป้อนข้อมูลที่สำคัญลงในซอฟต์แวร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์



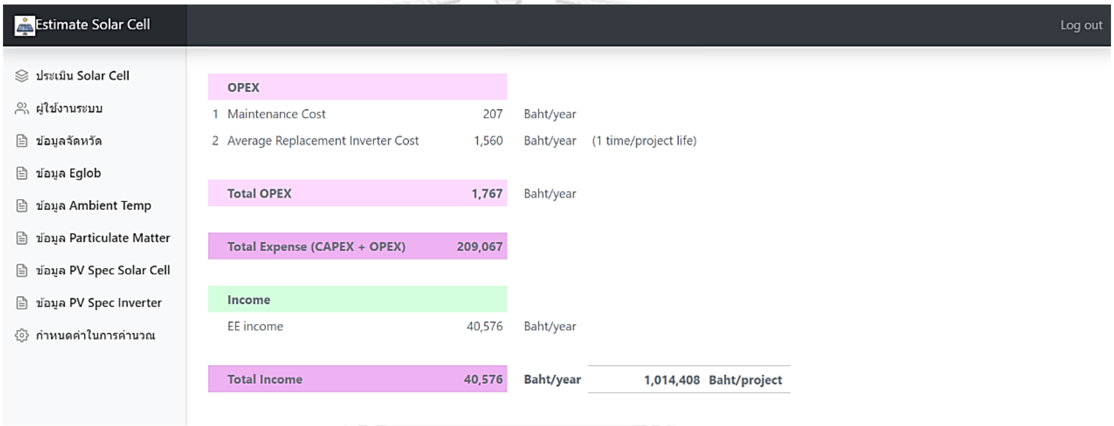
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 66 การแสดงผลวิเคราะห์ข้อมูลจากซอฟต์แวร์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

6.2.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

จากข้อมูลนำเข้าที่ผู้ใช้งานได้กรอกลงในซอฟต์แวร์และสั่งให้ระบบเริ่มการวิเคราะห์ในข้างต้น ลำดับในการประมวลผล และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละช่วงการคำนวณจนกระทั่งสิ้นสุดการวิเคราะห์การประเมินในแต่ละโครงการ มีดังนี้

1) จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานย้อนหลัง 6 เดือน (Load profile) จะถูกนำมาเฉลี่ยเป็นค่าการใช้พลังงานต่อเดือน (kWh/month) และนำมาประเมินร่วมกับลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งถ่วงน้ำหนักระหว่างการใช้พลังงานช่วงกลางวันและกลางคืน (Peak time) พร้อมทั้งแปลงเป็นค่าการใช้พลังงานต่อวัน หรือตัวแปร E_{load} หน่วยเป็น kWh/d

2) การคำนวณหาขนาดการผลิตติดตั้งของระบบฯ จากสมการที่กำหนดไว้ โดยประมวลผลจาก E_{load} ในข้างต้น และนำเข้าข้อมูลประเภทต่าง ๆ จาก 4 ฐานข้อมูลที่ได้จัดเตรียมไว้ใน

ซอฟต์แวร์ ได้แก่ ฐานข้อมูล Location ฐานข้อมูล E_{glob} ฐานข้อมูล AMT และฐานข้อมูล PM จากฐานข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาร่วมประมวลผลเพื่อการวิเคราะห์หากำลังการผลิตติดตั้งของระบบอย่างละเอียดในรายเดือนและทำการเฉลี่ยค่าดังกล่าวเพื่อเป็นกำลังการผลิตติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับโครงการ หรือ P_{peak} หน่วยเป็น kW_p

3) การตัดสินใจเลือกอุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบฯ ซึ่งโปรแกรมจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์โซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ ที่เหมาะสมกับขนาดของระบบที่คำนวณได้จาก 2 ฐานข้อมูลที่ได้จัดเตรียมไว้ในซอฟต์แวร์ ได้แก่ ฐานข้อมูล PV และฐานข้อมูล INV โดยในขั้นตอนนี้จะทราบถึงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ ได้แก่ ยี่ห้อ รุ่น จำนวน ราคา รวมถึงคุณสมบัติทางเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประกอบเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในโครงการ

4) การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกครั้งโดยใช้คุณสมบัติของอุปกรณ์หลักที่ถูกเลือกมาจากขั้นตอนก่อนหน้าซึ่งมีประสิทธิภาพที่แตกต่างไปจากที่ประมาณการขนาดของระบบในครั้งแรก เพื่อจะได้ทราบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนพื้นฐานประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประกอบระบบ (แผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์) ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น kWh/month และรวมพลังงานไฟฟ้าเป็นรายปี หน่วยเป็น kWh/year

5) การประเมินทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งจะประมวลผลจากการคำนวณและแหล่งข้อมูลในหลายด้านประกอบกัน อาทิ

- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุโครงการ (kWh/Project lifetime)
- อัตราคิดลด (Discount rate)
- อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)
- ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดหาอุปกรณ์หลักของระบบฯ (แผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งรวมถึงค่าสายไฟฟ้า ค่าอุปกรณ์ป้องกันระบบฯ อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด และค่าแรงงานในการติดตั้ง (Installation cost) โดยจัดเป็นงบลงทุน หรือ CAPEX ของโครงการ
- ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบในรายปี ซึ่งจะประเมินจากมูลค่าของระบบที่ทำการติดตั้ง ผลที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำปีรวมตลอดอายุเวลาของโครงการ และรวมถึงค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ซึ่งควรเปลี่ยนหนึ่งครั้งในรอบอายุของโครงการ โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวจัดเป็นงบการดำเนินงาน หรือ OPEX ของโครงการ
- การคำนวณเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการคำนวณอัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีและกำลังการผลิตติดตั้งของระบบ (kWh/kW_p) จากระบบที่จะทำการติดตั้ง และการคำนวณอัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีและกำลังการผลิต

ติดตั้งของระบบ (kWh/kW_p) ในทางทฤษฎี และทำการคำนวณประสิทธิภาพของระบบจากข้อมูลข้างต้น จากนั้นประเมินผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมด้วยการหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซค์ที่ลดลงตลอดอายุโครงการหรือเรียกว่า CO_2 reduction ต่อไป

- การคำนวณผลประโยชน์ตอบแทนที่เกิดขึ้นของโครงการ ด้วยการประเมินผลประโยชน์ทั้งทางตรง (Direct benefit) และทางอ้อม (Indirect benefit) ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและด้านสิ่งแวดล้อม ผลการคำนวณจะทราบดัชนีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) ดัชนีผลกำไร (Profit index: PI) ดัชนีผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on investment: ROI) ดัชนีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-cost ratio: BCR) ระยะเวลาการคืนทุน (Payback period: PB) รวมถึงผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมด้วยการคำนวณปริมาณ CO_2 ที่ลดได้ตลอดช่วงอายุของโครงการ

ผลจากการคำนวณทั้งหมดในข้างต้นเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์และประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยซอฟต์แวร์จะสร้างผลลัพธ์ของการประเมินในขั้นตอนถัดไป

6.2.5.4 ขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์ของการประเมิน

ผลการประเมินโครงการจะแสดงในหน้าต่างของซอฟต์แวร์ โดยประกอบด้วยข้อมูลส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ ประกอบด้วย

1) ส่วนภาพรวมของระบบ (System overview) ได้แก่ รายละเอียดของยี่ห้อ รุ่น ชนิด พิกัด และประสิทธิภาพ ของแผงโซล่าเซลล์ ส่วนอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์จะแสดงรายละเอียดของยี่ห้อ รุ่น ระบบไฟฟ้า MPP และประสิทธิภาพ

2) ส่วนข้อมูลการออกแบบและประเมิน (PV design data) จะแสดงรายละเอียดของขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบ (kW_p) จำนวนแผงโซล่าเซลล์ จำนวนอินเวอร์เตอร์ ค่าประสิทธิภาพของระบบ (%) ปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/year) กำลังไฟฟ้าจำเพาะ (PVOUT) ค่า CO_2 ที่สามารถลดได้ตลอดอายุโครงการ (ton)

3) ส่วนกราฟแท่งพลังงานไฟฟ้ารายเดือน (Energy yield) จะแสดงปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) เป็นกราฟแท่งจำแนกในแต่ละเดือนตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม

4) ส่วนตารางพลังงานไฟฟ้ารายเดือนและร้อยละ (Energy yield per month and percentage) จะแสดงปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) และสัดส่วนพลังงาน (%) จำแนกในแต่ละเดือน ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม

5) ส่วนผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ (Techno-economic analysis) จะแสดงประมาณการค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก ดัชนีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ดัชนีผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำไร (PI) ดัชนีผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ดัชนีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) ระยะเวลาการคืนทุน (PB) ของโครงการ

6.2.5.5 ขั้นตอนการส่งออกข้อมูลเป็นเอกสารสรุป

จากการแสดงผลบนหน้าจอของซอฟต์แวร์ซึ่งมีรายละเอียดในข้างต้น ผู้ใช้งานสามารถส่งออกเป็นไฟล์อิเล็กทรอนิกส์รูปแบบ PDF หรือสั่งพิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์ได้ทันที โดยเอกสารสรุปจะมีลักษณะเป็น 1 หน้ากระดาษขนาด A4 มีรายละเอียดข้อมูลโครงการที่สำคัญ ดังภาพที่ 67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

iDEPV

Project:Innovation Building

Location:Nakhon Sawan

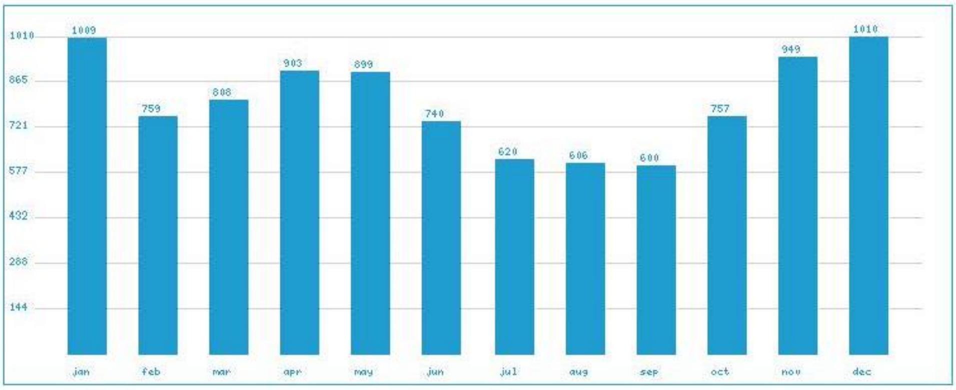
Grid system:1 phase

PV system size:6.32 kWp

System overview

PV module	[Brand+model+PV type+power+Eff] Risen + RSM156-6-440M + Mono + 440.00 + 20.30
Inverter	[Brand+model+AC rated+phase+rated power+MPP+Eff] INVT + iMars MG3KTL + 230V + 1 + 3.00 + 1.00 + 96.50

PV design data	
Peak power: 6.32 KWp	Annual energy yield: 9,661 kWh
Number of PV modules: 15	Spec. energy yield: 1,528.6 kWh/KWp
Number of PV inverters: 2	CO2 emission per kWh: 0.494
Performance ratio: 80.4 %	CO2reduction after 25 years:119.31 t



Energy Yield per Month (kWh/month)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1,009	759	808	903	899	740	620	606	600	757	949	1,010
10%	8%	8%	9%	9%	8%	6%	6%	6%	8%	10%	10%

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS	Solar rooftop project
Investment: 207,300 bath	Net present value (NPV): 339,672 baht
Profit index (PI): 2.46	Benefit-cost ratio (BCR): 2.76
Return on investment (ROI):146.28 %	Payback period (PB): 5.11 year

ภาพที่ 67 ตัวอย่างเอกสารสรุปการประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

6.3 การทดสอบและปรับปรุงซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

ในการทดสอบซอฟต์แวร์และนำผลการทดสอบมาปรับปรุงข้อผิดพลาด รวมถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ตอบสนองต่อจุดมุ่งหมายในการใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

6.3.1 กระบวนการทดสอบและผลการทดสอบซอฟต์แวร์

ผู้วิจัยกำหนดโครงการอ้างอิงซึ่งมีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบแล้ว จำนวน 5 โครงการ ซึ่งเป็นตัวแทนของโครงการ Solar rooftop สำหรับการทดสอบในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ประกอบด้วยโครงการอ้างอิง ในจังหวัดลำปาง จังหวัดนครปฐม จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดเพชรบุรี แสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 รายละเอียดของโครงการอ้างอิงสำหรับการทดสอบซอฟต์แวร์

Reference Project	Installed Capacity *(kWp)*	Location	PV module (Installed at rooftop)	Inverter
1	996.48	Lampang	Polycrystalline 320W, 3,114 sets Module eff. 17%	AC Active Power 36 kW, 25 sets, 400 V, 3W+N+PE, 50 Hz, Euro Eff. 96%
2	992.25	Nakhon Pathom	Polycrystalline 315W, 3,150 sets, Module eff. 17%	AC Active Power 36 kW, 25 sets, 400 V, 3W+N+PE, 50 Hz, Euro Eff. 96%
3	993.51	Nakhon Ratchasima	Polycrystalline 315W, 3,154 sets, Module eff. 17%	AC Active Power 36 kW, 25 sets, 400 V, 3W+N+PE, 50 Hz, Euro Eff. 96%
4	996.48	Chonburi	Polycrystalline 320W, 3,114 sets Module eff. 17%	AC Active Power 36 kW, 25 sets, 400 V, 3W+N+PE, 50 Hz, Euro Eff. 96%
5	992.25	Phetchaburi	Polycrystalline 315W, 3,150 sets, Module eff. 17%	AC Active Power 36 kW, 25 sets, 400 V, 3W+N+PE, 50 Hz, Euro Eff. 96%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระบวนการทดสอบผลลัพธ์ของซอฟต์แวร์เพื่อเป็นการยืนยันว่าผลลัพธ์ในการคำนวณของซอฟต์แวร์นั้นสอดคล้องกับข้อเท็จจริงที่ได้จากโครงการที่มีการติดตั้งและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบแล้ว (โครงการอ้างอิง) ด้วยเหตุนี้จึงทำการจำลองข้อมูลกำลังการผลิตติดตั้งและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงที่เกิดขึ้นรายเดือนและสรุปเป็นรายปีของโครงการอ้างอิงดังกล่าว เปรียบเทียบกับผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมในเชิงพื้นที่จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น (iDEPV) และผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากซอฟต์แวร์ทั่วไปที่มีอยู่ในปัจจุบัน ผู้วิจัยเลือกโปรแกรมจำนวน 2 แหล่งข้อมูล คือ โปรแกรม “การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์” ของ CES Solar Cells Testing Center (CSSC, 2020) และโปรแกรมประเมินพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ “Global Solar Atlas” ของ

SOLARGIS ซึ่งอยู่ภายใต้โครงการของ The World Bank Group (Solargis, 2020) หากผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น พบว่าหากมีหรือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จะดำเนินการสรุปผลการทดสอบในลำดับถัดไป

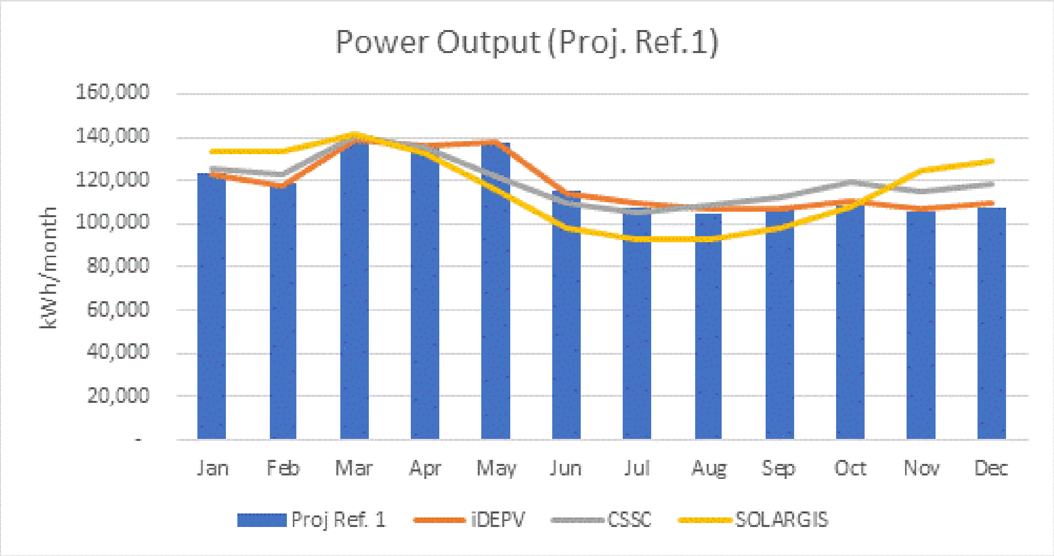
โครงการอ้างอิงที่ 1 จังหวัดลำปาง ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 996.48 kWp ใช้แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 320 W ต่อแผง รวม 3,114 แผง ซึ่งมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า 17% เชื่อมต่อพลังงานที่ผลิตได้ไปยังอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ขนาด 36 kW ต่อเครื่อง รวม 25 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้าน Output 400 volt, 3 Phase, 50 Hz ซึ่งมีประสิทธิภาพ 96% ลักษณะการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ดังภาพที่ 68 และภาพที่ 69 รวมถึงแสดงในตารางที่ 29

ภาพที่ 68 โครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง

ตารางที่ 29 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง

Month	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) โครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง			
	Project. Ref.1	iDEPV	CSSC	SOLARGIS
Jan	123,573	123,277	125,788	133,881
Feb	118,956	117,960	123,213	133,584
Mar	139,509	138,546	140,851	141,039
Apr	135,528	136,134	135,601	132,229
May	137,767	137,882	122,081	115,874
Jun	114,969	114,407	109,533	98,264
Jul	106,943	109,650	105,029	92,740
Aug	104,826	106,625	108,983	92,457
Sep	106,851	106,845	112,164	98,409
Oct	108,193	110,154	119,362	108,075
Nov	105,874	107,333	114,555	124,521
Dec	107,229	109,782	118,621	128,793
Total	1,410,220	1,418,596	1,435,781	1,399,868
% Difference		0.59	1.81	-0.73

Note: Project Ref คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริง ปี 2562, iDEPV คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา, CSSC คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ในประเทศไทย และ SOLARGIS คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ต่างประเทศ



ภาพที่ 69 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดลำปาง

โครงการอ้างอิงที่ 2 จังหวัดนครปฐม ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 992.25 kWp ใช้แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 315 W ต่อแผง รวม 3,150 แผง ซึ่งมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า 17% เชื่อมต่อพลังงานที่ผลิตได้ไปยังอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ขนาด 36 kW ต่อเครื่อง รวม 25 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้าน Output 400

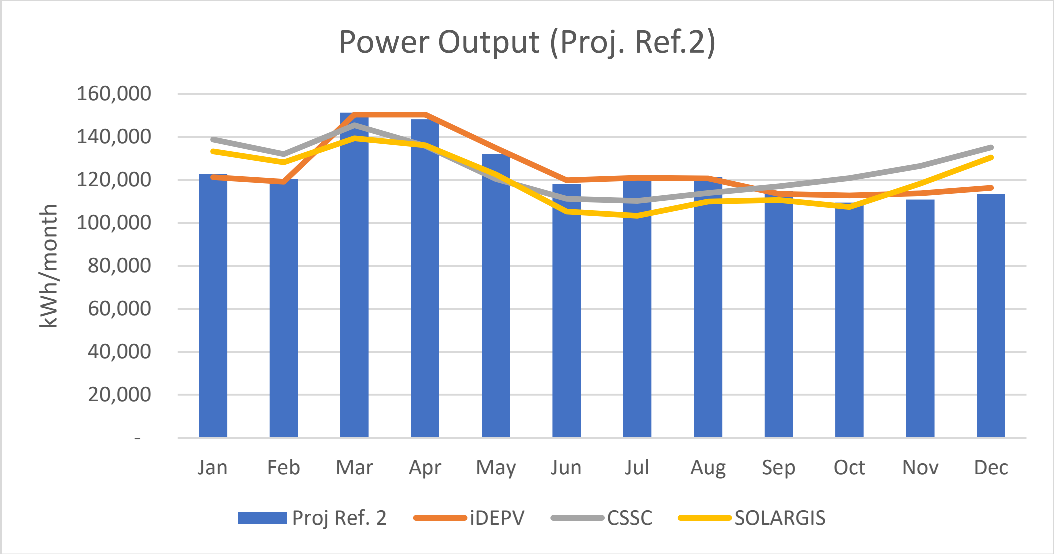
volt, 3 Phase, 50 Hz ซึ่งมีประสิทธิภาพ 96% ลักษณะการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ดังภาพที่ 70 และ **Error! Reference source not found.** รวมถึงแสดงในตารางที่ 30

ภาพที่ 70 โครงการอ้างอิง จังหวัดนครปฐม

ตารางที่ 30 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดนครปฐม

Month	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) โครงการอ้างอิงจังหวัดนครปฐม			
	Project. Ref.2	iDEPV	CSSC	SOLARGIS
Jan	122,668	121,276	138,788	133,189
Feb	120,483	119,129	132,025	128,183
Mar	151,217	150,349	145,432	139,367
Apr	148,209	150,420	135,740	136,029
May	131,985	134,787	120,332	122,573
Jun	117,984	119,751	111,211	105,278
Jul	119,835	120,982	110,243	103,246
Aug	121,243	120,731	113,934	109,854
Sep	114,864	113,514	116,927	110,628
Oct	109,473	112,699	120,824	107,439
Nov	110,778	113,754	126,452	118,328
Dec	113,506	116,252	135,097	130,459
Total	**1,482,246**	**1,493,644**	**1,507,005**	**1,444,572**
% Difference		**0.77**	**1.67**	**-2.54**

Note: Project Ref คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริง ปี 2562, iDEPV คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา, CSSC คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ในประเทศไทย และ SOLARGIS คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ต่างประเทศ



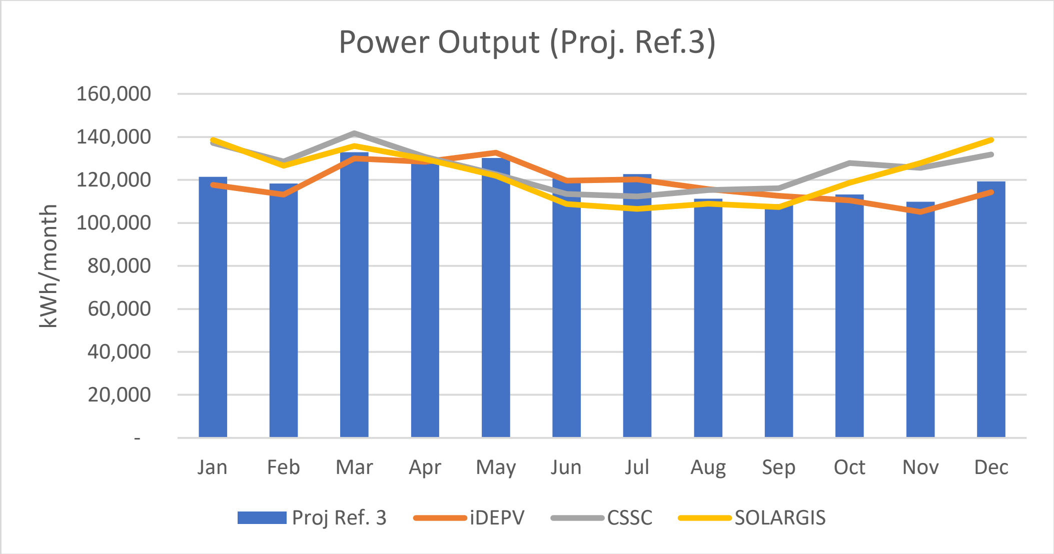
ภาพที่ 71 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดนครปฐม

โครงการอ้างอิงที่ 3 จังหวัดนครราชสีมา ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 993.51 kWp ใช้แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 315 W ต่อแผง รวม 3,154 แผง ซึ่งมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า 17% เชื่อมต่อพลังงานที่ผลิตได้ไปยังอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ขนาด 36 kW ต่อเครื่อง รวม 25 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้าน Output 400 volt, 3 Phase, 50 Hz ซึ่งมีประสิทธิภาพ 96% ลักษณะการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ดังภาพที่ 72 และภาพที่ 73 รวมถึงแสดงในตารางที่ 31

ภาพที่ 72 โครงการอ้างอิง จังหวัดนครราชสีมา

ตารางที่ 31 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดนครราชสีมา

Month	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) โครงการอ้างอิงจังหวัดนครราชสีมา			
	Project. Ref.3	iDEPV	CSSC	SOLARGIS
Jan	121,472	117,764	137,240	138,555
Feb	118,305	113,237	128,632	126,586
Mar	132,938	130,048	141,675	135,847
Apr	129,853	128,411	130,666	129,731
May	130,192	132,696	122,703	121,908
Jun	120,729	119,666	113,499	108,740
Jul	122,731	120,178	112,354	106,515
Aug	111,294	115,709	115,311	108,980
Sep	108,728	112,607	116,122	107,304
Oct	113,256	110,546	127,877	118,629
Nov	109,792	105,060	125,659	127,917
Dec	119,353	114,245	131,819	138,692
Total	1,438,643	1,420,167	1,503,554	1,469,404
% Difference		-1.28	4.51	2.14
Note: Project Ref คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริง ปี 2562, iDEPV คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา, CSSC คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ในประเทศไทย และ SOLARGIS คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ต่างประเทศ				



ภาพที่ 73 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดนครราชสีมา

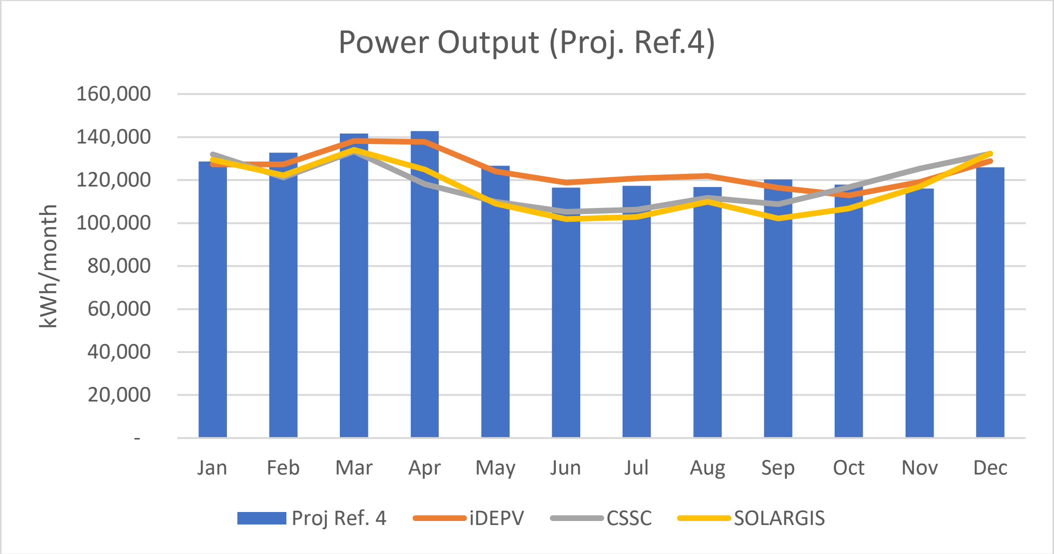
โครงการอ้างอิงที่ 4 จังหวัดชลบุรี ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 996.48 kWp ใช้แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 320 W ต่อแผง รวม 3,114 แผง ซึ่งมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า 17% เชื่อมต่อพลังงานที่ผลิตได้ไปยังอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ขนาด 36 kW ต่อเครื่อง รวม 25 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้าน Output 400

volt, 3 Phase, 50 Hz ซึ่งมีประสิทธิภาพ 96% ลักษณะการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ดังภาพที่ 74 และภาพที่ 75 รวมถึงแสดงในตารางที่ 32

ภาพที่ 74 โครงการอ้างอิง จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 32 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดชลบุรี

Month	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) โครงการอ้างอิงจังหวัดชลบุรี			
	Project. Ref.4	iDEPV	CSSC	SOLARGIS
Jan	128,697	127,318	131,966	129,473
Feb	132,757	127,271	121,204	122,224
Mar	141,687	138,134	133,449	134,109
Apr	142,803	137,825	118,143	124,960
May	126,671	124,018	109,972	109,138
Jun	116,445	118,798	105,228	101,820
Jul	117,366	120,741	106,265	102,906
Aug	116,714	122,002	111,701	109,985
Sep	120,372	116,359	108,816	102,162
Oct	117,874	112,927	116,644	106,793
Nov	116,102	119,042	125,317	116,973
Dec	125,962	128,808	132,213	132,402
Total	**1,503,451**	**1,493,242**	**1,420,917**	**1,392,945**
% Difference		**-0.68**	**-5.49**	**-7.35**
Note: Project Ref คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริง ปี 2563, iDEPV คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา, CSSC คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ในประเทศไทย และ SOLARGIS คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ต่างประเทศ				



ภาพที่ 75 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดชลบุรี

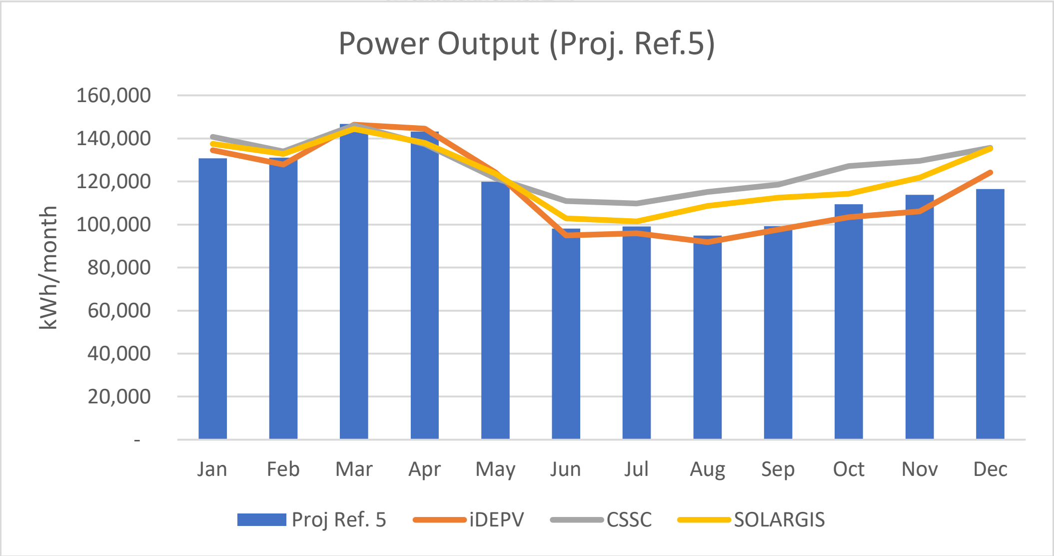
โครงการอ้างอิงที่ 5 จังหวัดเพชรบุรี ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขนาด 992.25 kWp ใช้แผงโซล่าเซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 315 W ต่อแผง รวม 3,150 แผง ซึ่งมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า 17% เชื่อมต่อพลังงานที่ผลิตได้ไปยังอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า ขนาด 36 kW ต่อเครื่อง รวม 25 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้าน Output 400 volt, 3 Phase, 50 Hz ซึ่งมีประสิทธิภาพ 96% ลักษณะการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ ดังภาพที่ 76 และภาพที่ 77 รวมถึงแสดงในตารางที่ 33

ภาพที่ 76 โครงการอ้างอิง จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ 33 ตารางเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการอ้างอิงจังหวัดเพชรบุรี

Month	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/month) โครงการอ้างอิงจังหวัดเพชรบุรี			
	Project. Ref.5	iDEPV	CSSC	SOLARGIS
Jan	130,837	134,536	140,757	137,518
Feb	131,032	127,864	134,025	132,844
Mar	146,739	146,333	146,170	144,458
Apr	143,282	144,527	137,407	137,957
May	119,853	124,245	121,563	123,685
Jun	98,142	94,975	110,973	102,816
Jul	99,046	95,882	109,751	101,472
Aug	94,847	91,866	115,165	108,607
Sep	99,203	97,647	118,594	112,404
Oct	109,375	103,412	127,222	114,349
Nov	113,792	106,149	129,548	121,855
Dec	116,425	124,245	135,589	135,229
Total	**1,402,573**	**1,391,679**	**1,526,763**	**1,473,194**
% Difference		**-0.78**	**8.85**	**5.04**

Note: Project Ref คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริง ปี 2562, iDEPV คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา, CSSC คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ในประเทศไทย และ SOLARGIS คือ ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ต่างประเทศ



ภาพที่ 77 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โครงการอ้างอิงจังหวัดเพชรบุรี

จากกระบวนการทดสอบและเปรียบเทียบในข้างต้น ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบด้วยสถิติอีกครั้งด้วยการทดสอบความแตกต่างแบบรายคู่ ด้วยสถิติ Independent Samples t-test ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณที่ได้จากซอฟต์แวร์ "iDEPV" และข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโครงการอ้างอิง รวมทั้งสิ้น 5 โครงการ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่บันทึกได้จริงและการประเมินจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

PV system	Mean (kWh)	Mean difference	*t*	*df*	*P-value*
1. Ref.1 Lampang					
Recorded	117,518	-698	-0.131	22	*0.897*
iDEPV	118,216				
2. Nakhon Pathom					
Recorded	123,520	-950	-0.172	22	*0.865*
iDEPV	124,470				
3. Nakhon Ratchasima					
Recorded	119,887	1540	0.456	22	*0.653*
iDEPV	118,347				
4. Chonburi					
Recorded	125,288	851	0.237	22	*0.815*
iDEPV	124437				
5. Phetchaburi					
Recorded	116,881	907	0.117	22	*0.908*
iDEPV	115,973				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ในข้างต้น พบว่าการทดสอบโครงการในเขตภาคเหนือคือจังหวัดลำปาง พลังงานที่บันทึกได้น้อยกว่าการคาดการณ์จากซอฟต์แวร์และข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ *(t=-0.131, p=0.897)* ส่วนการทดสอบโครงการในเขตภาคกลางที่จังหวัดนครปฐม พลังงานที่บันทึกได้ต่ำกว่าการคาดการณ์จากซอฟต์แวร์เช่นเดียวกันและข้อมูลไม่มีความแตกต่างทางสถิติ *(t=-0.172, p=0.865)* สำหรับโครงการในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดนครราชสีมา พลังงานที่บันทึกได้มีค่ามากกว่าผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์และข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ *(t=0.456, p=0.653* ส่วนการเปรียบเทียบโครงการภาคตะวันออกที่จังหวัดชลบุรี พลังงานที่บันทึกได้มีค่ามากกว่าผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์เช่นเดียวกัน และข้อมูลไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติ *(t=0.237, p=0.815)* รวมถึงโครงการที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้เช่นจังหวัดเพชรบุรี พบว่าพลังงานที่บันทึกได้มีค่าสูงกว่าการคาดการณ์จากซอฟต์แวร์และข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ *(t=0.117, p=0.908)*

สรุปผลการทดสอบแสดงถึงว่าผลการประมาณการค่าพลังงานที่จะผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่าสถิติในข้างต้นแสดงว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั้นหมายถึงว่าข้อมูลจากทั้งสองแหล่งคือข้อมูลจากการผลิตพลังงานที่บันทึกได้จริง กับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่จะสามารถผลิตได้จากผลการประเมินของซอฟต์แวร์ iDEPV มีความสอดคล้องใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ตามโครงการที่ได้นำมาศึกษาเปรียบเทียบกันจำนวน 5 โครงการแต่ละภูมิภาคในข้างต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความมั่นใจที่จะนำซอฟต์แวร์ไปใช้เพื่อการประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในพื้นที่ต่าง ๆ ต่อไป

6.3.2 ผลการปรับปรุงซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

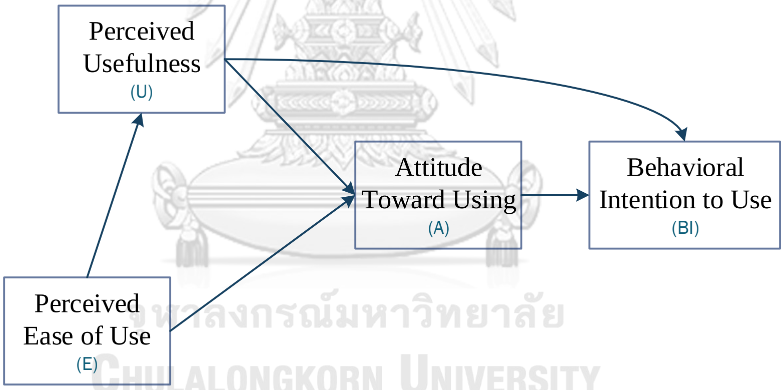
จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบข้างต้น ไม่พบปัญหาในส่วนของความเที่ยงตรงของซอฟต์แวร์ แต่ผู้วิจัยทำการพัฒนาขั้นตอนในการกรอกข้อมูลให้มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น รวมถึงความสามารถในการจัดเก็บและส่งออกผลการประเมินให้มีความสะดวก มีความชัดเจนในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น รวมถึงข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้งานในกรณีที่กรอกข้อมูลไม่ควบถ้วน หรือไม่ถูกต้อง เป็นต้น ทั้งนี้หลังจากที่ปรับปรุงในด้านต่าง ๆ แล้ว ผู้วิจัยจะทดสอบการใช้งานในด้านต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจและพร้อมก่อนนำไปทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ในลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 7
การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ และพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

7.1 ผลทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

จากนวัตกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่ผ่านการทดสอบและพัฒนาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยนำมาทดสอบการยอมรับเทคโนโลยีกับกลุ่มตัวอย่างที่เคยมีประสบการณ์การใช้งานซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบจากผู้ให้บริการรายอื่นมาก่อน โดยการนำแบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (Technology acceptance model: TAM) ที่พัฒนาขึ้นโดย Davis et al. (1989) มาใช้เป็นกรอบในการทดสอบและพยากรณ์พฤติกรรมของผู้ใช้งานต่อซอฟต์แวร์นวัตกรรมการออกแบบประเมินประสิทธิภาพฯ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ของพฤติกรรมความต้องการใช้งาน (Behavioral intention to use) ต่อไป ดังภาพที่ 78



ภาพที่ 78 แบบจำลองด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM)
ที่มา: ดัดแปลงจาก Davis et al. (1989)

จากกระบวนการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ โดยใช้สถิติวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งผู้วิจัยกล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 3.4.1 โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ ทั้งในกลุ่มผู้ที่เคยใช้งานในโปรแกรมอื่นมาก่อน ผู้ที่ไม่เคยใช้งานโปรแกรมแต่ใช้วิธีการคำนวณด้วยมือ และผู้ที่อยู่ในกลุ่มที่มีแนวโน้มจะเป็นเป้าหมายที่จะใช้งานซอฟต์แวร์ในอนาคต โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ราย และได้นำซอฟต์แวร์ iDEPV ให้ทดลองใช้งานในทุก ๆ ด้าน จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างทำการประเมินผลของการใช้งานซอฟต์แวร์ในแบบสอบถามที่จัดเตรียมไว้ โดยผลการวิเคราะห์มีดังนี้

7.1.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 6 ด้าน ได้แก่ เพศ ระดับอายุ หน่วยงานต้นสังกัด ระดับการศึกษา ระดับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ ประสบการณ์ออกแบบและติดตั้งระบบฯ ด้วยค่าความถี่และร้อยละ มีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ความถี่และร้อยละ ของข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

	ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	**จำนวน**	**ร้อยละ**
1	**เพศ**		
	ชาย	25	83.3
	หญิง	5	16.7
	รวม	**30**	**100.0**
2	**ระดับอายุ**		
	อายุ 21 – 30 ปี	6	20.0
	อายุ 31 – 40 ปี	9	30.0
	อายุ 41 – 50 ปี	7	23.3
	อายุ 51 – 60 ปี	4	13.3
	อายุมากกว่า 60 ปี	4	13.3
	รวม	**30**	**100.0**
3	**หน่วยงานต้นสังกัด**		
	หน่วยงานภาครัฐ	4	13.3
	หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ	2	6.7
	หน่วยงานเอกชน	15	50.0
	เจ้าของกิจการ/อาชีพอิสระ	9	30.0
	รวม	**30**	**100.0**
4	**ระดับการศึกษา**		
	ปริญญาตรี	26	86.7
	ปริญญาโท	4	13.3
	รวม	**30**	**100.0**
5	**ระดับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ**		
	ภาคีวิศวกรพิเศษ	3	10.0
	ภาคีวิศวกร	20	66.7
	สามัญวิศวกร	7	23.3
	รวม	**30**	**100.0**
6	**ประสบการณ์ออกแบบหรือติดตั้งฯ**		
	น้อยกว่า 1 ปี	2	6.7
	1 – 2 ปี	10	33.3
	3 – 4 ปี	10	33.3
	มากกว่า 4 ปี	8	26.7
	รวม	**30**	**100.0**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากข้อมูลในตารางพบว่าหลังจากที่กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งานซอฟต์แวร์ “iDEPV” ในการประเมินจนครบทุกฟังก์ชั่น จากนั้นทำการประเมินด้วยแบบสอบถาม ข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่า

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 83.3 และเพศหญิง ร้อยละ 16.7 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 31 – 40 ปี รองลงมาคืออายุระหว่าง 21 – 30 ปี คิดเป็นร้อยละ 30 และ 20 ตามลำดับ ผู้ให้ข้อมูลเป็นบุคลากรในภาคเอกชนสูงสุด รองลงมาเป็นเจ้าของกิจการ/อาชีพอิสระ คิดเป็นร้อยละ 50.0 และ 30.0 ตามลำดับ พบว่าระดับการศึกษาส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี รองลงมาคือระดับปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 86.7 และ 13.3 ตามลำดับ หากพิจารณาถึงด้านวิชาชีพโดยใช้เกณฑ์ของใบประกอบวิชาชีพทางด้านวิศวกรรมพบว่าผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ได้รับใบอนุญาตระดับภาคีวิศวกร รองลงมาคือระดับสามัญวิศวกร คิดเป็นร้อยละ 66.7 และ 23.3 ตามลำดับ ประสบการณ์ในการออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ที่ผ่านมา พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีประสบการณ์ 1 – 2 ปี และ 3 – 4 ปี เท่ากัน รองลงมามีประสบการณ์มากกว่า 4 ปี คิดเป็นร้อยละ 33.3 และ 26.7 ตามลำดับ

7.1.2 ลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้เพื่อประเมินศักยภาพ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้งาน ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ด้วยค่าความถี่ (frequency) และค่าร้อยละ (percentage) ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ความถี่และร้อยละ ของลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้งาน

	ลักษณะการนำมาใช้งาน	**จำนวน**	**ร้อยละ**
1	**ความรู้จักและการใช้งานซอฟต์แวร์อื่น**		
	ทราบแต่ไม่เคยใช้งาน	3	10.0
	ทราบและเคยใช้งานบางครั้ง	11	36.7
	ทราบและเคยใช้งานเป็นประจำ	16	53.3
	รวม	**30**	**100.0**
2	**การนำซอฟต์แวร์มาใช้ประเมิน**		
	ใช้ทุกขั้นตอนการประเมิน	9	30.0
	ใช้ในบางขั้นตอนการประเมิน	18	60.0
	ไม่ใช้ซอฟต์แวร์การประเมิน	3	10.0
	รวม	**30**	**100.0**
3	**สิทธิ์ในการใช้งานซอฟต์แวร์**		
	Commercial	4	13.3
	Trial / Demo / Shareware	14	46.7
	Freeware	8	26.7
	Other	4	13.3
	รวม	**30**	**100.0**

จากข้อมูลในตารางข้างต้นพบว่าซึ่งเกี่ยวกับลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้งานเพื่อออกแบบและประเมิน โดยพบว่าส่วนใหญ่จะทราบว่ามีซอฟต์แวร์เพื่อการออกแบบและเคยใช้งานเป็นประจำ รองลงมาทราบว่ามีซอฟต์แวร์เพื่อการออกแบบและได้นำมาใช้งานในบางครั้ง คิดเป็นร้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ละ 53.3 และ 36.7 ตามลำดับ ส่วนการใช้ประโยชน์จากซอฟต์แวร์ขั้นตอนต่าง ๆ ในการประเมิน พบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่นำซอฟต์แวร์มาใช้ในบางขั้นตอนของการประเมิน รองลงมาได้ใช้งานในทุกขั้นตอนของการประเมิน คิดเป็นร้อยละ 60.0 และ 30.0 ตามลำดับ โดยซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้งาน พบว่าสิทธิ์ในการใช้งานส่วนใหญ่เป็นแบบ Trial/Demo/Shareware รองลงมาเป็นแบบ Freeware คิดเป็นร้อยละ 46.7 แล 26.7 ตามลำดับ

7.1.3 ผลการวิเคราะห์การยอมรับเทคโนโลยีซอฟต์แวร์

ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) ของโมเดลการยอมรับเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ ในด้านประโยชน์ของระบบ ความง่ายในการใช้งาน ทัศนคติต่อการใช้งาน และความต้องการใช้งาน สิ่งเหล่านี้นำมาสู่ข้อสรุปด้านการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) ของซอฟต์แวร์การประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านประโยชน์ของซอฟต์แวร์

ด้านประโยชน์ของระบบ iDEPV	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับ	ลำดับ
1. ระบบ iDEPV ช่วยลดเวลาในการดำเนินงานเพื่อประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ ของท่านลงได้	4.43	0.50	มากที่สุด	2
2. ความมั่นใจว่า ระบบ iDEPV จะช่วยให้การประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ มีความถูกต้องและผลลัพธ์จะเป็นประโยชน์ในการติดตั้งระบบฯ ต่อไปได้	4.10	0.55	มาก	5
3. ระบบ iDEPV ช่วยลดขั้นตอนและความยุ่งยากซับซ้อนในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นข้อมูลก่อนการติดตั้งระบบ	4.37	0.49	มากที่สุด	3
4. ระบบ iDEPV ช่วยลดความผิดพลาดของท่านเองในการคำนวณตามขั้นตอนต่าง ๆ ของการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	4.37	0.56	มากที่สุด	3
5. ระบบ iDEPV ช่วยให้การคำนวณและประมวลผลในการประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของท่านมีความรวดเร็วมากขึ้น	4.57	0.54	มากที่สุด	1
ภาพรวมของด้านประโยชน์ของระบบ iDEPV	**4.37**	**0.29**	**มากที่สุด**	

จากข้อมูลในตารางข้างต้น พบว่าผู้ใช้งานมองถึงประโยชน์ของซอฟต์แวร์ iDEPV ว่าตัวของระบบช่วยให้การคำนวณและประมวลผลในการประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ ของผู้ใช้งานมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.57, SD. = 0.54) รองลงมาคือซอฟต์แวร์ช่วยลดเวลาในการดำเนินงานเพื่อประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าฯ ลงได้ ในระดับมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่สุด (Mean = 4.43, SD. = 0.50) ส่วนภาพรวมในด้านนี้พบว่ามีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.37, SD. = 0.29) ดังตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านความง่ายของการใช้งานซอฟต์แวร์

ด้านความง่ายของการใช้งานระบบ iDEPV	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ	ลำดับ
1. การเริ่มต้นเรียนรู้เพื่อใช้งานซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV จนได้ผลลัพธ์การคำนวณออกมา เป็นเรื่องง่ายและไม่ซับซ้อนต่อการเรียนรู้	4.43	0.50	มากที่สุด	1
2. ท่านสามารถแนะนำวิธีการใช้งานตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงการได้มาซึ่งผลลัพธ์การคำนวณ แก่ผู้อื่นที่มีความสนใจใช้งานซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV ได้	4.00	0.64	มาก	3
3. ขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การป้อนข้อมูลจนถึงการประมวลผลลัพธ์ ในซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV มีความชัดเจนและง่ายต่อการใช้งาน	4.37	0.61	มากที่สุด	2
ภาพรวมของด้านความง่ายของการใช้งานระบบ iDEPV	**4.27**	**0.41**	**มากที่สุด**	

จากข้อมูลในตารางข้างต้น พบว่าผู้ใช้งานมองถึงความง่ายของการใช้งานซอฟต์แวร์ iDEPV ว่าการเริ่มต้นเรียนรู้เพื่อใช้งานซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV จนได้ผลลัพธ์การคำนวณออกมา เป็นเรื่องง่ายและไม่ซับซ้อนต่อการเรียนรู้ ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.43, SD. = 0.50) รองลงมาคือการป้อนข้อมูลจนถึงการประมวลผลลัพธ์ ในซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV มีความชัดเจนและง่ายต่อการใช้งาน ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.37, SD. = 0.61) ส่วนภาพรวมในด้านนี้พบว่ามีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.27, SD. = 0.41) ดังตารางที่ 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านทัศนคติต่อการใช้งานซอฟต์แวร์

ทัศนคติต่อการใช้งานระบบ iDEPV	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ	ลำดับ
1. ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV สามารถเป็นตัวช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	4.40	0.50	มากที่สุด	1
2. ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV ควรได้รับการสนับสนุนและนำมาใช้งานเพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ต่อไป	4.23	0.57	มากที่สุด	3
3. การนำซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV มาใช้ในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ จะเกิดผลดีต่อการทำงานของท่านในการประเมินระบบฯ	4.40	0.50	มากที่สุด	1
ภาพรวมของด้านทัศนคติต่อการใช้งานระบบ iDEPV	**4.34**	**0.37**	**มากที่สุด**	

จากข้อมูลในตารางข้างต้น พบว่าผู้ใช้งานมีทัศนคติต่อการใช้งานระบบ iDEPV ว่า ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV สามารถเป็นตัวช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้า และซอฟต์แวร์นี้เมื่อนำมาใช้จะเกิดผลดีต่อการทำงานของท่านในการประเมินระบบฯ โดยทั้งสองข้อนี้มีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากัน (Mean = 4.40, SD. 0.50) รองลงมาคือ ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV ควรได้รับการสนับสนุนและนำมาใช้งานเพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพฯ ต่อไป ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน (Mean = 4.23, SD. 0.57) ส่วนภาพรวมในด้านนี้พบว่ามีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.34, SD. = 0.37) ดังตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้านความต้องการใช้งานซอฟต์แวร์

ความต้องการใช้งานระบบ iDEPV	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ	ลำดับ
1. ท่านตั้งใจใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ สำหรับโครงการฯ ใหม่ที่ท่านรับผิดชอบ	4.30	0.53	มากที่สุด	1
2. ท่านตั้งใจใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เป็นเครื่องมือหลักในการทำงาน ด้านการออกแบบและประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	4.13	0.57	มาก	3
3. ท่านตั้งใจแนะนำบุคคลอื่นที่ท่านรู้จักให้ใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	4.20	0.55	มาก	2
ภาพรวมของความต้องการใช้งานระบบ iDEPV	**4.21**	**0.41**	**มาก**	

จากข้อมูลในตารางข้างต้น พบว่าผู้ใช้งานมีความตั้งใจใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ สำหรับโครงการฯ ใหม่จะเกิดขึ้น ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.30, SD. = 0.53) รองลงมาคือ มีความตั้งใจแนะนำบุคคลอื่นที่รู้จักให้ใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ต่อไป อยู่ในระดับมาก (Mean = 4.20, SD. = 0.55) ส่วนภาพรวมในด้านนี้พบว่ามีค่าอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.21, SD. = 0.41)

ผลการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในข้างต้นสรุปได้ว่า ผู้ทดลองใช้งานซอฟต์แวร์พิจารณาว่ามีประโยชน์ในระดับมากที่สุด ความง่ายต่อการใช้งานในระดับมากที่สุด รวมถึงมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้งานซอฟต์แวร์ฯ ในระดับมากที่สุด สำหรับความต้องการใช้งานซอฟต์แวร์พบว่ามีความต้องการใช้งานในระดับมาก จากผลการทดสอบนี้ผู้วิจัยจึงดำเนินการในขั้นตอนการพัฒนารูปแบบการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

7.2 การพัฒนารูปแบบการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

7.2.1 การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก (PEST Analysis)

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีผลกระทบต่อการดำเนินในเชิงพาณิชย์ ด้วยการใช้เครื่องมือ PEST Analysis ช่วยในการวิเคราะห์ทั้ง 4 ด้านหลักที่ควรคำนึงถึง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นส่วนที่ไม่สามารถควบคุมได้ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจส่งผลกระทบทั้งทางตรงหรือทางอ้อมต่อการดำเนินงาน มีรายละเอียดการวิเคราะห์ ดังนี้

1) ด้านสภาพแวดล้อมการเมืองและกฎหมาย (Political-legal factors)

แนวนโยบายของรัฐเป็นส่วนสำคัญที่จะมีผลทั้งเชิงบวกและลบต่อการดำเนินงานทางธุรกิจ ทั้งด้านความเชื่อมั่นต่อการลงทุนรวมถึงแนวทางในการวางแผนกลยุทธ์การดำเนินงาน หากนโยบายที่เกี่ยวข้องขาดความชัดเจนหรือมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไปมา ตลอดจนกฎหมาย ระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งอาจเป็นสิ่งที่สนับสนุนหรือเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินธุรกิจได้ นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงแผนแม่บทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย อย่างกรณีการสนับสนุนให้ผู้ใช้งานไฟฟ้ากลุ่มครัวเรือน ธุรกิจขนาดกลางและขนาดใหญ่ รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรม หันมาใช้พลังงานทดแทนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานหลักของประเทศ ด้วยการรับซื้อไฟฟ้าเหลือใช้จากที่ผลิตได้กลับคืนสู่ระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องคืออัตราค่าไฟฟ้าที่รับซื้อคืนต่อหน่วย หรือแม้กระทั่งมาตรการลดหย่อนด้านภาษีในการลงทุนติดตั้งระบบฯ สำหรับสถานประกอบการที่นำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นต้น

2) ด้านเศรษฐกิจ (Economic factors)

จากสถานการณ์เศรษฐกิจของประเทศและนานาประเทศทั่วโลกที่อยู่ในภาวะชะลอตัว ทั้งสงครามการค้าที่เกิดขึ้น การตั้งกำแพงภาษีของชาติมหาอำนาจ รวมถึงวิกฤตด้านโรคอุบัติใหม่ที่เกิดขึ้นทั่วโลกและยังไม่มีแนวโน้มที่ทุเลาลง สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้เกิดผลกระทบต่อทุกผู้คนรวมถึงภาคธุรกิจ ภาคอุตสาหกรรม อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ภายใต้วิกฤติเหล่านี้หากพิจารณาในการลงทุนเพื่อลดค่าใช้จ่ายระยะยาวอย่างยั่งยืนด้วยการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองในครัวเรือน ชุมชน โดยเฉพาะภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงและถือเป็นต้นทุนหลักในการดำเนินกิจการ รวมถึงเขตเศรษฐกิจพิเศษในภูมิภาคต่าง ๆ ที่ได้รับการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง

3) ด้านสภาพแวดล้อมทางสังคมและวัฒนธรรม (Social-cultural factors)

สภาพแวดล้อมทางด้านสังคมและวัฒนธรรมที่แวดล้อม นับเป็นแรงขับเคลื่อนต่อกิจกรรมที่เกิดขึ้น เป็นแนวคิดด้านทัศนคติ ค่านิยม ร่วมกันในชุมชน สังคม ด้วยเหตุนี้การขับเคลื่อนธุรกิจที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมด้านสังคมและวัฒนธรรม จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง ดังเช่นแนวคิดการอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานทดแทนจากธรรมชาติ เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งเดิม อาทิ โครงการพลังงานชุมชนที่ได้รับความร่วมแรงร่วมใจของคนในชุมชนเพื่อผลิต

พลังงานไฟฟ้าใช้เองชุมชนนั้น ๆ อีกหนึ่งโครงการที่สอดคล้องกันคือ เมืองอัจฉริยะ หรือ Smart city โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภท Smart energy ซึ่งมีกิจกรรมส่งเสริมทั้งในภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจ ตลอดจนอุตสาหกรรม ในพื้นที่ดังกล่าว

4) ด้านเทคโนโลยี (Technological factors)

สำหรับด้านเทคโนโลยีซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการนำพลังงานทดแทนมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า และที่เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการพัฒนาดังกล่าวจะทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีค่าสูงขึ้น ส่วนด้านราคามีแนวโน้มที่ต่ำลง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลในเชิงบวกต่อการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ เนื่องจากผลตอบแทนจะมีความคุ้มค่ามากกว่าเทคโนโลยีในยุคก่อน ในทางกลับกันเมื่อเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง ผู้ให้บริการที่เกี่ยวข้องในธุรกิจประเภทนี้ต้องมีความตื่นตัวและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองให้สามารถยืดหยุ่นและรองรับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป

7.2.2 การวิเคราะห์สภาวะการแข่งขัน (Five Forces Model)

1) ความรุนแรงของสภาวะการแข่งขันระหว่างองค์กรธุรกิจที่อยู่ในอุตสาหกรรมเดียวกัน (Internal rivalry)

1.1) จำนวนคู่แข่งในอุตสาหกรรม (Numerous or Equally balanced competitors) ในอุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ประเมินระบบโซล่าเซลล์ จะมีคู่แข่งทางตรงซึ่งมีผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันในจุดมุ่งหมายของการใช้งาน โดยผลิตภัณฑ์หรือซอฟต์แวร์ในประเทศ ได้แก่ PVGIS ทำงานบนเว็บแอพพลิเคชั่น ของ CES Solar Cells Testing Center (CSSC) รวมถึงผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จากต่างประเทศ ได้แก่ ซอฟต์แวร์ของค่าย PVsyst ซึ่งต้องเสียค่าสิทธิ์ในการใช้งาน ส่วนคู่แข่งทางอ้อมจะให้บริการประเมินเช่นเดียวกันแต่มีข้อจำกัดโดยผลิตภัณฑ์จะเป็นของค่ายผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ดังกล่าวเท่านั้น หรือตามแต่ผู้ให้บริการซอฟต์แวร์เป็นผู้กำหนดเท่านั้น ได้แก่ PEA Solar Hero, SCG Roof Expert ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ ส่วนซอฟต์แวร์ที่มาจากต่างประเทศ ได้แก่ SMA บนเว็บแอพพลิเคชั่น Sunnydesignweb และ SolarEdge เป็นต้น

1.2) อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรม (Rate of industry growth) จากผลของกระแสการใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการ Solar rooftop ที่ได้รับการสนับสนุนจากนโยบายของรัฐ รวมถึงเทคโนโลยีที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นทำให้ความคุ้มค่าในการลงทุนมีสูงขึ้นกว่าในอดีต ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจการให้บริการติดต้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ก็มีอัตราการเติบโตเช่นเดียวกัน รวมถึงผู้ให้บริการออกแบบและติดตั้งก็มีจำนวนมากขึ้นสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของผู้ประสงค์ติดตั้งระบบฯ ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เหตุนี้ความต้องการใช้งานซอฟต์แวร์เพื่อการประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ ย่อมมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน

1.3) ความเหมือนหรือความต่างของสินค้า (Lack of differentiation) ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์เพื่อการประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งขันทั้งทางตรงและทางอ้อมทางด้านกระบวนการประเมินขนาดของระบบที่เสนอแนะให้ติดตั้งและพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบ โดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีการนำดัชนีคุณภาพอากาศและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในเชิงพื้นที่เข้าร่วมคำนวณด้วยซึ่งเป็นจุดเด่นที่ทำให้การประเมินมีความใกล้เคียงกับพลังงานไฟฟ้าที่จะสามารถผลิตได้จริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ด้วยเหตุนี้ค่อนข้างยากที่คู่แข่งขันรายใหม่จะนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาด

2) ภัยคุกคามจากการเข้าสู่อุตสาหกรรมของคู่แข่งใหม่ (Potential entrances) ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อการประเมินนอกจากจะใช้ความรู้ทางวิศวกรรมเพื่อการประเมินแล้วนั้น ยังต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการเขียนโปรแกรมซึ่งต้องทำงานร่วมกันเป็นทีม ตลอดจนการทดสอบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จะต้องมีการเทียบกับโครงการที่มีการผลิตและติดตั้งไปแล้วเพื่อเป็นการยืนยันผลการประเมินจากซอฟต์แวร์ดังกล่าว ซึ่งลักษะของธุรกิจซอฟต์แวร์ประเภทนี้จึงมีลักษณะเฉพาะกว่าซอฟต์แวร์ประเภทอื่นด้วยเหตุนี้คู่แข่งขันจึงมีน้อยรายและมีลักษณะเฉพาะ

3) อำนาจการต่อรองของผู้ใช้งาน (Bargaining power of users) ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การประเมินฯ เป็นการให้บริการแบบธุรกิจกับธุรกิจ (Business to Business: B2B) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมและความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมควบคู่กันไป ด้วยเหตุนี้ลูกค้าหรือผู้ใช้งานหากต้องการความแม่นยำและความรวดเร็วในการคำนวณเพื่อประเมินผลลัพธ์ในโครงการย่อมใช้ซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการประเมิน ดังนั้นทางเลือกของลูกค้าจึงมีน้อยลง และด้วยคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ที่ตอบสนองต่อความต้องการใช้งานที่ยังไม่มีผลิตภัณฑ์ใดคำนึงถึงปัจจัยคุณภาพอากาศสำหรับประกอบการคำนวณในการประเมินฯ ดังนั้นหากผู้ซื้อคำนึงถึงผลกระทบด้านดังกล่าวที่มีต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะทำให้ผู้ซื้อไม่สามารถเลือกผลิตภัณฑ์จากคู่แข่งขันรายอื่นๆ ได้

4) อำนาจการต่อรองของซัพพลายเออร์ (Bargaining power of supplier) การพัฒนาซอฟต์แวร์ในครั้งนี้ตามที่ได้กล่าวแล้วคือนอกจากความรู้ด้านวิศวกรรมแล้วนั้น ยังต้องมีความเกี่ยวข้องกับการนำแนวคิดดังกล่าวมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ซึ่งต้องใช้ความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรม จึงอาจเปรียบได้ว่าซัพพลายเออร์ในที่นี้คือผู้รับจ้างเขียนซอฟต์แวร์นั้นเอง แต่ในปัจจุบันผู้ที่ประกอบอาชีพดังกล่าวมีจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้อำนาจการต่อรองเหล่านี้จึงไม่เป็นปัญหาหลักในการดำเนินธุรกิจ

5) ภัยคุกคามจากสินค้าที่สามารถใช้ทดแทนกันได้ (Threat of substitutes) ถึงแม้ว่าซอฟต์แวร์นี้จะมีลักษณะเฉพาะทางและคำนึงถึงดัชนีในเชิงพื้นที่ประกอบการคำนวณ แต่อาจมีภัย

คุกคามจากผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่ใช้เทคโนโลยีอื่นในการช่วยประเมิน แต่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เดียวกันออกมาจัดจำหน่าย เป็นต้น

7.2.3 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT)

1) จุดแข็ง (Strengths)

1.1) เป็นผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่นำเอาดัชนีคุณภาพอากาศและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมาร่วมในการคำนวณเพื่อประเมินขนาดระบบที่ต้องติดตั้ง ซึ่งมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์จากคู่แข่งขันรายอื่นที่ไม่มีการคำนึงถึงดัชนีเหล่านี้

1.2) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยผู้ออกแบบและประเมินระบบ ในการเลือกผลิตภัณฑ์แผงโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ เฉพาะที่ผ่านมาตรฐานและได้รับการรับรองจากหน่วยงานการไฟฟ้าของประเทศไทย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาออกใบอนุญาตเพื่อเชื่อมต่อระบบ Solar rooftop ที่ติดตั้งเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก

1.3) มีการออกแบบซอฟต์แวร์ให้ง่ายต่อการใช้งาน (Easy to use) และการส่งออกผลลัพธ์ของการประเมินในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความครบถ้วนทั้งในรายละเอียดด้านเทคนิค ผลลัพธ์ด้านพลังงานไฟฟ้า และผลตอบแทนจากการลงทุน

1.4) สามารถลดความยุ่งยากในการจัดเตรียมข้อมูลดัชนีสำคัญในเชิงพื้นที่เพื่อการประเมิน การช่วยลดความผิดพลาดจากการคำนวณ รวมถึงนำเสนอรายงานผลการประเมินศักยภาพของระบบในรูปแบบที่เหมาะสมต่อผู้รับบริการ

2) จุดอ่อน (Weaknesses)

2.1) ชื่อสินค้าและตราสินค้า ยังไม่เป็นที่รู้จักของกลุ่มลูกค้าหรือผู้ใช้งานในตลาด (Brand awareness) ทำให้กลุ่มลูกค้าและกลุ่มเป้าหมายอาจขาดความมั่นใจในซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีความพยายามในการแนะนำผลิตภัณฑ์และสร้างฐานการตลาดรวมถึงการสื่อความถึงคุณสมบัติที่มีประโยชน์ซึ่งซอฟต์แวร์อื่นไม่มี

2.2) การเป็นผู้ประกอบการซึ่งสร้างซอฟต์แวร์ขึ้นมาใหม่ อาจจะเสียเปรียบคู่แข่งขันรายเดิมที่ได้นำผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์การประเมินในลักษณะที่ใกล้เคียงกันเข้าสู่ตลาดก่อนหน้านี้และย่อมเป็นที่รู้จักของนักออกแบบและประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

3) โอกาส (Opportunities)

3.1) ความนิยมในการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองในบ้านเรือน ธุรกิจห้างร้าน หรือโรงงานอุตสาหกรรม ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง รวมถึงแรงผลักดันจากองค์กรระหว่างประเทศที่พยายามส่งเสริมและสนับสนุนในโครงการดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2) การพัฒนาด้านเทคโนโลยีโซล่าเซลล์ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการนำวัสดุวิศวกรรมใหม่ ๆ มาผลิตเป็นโซล่าเซลล์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์สูงขึ้น ซึ่งจะสามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้นต่อหน่วยพื้นที่ในการติดตั้ง

3.3) จากความต้องการในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น ย่อมแสดงถึงการผลิตโซล่าเซลล์และอินเวอร์เตอร์ที่มีปริมาณมากขึ้น ด้วยเหตุนี้การผลิตในจำนวนมากขึ้น และมีผู้ผลิตแผงโซล่าเซลล์หลายราย ราคาในท้องตลาดจึงมีแนวโน้มลดลงกว่าอดีต

4) อุปสรรค (Threats)

4.1) ผลิตภัณฑ์มีความเป็นเทคโนโลยีสูง ซึ่งผลจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วอาจส่งผลกระทบต่อปัจจัยทางด้านราคาซึ่งมีแนวโน้มการปรับตัวได้อย่างรวดเร็ว อาจทำให้เกิดการแข่งขันทางด้านราคาขึ้นได้

4.2) เมื่อความนิยมในการติดตั้งระบบ Solar rooftop ในครัวเรือน ชุมชน และสถานประกอบการประเภทต่าง ๆ มีสูงขึ้น จึงอาจมีคู่แข่งขันรายใหม่เข้ามานำเสนอผลิตภัณฑ์เสริมหรือซอฟต์แวร์ใหม่ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันได้ตลอดเวลา

7.2.4 การวางแผนการตลาด (Marketing plan)

1) การกำหนดเป้าหมายทางการตลาด (Segmentation)

เพื่อการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างทั่วถึงและเหมาะสม จึงทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านการตลาด จำแนกตามปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ (Demographic) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1.1) กลุ่มที่ 1 บริษัทออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ เป็นกลุ่มที่มักใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการคำนวณ ทั้งนี้อาจเป็นการใช้งานเพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการคำนวณในเบื้องต้น จนถึงการใช้งานซอฟต์แวร์ระดับสูงเพื่อช่วยในการออกแบบและประเมินระบบฯ ให้แก่ลูกค้าที่ต้องการติดตั้งระบบฯ ด้วยกลุ่มนี้เป็นบริษัทที่จดทะเบียนเป็นนิติบุคคลจึงมีโอกาสเข้าถึงกลุ่มผู้ต้องการติดตั้งระบบในภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม จากฐานข้อมูลนิติบุคคลที่ขึ้นทะเบียนกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งเป็นรายชื่อแนะนำผู้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ประเภท ก. จำนวน 16 ราย และประเภท ข จำนวน 46 ราย รวมทั้งสิ้น 62 ราย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) โดยปัจจุบันไม่มีการประกาศรายชื่อนิติบุคคลที่ขึ้นทะเบียนเพิ่มเติมแล้ว ตามประกาศกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน เรื่อง “ยกเลิกการขึ้นทะเบียนแนะนำรายชื่อผู้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา” ประกาศ ณ วันที่ 29 กันยายน 2558 ดังที่กล่าวถึงแล้วใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อที่ 2.10.5 ด้วยเหตุนี้บริษัทที่ดำเนินกิจการออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์จึงมีจำนวนมากกว่าข้อมูลในข้างต้น

1.2) กลุ่มที่ 2 บริษัทผู้แทนขายสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์โซล่าเซลล์ เป็นกลุ่มที่ใกล้ชิดกับลูกค้า เช่นการแนะนำผลิตภัณฑ์แก่ลูกค้า ก็มักจะมีคำถามกลับมายังผู้ขายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เช่นควรติดตั้งขนาดเท่าไร พลังงานที่ประหยัดได้เป็นเท่าไร ยี่ห้อหรือรุ่นใดที่ควรเลือกใช้ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้บริษัทผู้แทนขายสินค้าบางแห่งจะใช้งานซอฟต์แวร์ในการช่วยประเมินเพื่อประโยชน์ในการให้คำแนะนำแก่ลูกค้าที่มาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์โซล่าเซลล์ โดยนิติบุคคลในกลุ่มนี้ค้นหาข้อมูลจากกรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พบว่านิติบุคคลซึ่งประกอบธุรกิจเกี่ยวกับโซล่าเซลล์ จากฐานข้อมูล *“DBD DataWarehouse⁺”* มีจำนวนนิติบุคคลเฉพาะที่มีสถานะยังดำเนินการอยู่ รวม 373 ราย จำแนกเป็นนิติบุคคลประเภทบริษัทจำกัด จำนวน 279 แห่ง และจดทะเบียนเป็นห้างหุ้นส่วนจำกัด 94 แห่ง ดังที่กล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 2.10.5 (DBD, 2020)

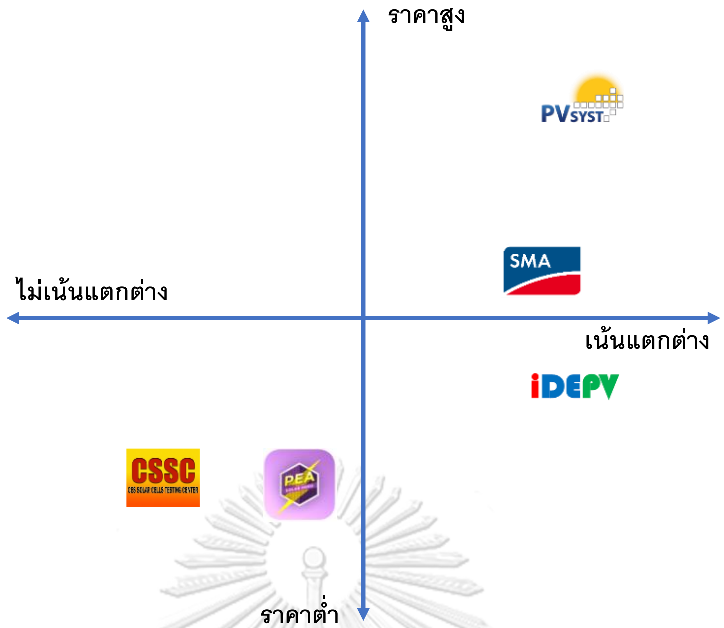
1.3) กลุ่มที่ 3 ผู้รับเหมาหรือผู้ติดตั้งระบบโซล่าเซลล์รายย่อย เป็นกลุ่มที่อาจใช้ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณในบางครั้งหรือไม่ใช้งานเลยแต่ใช้ประสบการณ์ในการออกแบบและติดตั้งระบบ ทั้งนี้อาจทำการเลือกอุปกรณ์และดำเนินการติดตั้งตามแบบที่เคยทำก่อนหน้า หรือจากแบบที่มีการแนะนำในหนังสือหรือคู่มือต่าง ๆ ซึ่งในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นผู้รับจ้างช่วงงานจากบริษัทอีกทอดหนึ่ง หรือเป็นผู้ติดตั้งระบบรายเล็กซึ่งไม่จดทะเบียนเป็นนิติบุคคล ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีข้อมูลในฐานระบบของหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้อง

2) กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย (Target)

จากการจำแนกเป้าหมายทางการตลาดในข้างต้น นำมาสู่แนวคิดในการให้บริการซอฟต์แวร์แบบธุรกิจกับธุรกิจ หรือ B2B (Business to Business) โดยกลุ่มผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้เป็น กลุ่มที่ 1 และ 2 ในข้างต้น ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มที่ 1 คือ บริษัทออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ ที่ใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการคำนวณการออกแบบและประเมินระบบฯ ให้แก่ลูกค้าที่ต้องการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และกลุ่มที่ 2 คือ บริษัทผู้แทนขายสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์โซล่าเซลล์ ที่ต้องการนำซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการให้คำแนะนำแก่ลูกค้าที่มาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ในด้านที่จำเป็นต่อการตัดสินใจเลือกใช้งาน อาทิ ยี่ห้อ รุ่น จำนวน ที่ต้องใช้ให้เหมาะสมกับปริมาณการใช้พลังงานของลูกค้า รวมถึงความคุ้มทุนในการติดตั้งตั้งระบบ เป็นต้น

3) การวางตำแหน่ง (Positioning)

การกำหนดจุดยืนของผลิตภัณฑ์ว่าซอฟต์แวร์อยู่ตรงส่วนใดของตลาดเมื่อเทียบกับคู่แข่งขัน โดยเลือกวิธีการแบ่งตำแหน่งผลิตภัณฑ์จากจุดยืนด้านความแตกต่าง ซึ่งเป็นจุดยืนที่เน้นสร้างความแตกต่าง แปลกใหม่ หรือคุณสมบัติที่ยังไม่มีผลิตภัณฑ์ใดเหมือน ตำแหน่งผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด แสดงได้ดังภาพที่ 79



ภาพที่ 79 การวางตำแหน่งของซอฟต์แวร์ iDEPV

การกำหนดจุดยืนของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ iDEPV โดยวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ที่เน้นความแตกต่าง เพราะซอฟต์แวร์ iDEPV เน้นการนำข้อมูล PM2.5 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ในแต่ละพื้นที่มาร่วมคำนวณเพื่อประเมินขนาดของระบบที่ทำการติดตั้ง รวมถึงหากมีการกำหนดขนาดของระบบโดยผู้ออกแบบและหาประมาณการปริมาณพลังงานที่ผลิตได้รายเดือนตลอดทั้งปี ซึ่งปริมาณพลังงานดังกล่าวก็จะคำนวณโดยใช้ดัชนีดังกล่าวรวมด้วย เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจริงจากระบบต่อไป ส่วนที่วางตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ในราคาต่ำ เนื่องจากต้องการให้ผู้ใช้งานที่สนใจซอฟต์แวร์ สามารถตัดสินใจเพื่อซื้อสิทธิ์ในการใช้งานได้ง่ายขึ้น

7.2.5 การวิเคราะห์ส่วนประสมทางการตลาด (4P’s)

1) ผลิตภัณฑ์ (Product) จากการจำแนกเป้าหมายทางการตลาดในข้างต้น นำมาสู่การวางแผนเพื่อนำเสนอผลิตภัณฑ์ต่อบริษัทโดยตรง ซึ่งเป็นธุรกิจกับธุรกิจ หรือ B2B (Business to Buisnee) โดยกลุ่มผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้เป็น บริษัทออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ที่ใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการคำนวณการออกแบบและประเมินระบบฯ ให้แก่ลูกค้า และกลุ่มบริษัทผู้แทนขายสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์โซล่าเซลล์ ที่ต้องการนำซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการให้คำแนะนำแก่ลูกค้าเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้งาน ซอฟต์แวร์ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นี้ มีชื่อว่า ไอดีพีวี (iDPV) สามารถประมวลผลบนเว็บบราวเซอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เพียงแค่มี username และ password ก็สามารถเข้ามาใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา

2) ราคา (Price) ซอฟต์แวร์นี้เป็นการให้บริการบนเว็บบราวเซอร์ จึงไม่ต้องดาวน์โหลดแต่ต้องมีชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน โดยเมื่อผู้สนใจทำการลงทะเบียนเข้ามาและได้รับอนุมัติจากผู้ดูแลระบบแล้ว ผู้ใช้งานที่สมัครจะสามารถทดลองใช้งานได้ฟรี 30 วัน จากนั้นหากต้องการใช้งานต่อต้องชำระค่าสิทธิ์ในการใช้งานจำนวน 3,990 บาทต่อปี ประมาณการจำหน่ายได้จำนวน 360 สิทธิ์ใช้งานและเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ในแต่ละปี

3) ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) ผ่านระบบรับสมัครออนไลน์ ซึ่งผู้สนใจสามารถกดลิงค์เพื่อเข้าสู่ URL หรือสแกนคิวอาร์โค้ด ตามลิงค์หรือ QR code ที่แนบในอีเมล์แนะนำผลิตภัณฑ์ซึ่งจะถูกส่งไปยังบริษัทกลุ่มเป้าหมายโดยตรง

4) การส่งเสริมการตลาด (Promotion) ประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางโซเชียลมีเดียต่าง ๆ รวมถึงการลงโฆษณาใน Google เพื่อหากมีผู้ค้นหาโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ จะพบผลิตภัณฑ์ iDEPV อยู่ในลำดับต้น ๆ ของการแสดงผลในการค้นหา

7.2.6 การศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน

องค์กรที่จัดตั้งขึ้นเพื่อการดำเนินงานธุรกิจซอฟต์แวร์ “iDEPV” จดทะเบียนนิติบุคคลประเภทบริษัทจำกัด ทุนจดทะเบียน 1 ล้านบาท และขึ้นนทะเบียนเพื่อขอรับใบอนุญาต เป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ประเภทนิติบุคคล จากสภาวิศวกร มีการวางแผนด้านสถานที่ตั้งขององค์กร โครงสร้างองค์กรและการกำหนดหน้าที่รับผิดชอบ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

7.2.6.1 สถานที่ตั้งสำนักงาน

สถานที่ตั้งสำนักงานย่านรังสิตใกล้ศูนย์การค้าฟิวเจอร์พาร์ค เป็นอาคารสำนักงานให้เช่าสำหรับประกอบธุรกิจ อาคารติดถนนหลักคือเส้นรังสิต-ปทุมธานี ใกล้สถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง (บางซื่อ-รังสิต) เพียง 0.5 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังสามารถเดินทางขึ้นทางด่วนดอนเมืองโทลเวย์ด้วยระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร และทางด่วนศรีรัชด้วยระยะทางประมาณ 3 กิโลเมตร สำนักงานมีพื้นที่ใช้สอย 80 ตารางเมตร ซึ่งมีขนาดเพียงพอต่อธุรกิจที่มีบุคลากรไม่มากนัก คิดอัตราค่าเช่า 250 บาท/ตารางเมตร รวมเป็นค่าใช้จ่าย 20,000 บาท/เดือน เหตุที่เช่าสำนักงานเมื่อเริ่มแรกธุรกิจเพื่อลดความเสี่ยงในการลงทุนหากพบว่าผลประกอบการไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

7.2.6.2 โครงสร้างองค์กรและหน้าที่รับผิดชอบ

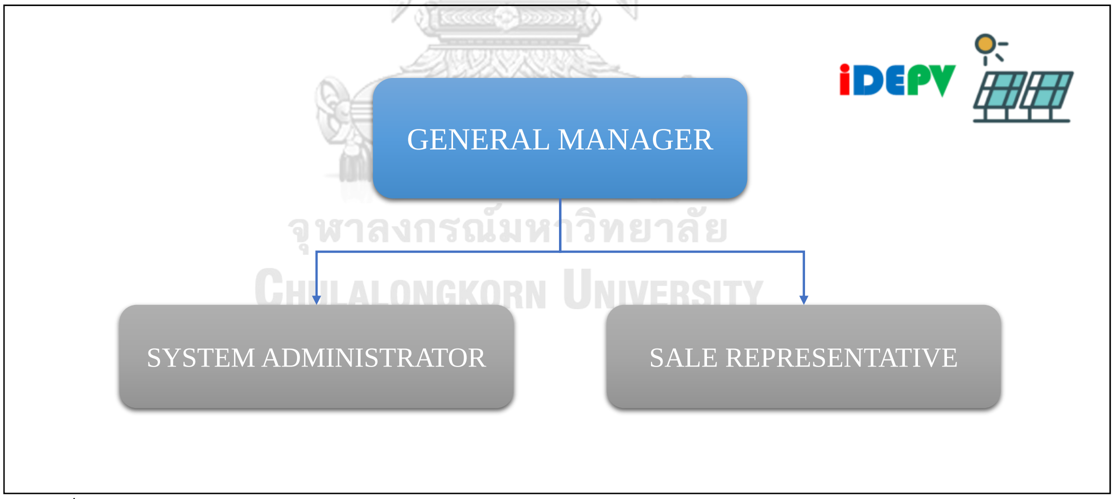
บุคลากรที่ปฏิบัติงานองค์กรธุรกิจเทคโนโลยีจะต้องมีความรู้ความสามารถ มีพื้นฐานด้านเทคโนโลยี มีทัศนคติที่ดีต่อการให้บริการ มีความสามารถในการเจรจาต่อรอง รวมถึงการทำงานเป็นทีมและมีความรับผิดชอบสูง โครงสร้างองค์กรปรากฏดังภาพที่ 80 ซึ่งจะทำการว่าจ้างพนักงานในตำแหน่งซึ่งมีคุณสมบัติ ประสบการณ์ และกำหนดผลประโยชน์ตอบแทน ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ผู้จัดการบริษัท (General manager) ระดับการศึกษาอย่างน้อยปริญญาตรีด้านการบริหารหรือสาขาที่เกี่ยวข้อง มีประสบการณ์ทำงานในระดับหัวหน้างานหรือผู้จัดการไม่น้อยกว่า 3 ปี จำนวน 1 คน เงินเดือน 28,000 บาท โดยทำหน้าที่บริหารจัดการและควบคุมดูแลการบริหารงานทั่วไปของบริษัทให้สามารถบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

2) ผู้ดูแลระบบ (System administrator) ระดับการศึกษาอย่างน้อยปริญญาตรีด้านคอมพิวเตอร์ ประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 1 คน เงินเดือน 17,000 บาท โดยทำหน้านี้ดูแลระบบซอฟต์แวร์ “iDEPV” การพัฒนาฐานข้อมูลที่สำคัญของซอฟต์แวร์ให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ การให้คำปรึกษาด้านเทคนิคแก่ลูกค้า รวมถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้รองรับความต้องการของลูกค้าและให้มีความโดดเด่นเหนือคู่แข่งขัน

3) พนักงานขาย (Sale Representative) ระดับการศึกษาอย่างน้อยประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) – ปริญญาตรีด้านคอมพิวเตอร์ธุรกิจหรือสาขาที่เกี่ยวข้อง ประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 1 คน เงินเดือน 15,000 บาท โดยทำหน้าที่แนะนำและขายผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ “iDEPV” ให้แก่ลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย ทำหน้าที่เป็น Call center ในช่องทางโทรศัพท์และสื่อโซเชียลมีเดียต่าง ๆ เพื่อให้บริการแก่ลูกค้าในเรื่องทั่วไป หรือการตอบข้อซักถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และการใช้งาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 80 ผังโครงสร้างองค์กร

ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรในข้างต้นซึ่งปฏิบัติงานในองค์กร รวมค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรต่อเดือนคือ 60,000 บาท หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวม 720,000 บาทต่อปี สรุปได้ดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 รายละเอียดของบุคลากรในการดำเนินงาน

ตำแหน่ง	จำนวน	อัตราเงินเดือน (บาท)
1. ผู้จัดการบริษัท	1	28,000
2. ผู้ดูแลระบบ	1	17,000
3. พนักงานขาย	1	15,000
รวมอัตราเงินเดือนต่อปี		720,000

โดยในอนาคตหากธุรกิจมีความเติบโตสูงขึ้นอาจพิจารณารับบุคลากรเพิ่มเติมเพื่อรองรับภารกิจที่มากขึ้น ทั้งนี้สามารถว่าจ้างบุคลากรเพิ่มเติมทั้งในแบบบางส่วนเวลาหรือทำงานเต็มเวลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการขายและให้บริการแก่ลูกค้าต่อไปในอนาคต

7.2.6.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

1) ค่าอุปกรณ์ระบบโซล่าเซลล์และเครื่องมือวัดบันทึกข้อมูล

จากวิจัยด้านโซล่าเซลล์และการพัฒนาซอฟต์แวร์จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หลักทั้งแผงโซล่าเซลล์ อินเวอร์เตอร์ รวมถึงอุปกรณ์ส่วนควบในระบบ นอกจากนี้การวัดและบันทึกข้อมูลต้องใช้อุปกรณ์วัดมาตรฐานเพื่อเก็บข้อมูลทั้งด้านไฟฟ้า รังสีดวงอาทิตย์ คุณภาพอากาศ และองค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อมบริเวณที่ติดตั้งระบบ มูลค่ารวม 350,000 บาท

2) ค่าพัฒนาซอฟต์แวร์ “iDEPV” และพัฒนาสมการประเมิน

การเขียนซอฟต์แวร์นอกจากมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนา การศึกษาค้นคว้าข้อมูล ยังต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่เฉพาะสำหรับการเขียนโปรแกรมลงไป ค่าใช้จ่ายของผู้พัฒนาระบบ ต้นทุนด้านการศึกษาความต้องการใช้ การทดสอบระบบ การปรับปรุงซอฟต์แวร์ก่อนนำสู่ตลาด เป็นต้น มูลค่ารวม 560,000 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) ค่าคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์ด้าน IT หลักที่ใช้ในสำนักงาน มีมูลค่ารวม 150,000 บาท ประกอบด้วย

- เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ จำนวน 1 เครื่องสำหรับผู้จัดการบริษัท
- เครื่องเซิร์ฟเวอร์ จำนวน 1 เครื่อง สำหรับผู้ดูแลระบบ
- เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค จำนวน 1 เครื่อง สำหรับพนักงานขาย
- เครื่องพิมพ์เอกสารชนิดรองรับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย จำนวน 1 เครื่อง
- ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ชุด

4) ค่าอุปกรณ์สำนักงาน

อุปกรณ์เครื่องใช้ในสำนักงานหลักประกอบด้วยชุดโต๊ะเก้าอี้ทำงานของพนักงาน ตู้เก็บเอกสาร โซฟารับรองลูกค้า ชุดโต๊ะเก้าอี้ประชุม เครื่องฉาย LCD รวมถึงอุปกรณ์เบ็ดเตล็ด มูลค่ารวม 125,000 บาท

5) ค่าตกแต่งสำนักงาน

เพื่อความโดดเด่นและเป็นภาพลักษณ์ที่ดีต่อองค์กร จึงทำการตกแต่งสำนักงานให้ดูทันสมัยเหมาะที่เป็นธุรกิจเทคโนโลยี รวมถึงเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของบุคลากรในองค์กร มูลค่ารวม 145,000 บาท

7.2.7 การประเมินความเป็นไปได้ด้านการเงิน

การวางแผนด้านการเงินของกิจการ สำหรับการลงทุนในโครงการครั้งนี้ประมาณการเป็นระยะเวลา 5 ปี ซึ่งจำแนกออกเป็นหมวดหมู่ย่อย คือ ประมาณการการลงทุน (CAPEX) ประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OPEX) และประมาณการรายรับ (Income) โดยรายละเอียด ดังนี้

7.2.7.1 ประมาณการการลงทุน (CAPEX)

การลงทุนตามโครงการประกอบด้วยจำนวนเงินที่ลงทุนเป็นค่าอุปกรณ์ระบบโซล่าเซลล์และเครื่องมือวัดบันทึกข้อมูล ค่าพัฒนาซอฟต์แวร์การประเมิน ค่าพัฒนาสมการประเมิน ค่าเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ค่าอุปกรณ์สำนักงาน ค่าตกแต่งสำนักงาน รวมเป็นเงินลงทุนเริ่มแรก จำนวน 1,330,000 บาท ดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก	มูลค่า (บาท)
1. ค่าอุปกรณ์ระบบโซล่าเซลล์และเครื่องมือวัดบันทึกข้อมูล	350,000
2. ค่าพัฒนาซอฟต์แวร์การประเมินและพัฒนาสมการประเมิน	560,000
3. ค่าเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์	150,000
4. ค่าอุปกรณ์สำนักงาน	125,000
5. ค่าตกแต่งสำนักงาน	145,000
รวม	1,330,000

การลงทุนเริ่มแรกตามตารางที่ 42 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนรายการที่ 3-5 มีค่าเสื่อมราคา (depreciation) ตามหลักเกณฑ์การคิดค่าเสื่อมราคาของกรมสรรพากร ร้อยละ 20 อ้างอิงตาม *"มาตรา 4 (5) ทรัพย์สินอย่างอื่น ซึ่งโดยสภาพของทรัพย์สินนั้นสึกหรอหรือเสื่อมราคาได้นอกจากที่ดินและสินค้า)"* (กรมสรรพากร, 2563)ด้วยเหตุนี้จึงคิดค่าเสื่อมราคาร้อยละ 20 ต่อปี คำนวณค่า

เสื่อมราคาทั้งสิ้น 5 ปี โดยราคาตามบัญชีของรายการที่ 3-5 จำนวน 420,000 บาท แสดงดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)

ปีที่	การคำนวณ	ค่าเสื่อมราคา	ค่าเสื่อมราคาสะสม	ราคาตามบัญชี
ปีที่ 0	-	-	-	420,000
ปีที่ 1	420,000 x 20%	84,000	84,000	336,000
ปีที่ 2	420,000 x 20%	84,000	168,000	252,000
ปีที่ 3	420,000 x 20%	84,000	252,000	168,000
ปีที่ 4	420,000 x 20%	84,000	336,000	84,000
ปีที่ 5	420,000 x 20%	84,000	420,000	-

ส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนรายการที่ 2 คือ ค่าพัฒนาซอฟต์แวร์การประเมิน มีค่าตัดจำหน่าย (amortization) ตามหลักเกณฑ์ของกรมสรรพากร อ้างอิงตาม *"มาตรา 4 (4) ต้นทุนเพื่อการได้มาซึ่งสิทธิในกรรมวิธีสูตร กู๊ดวิล เครื่องหมายการค้า สิทธิประกอบกิจการตามใบอนุญาต สิทธิบัตร ลิขสิทธิ์หรือสิทธิอย่างอื่น"* (กรมสรรพากร, 2563) โดยกรณีจำกัดอายุการใช้ที่ 5 ปี จึงคิดค่าตัดจำหน่ายร้อยละ 20 ต่อปี โดยราคาตามบัญชีของรายการที่ 2 จำนวน 560,000 บาท แสดงดังตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ค่าตัดจำหน่าย (Amortization)

ปีที่	การคำนวณ	ค่าตัดจำหน่าย	ค่าตัดจำหน่ายสะสม	ราคาตามบัญชี
ปีที่ 0	-	-	-	560,000
ปีที่ 1	560,000 x 20%	112,000	112,000	448,000
ปีที่ 2	560,000 x 20%	112,000	224,000	336,000
ปีที่ 3	560,000 x 20%	112,000	336,000	224,000
ปีที่ 4	560,000 x 20%	112,000	448,000	112,000
ปีที่ 5	560,000 x 20%	112,000	560,000	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.2.7.2 ข้อสมมติด้านการเงิน

โครงการนี้มีสมมติด้านการเงินที่เกี่ยวข้อง โดยคาดว่าการเติบโตของยอดขายในแต่ละปีต่อเนื่อง เฉลี่ยร้อยละ 10 ต่อปี ตามอัตราการเจริญเติบโตของตลาดโซล่าเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้นรวมถึงการเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมส่งเสริมยอดขาย ส่วนค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันในแต่ละปีต่อเนื่อง เฉลี่ยร้อยละ 3 ต่อปี ดังตารางที่ 45

ตารางที่ 45 รายละเอียดข้อสมมติทางการเงิน

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของรายรับ	-	10%	10%	10%	10%
- จำนวนสิทธิ์ใช้งานที่จำหน่าย	*360*	*396*	*436*	*480*	*528*
การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่าย	-	3%	3%	3%	3%

7.2.7.3 ประมาณการค่าใช้จ่ายระหว่างดำเนินงาน (OPEX)

ค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินงานในโครงการในแต่ละปี มีค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งด้านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการโฆษณาประชาสัมพันธ์ ด้านบุคลากรในสำนักงาน ค่าสถานที่ตั้งของสถานประกอบการ ค่าสาธารณูปโภคด้านต่าง ๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ดที่จำเป็นต้องสำรองไว้ รายละเอียดดังนี้ รวมถึงการสรุปในตารางที่ 46

1) ค่าเช่าพื้นที่เซิร์ฟเวอร์เพื่อจัดเก็บข้อมูลและให้บริการ ผู้ให้บริการเซิร์ฟเวอร์กำหนดค่าบริการพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและบริการดูแลระบบ จำนวน 2,200 บาทต่อเดือน รวม 26,400 บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2) ค่าโฆษณาประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ โดยประชาสัมพันธ์ผ่านทาง Google Ads เพื่อโฆษณาผลิตภัณฑ์จะถูกนำเสนอในลำดับต้น ๆ เมื่อลูกค้าเข้ามาค้นหาด้วยคีย์เวิร์ดที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ จำนวน 8,000 บาท/ปี

3) เงินเดือนพนักงานประจำสำนักงาน จำนวน 3 คน โดยค่าใช้จ่ายด้านเงินเดือนรวม 60,000 บาท/เดือน ดังนี้

- ผู้จัดการบริษัท (General manager) คุณวุฒิปริญญาตรีด้านการบริหาร ประสบการณ์ทำงานไม่น้อยกว่า 3 ปี จำนวน 1 คน เงินเดือน 28,000 บาท
- ผู้ดูแลระบบ (System administrator) คุณวุฒิปริญญาตรีด้านคอมพิวเตอร์ ประสบการณ์ทำงานไม่น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 1 คน เงินเดือน 17,000 บาท

- พนักงานขาย (Sale Representative) คุณวุฒิประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) – ปริญญาตรีด้านคอมพิวเตอร์ธุรกิจ ประสบการณ์ทำงานไม่น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 1 คน เงินเดือน 15,000 บาท

- ค่าเช่าอาคารสำนักงาน เพื่อเป็นสถานที่ตั้งธุรกิจย่านปริมณฑลมีพื้นที่ใช้สอย 80 ตารางเมตร ซึ่งคิดอัตราค่าเช่า 250 บาท/ตารางเมตร รวมเป็นค่าใช้จ่าย 20,000 บาท/เดือน

- ค่าสาธารณูปโภค ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ ค่าโทรศัพท์ และค่าอินเตอร์เน็ต เฉลี่ยประมาณ 8,000 บาท/เดือน

- ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด ได้แก่ ค่าส่งเอกสาร ค่าน้ำมัน ค่าวัสดุสิ้นเปลือง เป็นต้น เฉลี่ยประมาณ 5,000 บาท/เดือน

ตารางที่ 46 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรายปี	มูลค่า (บาท)
1. ค่าเช่าพื้นที่เซิร์ฟเวอร์ เพื่อจัดเก็บข้อมูลและให้บริการ	26,400
2. ค่าโฆษณาประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์	96,000
3. เงินเดือนพนักงาน	720,000
4. ค่าเช่าสำนักงาน	240,000
5. ค่าสาธารณูปโภค	96,000
6. ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	60,000
รวม	1,238,400

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามรายละเอียดข้างต้นในรายปี ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี (ดังตารางที่ 45) โดยพบว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ณ ปีที่ 1 จำนวน 1,238,400 บาท และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงในปีที่ 5 เป็นเงิน 1,393,831 บาท แสดงดังตารางที่ 47

ตารางที่ 47 ประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

รายจ่าย	มูลค่า (บาท)
ปีที่ 1	1,238,400
ปีที่ 2	1,275,552
ปีที่ 3	1,313,819
ปีที่ 4	1,353,234
ปีที่ 5	1,393,831
รวมรายจ่าย	6,574,836

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.2.7.4 ประมาณการรายรับ (INCOME)

รายรับที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานในโครงการในแต่ละปี มาจากสองแหล่งรายได้ คือการขายสิทธิ์ใช้งานซอฟต์แวร์ และการขายพื้นที่โฆษณาสำหรับผู้ที่สนใจ รายละเอียดดังนี้ รวมถึงการสรุปในตารางที่ 48

1) รายรับจากการขายสิทธิ์การใช้งานซอฟต์แวร์ ที่มีราคาขาย 3,990 บาท/ผู้ใช้งาน ระยะเวลาการใช้งาน 1 ปี จำหน่ายได้จำนวน 360 สิทธิ์ใช้งาน โดยแต่ละสิทธิ์สามารถใช้งานซอฟต์แวร์ได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง

2) รายรับจากการขายพื้นที่สำหรับโฆษณาบนซอฟต์แวร์แบบแสดงผลเป็นแบนเนอร์ ขนาด 960 X 100 pixel คิดค่าบริการ 3,000 บาท/เดือน จำนวน 6 แบนเนอร์

ตารางที่ 48 รายละเอียดรายรับจากการดำเนินงาน

รายรับในการดำเนินงานรายปี	มูลค่า (บาท)
1. รายรับจากการขายสิทธิ์การใช้งานซอฟต์แวร์	1,436,400
2. รายรับจากการขายพื้นที่สำหรับโฆษณาบนซอฟต์แวร์	216,000
รวม	1,652,400

รายรับจากการดำเนินงานที่เกิดขึ้นตามรายละเอียดข้างต้น ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ต่อปี (ดังตารางที่ 45) โดยพบว่ามีรายรับที่เกิดขึ้น ณ ปีที่ 1 จำนวน 1,652,400 บาท และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงในปีที่ 5 เป็นเงิน 2,419,278 บาท ดังตารางที่ 49

ตารางที่ 49 ประมาณการรายรับในการดำเนินงาน

รายรับ	มูลค่า (บาท)
ปีที่ 1	1,652,400
ปีที่ 2	1,817,640
ปีที่ 3	1,999,404
ปีที่ 4	2,199,344
ปีที่ 5	2,419,278
รวมรายรับ	10,088,066

Chulalongkorn University

7.2.7.5 ประมาณการงบกำไรขาดทุน

การดำเนินธุรกิจ ณ ปีที่ 1 จะได้รับกำไรจากการดำเนินงานประมาณ 0.19 ล้านบาท ด้วยยอดขายที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้การดำเนินงานของธุรกิจได้กำไรเพิ่มขึ้น โดยในปีที่ 5 กำไรประจำปี ประมาณ 0.71 ล้านบาท และมีกำไรสะสมตั้งแต่ปีที่ 1-5 ประมาณ 2.15 ล้านบาท รายละเอียดดังตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ประมาณการงบกำไรขาดทุน

(หน่วย: ล้านบาท)

ประมาณการงบกำไร-ขาดทุน	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
ยอดขาย	1.65	1.82	2.00	2.20	2.42
กำไร/(ขาดทุน) ขั้นต้น	1.65	1.82	2.00	2.20	2.42
หักต้นทุนคงที่	1.24	1.28	1.31	1.35	1.39
กำไร/(ขาดทุนจากการดำเนินงาน)	0.41	0.54	0.69	0.85	1.03
หักค่าเสื่อมราคา หักค่าตัดจำหน่าย	0.08 0.11	0.08 0.11	0.08 0.11	0.08 0.11	0.08 0.11
กำไร/(ขาดทุน) สุทธิ ก่อนหักภาษี	0.22	0.35	0.49	0.65	0.83
หักภาษีเงินได้ 15%	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12
กำไร/(ขาดทุน) สุทธิ	0.19	0.29	0.42	0.55	0.71
กำไร/(ขาดทุน) สะสมยกไป	0.19	0.48	0.90	1.45	2.15

7.2.7.6 ประมาณการระยะเวลาการคืนทุน

การวิเคราะห์ประมาณการระยะเวลาการคืนทุนของธุรกิจ ซึ่งมีเงินลงทุนเริ่มแรก 1.33 ล้านบาท จะมีเงินสดสะสมเป็นมูลค่ามากกว่าเงินลงทุน ณ ปีที่ 3 จำนวน 0.15 ล้านบาท ดังนั้นการลงทุนในธุรกิจนี้จะคืนทุนภายในระยะเวลา 3 ปี รายละเอียดดังตารางที่ 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 51 ประมาณการระยะเวลาคืนทุน

(หน่วย: ล้านบาท)

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. กำไร/(ขาดทุน)สุทธิ หลังหักภาษี	0.19	0.29	0.42	0.55	0.71
2. บวก ค่าเสื่อมราคาและตัดจำหน่าย	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
เงินสดรับ (1+2)	0.38	0.49	0.61	0.75	0.90
เงินสดรับ (สะสม)	0.38	0.87	1.48	2.23	3.13
เงินลงทุน ณ เริ่มโครงการ	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
คำนวณการคืนทุน	ไม่คืนทุน	ไม่คืนทุน	คืนทุน	คืนทุน	คืนทุน

7.2.7.6 สรุปความเป็นไปได้ด้านการเงิน

จากการประมาณการทางด้านการเงินในช่วงระยะเวลา 5 ปี ของการดำเนินงาน ดังที่กล่าวแล้วในข้างต้น การจัดตั้งธุรกิจให้บริการซอฟต์แวร์ประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มียอดขายอยู่ในช่วง 1.65 – 2.42 ล้านบาท จากอัตราการเติบโตของรายได้ที่ร้อยละ 10 ต่อปี และผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยใช้อัตราคิดลดที่ 6% (discount factor) ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้จากธนาคารแห่งประเทศไทย[4] เพื่อการตัดสินใจในโครงการซอฟต์แวร์ iDEPV ดังนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสิทธิของโครงการ (NPV) 1,246,200 บาท
2) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 31.23 %
3) ระยะเวลาคืนทุน (PB) 2 ปี 9 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการวิเคราะห์ดัชนีด้านการเงินของโครงการ ซึ่งประกอบด้วย NPV IRR และ PB ในข้างต้น โครงการพัฒนาซอฟต์แวร์ iDEPV จึงมีความเป็นไปได้ในการต่อยอดไปสู่การดำเนินงานในเชิงพาณิชย์ต่อไป

[4] กำหนดอัตราคิดลดที่ร้อยละ 6.0 คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายย่อยชั้นดี: ต่ำสุด 5.75 และอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายย่อยชั้นดี: สูงสุด 6.22 (ข้อมูล ณ วันที่ 10 ส.ค. 63)

บทที่ 8
สรุปและอภิปรายผล

8.1 สรุปผล

1. การวิจัยทราบถึงเทคโนโลยีระบบโซล่าเซลล์ที่มีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องจากการวิจัยและทดลองนำวัสดุวิศวกรรมใหม่มาเป็นต้นกำเนิดของพลังงาน ส่วนเทคโนโลยีที่ใช้วัสดุแบบเดิมก็ยังคงมีความมุ่งมั่นในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้การประยุกต์ใช้โซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งานมีความเป็นไปได้อย่างแท้จริงทั้งด้านพลังงานที่ผลิตได้อย่างเพียงพอ รวมถึงราคาของระบบที่ต่ำลงและสนับสนุนต่อการตัดสินใจลงทุนในโครงการ ซึ่งสะท้อนผ่านการขยายตัวอย่างต่อเนื่องของโครงการติดตั้งโซล่าเซลล์บนหลังคาทั้งในภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม กอปรกับนโยบายภาครัฐที่เอื้อต่อการลงทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน ปัจจัยเชิงบวกข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมองเห็นโอกาสในการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จึงนำมาสู่การศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการศึกษานำมาสู่การต่อยอดในการพัฒนากระบวนการประเมินระบบและมีความเหมาะสมในเชิงพื้นที่ซึ่งควรคำนึงถึงปัจจัยคุณภาพอากาศและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในบริเวณที่ติดตั้งระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นดังเช่นแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยในข้อที่ 1

2. ผลของทดลองผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และนำค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ในทางสถิตด้วยเทคนิควิธีสมการโครงสร้าง ได้สมการสำหรับทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ และทำการพัฒนาดัชนี AMT และ PM ผลการวิจัยได้ข้อสรุปว่าปัจจัยอุณหภูมิอากาศแวดล้อมบริเวณที่ติดตั้ง และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศมีอิทธิพลโดยตรงในทางลบต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักเกิดในเขตภูมิอากาศเขตร้อนชื้นซึ่งมักมีอุณหภูมิที่สูง และปัญหาคุณภาพอากาศ ด้วยเหตุนี้การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จึงต้องคำนึงถึงปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงซึ่งจะลดลงจากผลกระทบของปัจจัยแวดล้อมเมื่อทำการติดตั้งระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณเพื่อส่วนต่างที่ลดทอนลงไปในขั้นตอนการออกแบบและการหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้เพียงพอตามที่ต้องการภายใต้สภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง

ผลการพัฒนาสมการประเมินขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการข้างต้นได้ผลสรุปและยืนยันสมการใหม่ที่ถูกพัฒนาด้วยการนำดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและดัชนีคุณภาพ

อากาศเข้าร่วมประเมินขนาดของระบบ ซึ่งดัชนีทั้งสองมีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการชดเชยพลังงานไฟฟ้าที่ถูดลดทอนจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและคุณภาพอากาศผ่านการนำค่าดัชนีดังกล่าวมาร่วมประเมินในสมการ *“ด้วยเหตุนี้ผลลัพธ์ของการประเมินขนาดระบบที่ได้จากสมการที่ถูกพัฒนาจึงมีค่าสูงกว่าการคำนวณจากสมการในรูปแบบเดิมเพื่อชดเชยและมีเป้าหมายให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความใกล้เคียงกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดหวังสำหรับการใช้งานต่อไป”*

3. ผลการศึกษาความต้องการใช้รวมถึงคุณลักษณะสำคัญของซอฟต์แวร์ประเมินด้วยการสัมภาษณ์เจาะลึกผู้มีประสบการณ์ในการออกแบบติดตั้งระบบ ควรให้ความสำคัญต่อคุณลักษณะที่สำคัญและเอื้อประโยชน์ต่อการเรียนรู้และใช้งาน การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลในเชิงพื้นที่ซึ่งบันทึกไว้ในซอฟต์แวร์มาประมวลผลอย่างอัตโนมัติ ความสามารถในการเลือกอุปกรณ์และจำนวนที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ ตลอดจนสิ่งที่สำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์คือความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์การคำนวณ สิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานต่อไป

4. ผลการทดสอบซอฟต์แวร์ประเมินฯ ในข้างต้นส่งผลให้มีความสอดคล้องกับความต้องการใช้งานและผลลัพธ์ที่คาดหวังของผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ การนำเข้าข้อมูลก่อนประเมินไม่มีความซับซ้อนทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจและเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย รวมถึงการนำข้อมูลในเชิงพื้นที่มาร่วมวิเคราะห์ ส่วนผลลัพธ์การประเมินจะทราบรายละเอียดของอุปกรณ์หลักที่ต้องนำมาติดตั้ง การแสดงปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ละเอียดเป็นรายเดือน รวมถึงประสิทธิภาพของระบบ PV ที่ทำการติดตั้งและที่สำคัญในการตัดสินใจต่อการลงทุนในโครงการด้วยค่าดัชนีทางการเงินที่สำคัญต่อการตัดสินใจตลอดจนแสดงค่าการลดปริมาณ CO_2 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ

5. ผลทดสอบการยอมรับซอฟต์แวร์ สรุปได้ว่าซอฟต์แวร์ประเมินระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น สามารถสนองตอบความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ทั้งในมุมของความเป็นประโยชน์ ความง่ายต่อการนำมาใช้งาน ทัศนคติในเชิงบวกต่อการได้สัมผัสและทดลองใช้งาน รวมถึงผู้ใช้งานมีความต้องการใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น เหล่านี้เป็นข้อมูลอันมีเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการนำซอฟต์แวร์ “iDEVP” ไปสู่การพัฒนารูปแบบการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

6. ผลการพัฒนาการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ สำหรับซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทำให้ได้แนวทางที่เหมาะสมสำหรับการนำซอฟต์แวร์ “iDEPV” สู่ตลาดในแต่ละกลุ่ม ซึ่งผู้วิจัยให้ความสนใจต่อกลุ่มผู้ให้บริการระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ทั้งด้านการออกแบบและติดตั้งระบบฯ รวมถึงผู้แทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในระบบโซล่าเซลล์ การให้บริการซอฟต์แวร์นี้แก่หน่วยงานที่สนใจในผลิตภัณฑ์ จะเป็นการดำเนินธุรกิจแบบ B2B ซึ่งจะมีศักยภาพในการจัดสรรงบประมาณเพื่อซื้อสิทธิ์ในการใช้งานซอฟต์แวร์

8.2 อภิปรายผล

8.2.1 อภิปรายผลการศึกษาปัจจัยการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคา

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีแนวโน้มการผลิตติดตั้งมากขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด และมีการสนับสนุนจากภาครัฐ การออกแบบ PV system ถือว่าเป็นกระบวนการสำคัญ และเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของผู้ลงทุนในระบบนี้ (BNEF, 2018) ดังนั้นการออกแบบที่แม่นยำจึงเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่นำมาใช้ในการคำนวณหรือประเมินระบบ

จากผลการศึกษาที่พบว่าปัจจัยพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบระบบ ได้แก่ load profile, energy demand, energy consumption, installation area, azimuth & tilt angle, distance between equipment, electricity costs, solar radiation (DNI, DIF, GHI) สอดคล้องกับแนวคิดและหลักในการพิจารณาออกแบบระบบของ (Boonyang Plangklang, 2010; EIT, 2019; Kaushika et al., 2018; Schmid, 2002) รวมถึงมาตรฐานและคู่มือการติดตั้งที่เกี่ยวข้อง (EIT, 2019; Lasnier, 2017)

ส่วนผลการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญเพิ่มเติมสำหรับการออกแบบระบบ ได้แก่ ambient environment ประกอบด้วย Operation temperature and relative humidity สอดคล้องกับผลงานของ (Dewi et al., 2019) และเป็นไปในทิศทางเดียวกับ (King et al., 2002; Meral & Dinçer, 2011) และปัจจัยเหล่านี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fouad et al. (2017) ที่ทำ systematic review เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และอีกปัจจัยสำคัญที่ถูกเลือกมาใช้ในการออกแบบ คือ Air Quality (particulate matter) เนื่องจากทำแผงโซล่าเซลล์รับรังสีของดวงอาทิตย์ได้น้อยลง และเกิดความสกปรกที่ PV panel ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปัจจัยในส่วนนี้สอดคล้องกับแนวคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017; King et al., 2002; Meral & Dinçer, 2011)

สำหรับการวิจัยที่มุ่งเน้นหาผลกระทบของคุณภาพอากาศต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เช่นจากผลงานของ Choi et al. (2019) พบว่าการแพร่กระจายของฝุ่นสีเหลืองมีผลกระทบต่อแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงในชั้นบรรยากาศ ซึ่งลดทอนค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลก สอดคล้องกับ Doğan et al. (2020) ได้สรุปผลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่าลดลง ผลการศึกษาสอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับวิจัยอื่น (Khazaal et al., 2020; Liyuan et al., 2019; Wang et al., 2020; Zhang et al., 2020)

การปรับปรุงเพิ่มเติมปัจจัยในกระบวนการออกแบบ PV system จึงนำปัจจัยภายนอกที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ปัจจัยสภาพแวดล้อม (ambient

environment) (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017; King et al., 2002; Meral & Dinçer, 2011) และปัจจัยคุณภาพอากาศ (air quality) (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017; Meral & Dinçer, 2011) มาร่วมพิจารณาในกระบวนการออกแบบให้เกิดความแม่นยำในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ (Narkwatchara et al., 2020)

ผลของการศึกษาถูกนำมาพัฒนาตัวแปรใหม่สำหรับกระบวนการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับกำลังการผลิตเมื่อดำเนินการติดตั้งและใช้งานจริง ด้วยการนำปัจจัยแวดล้อมที่มีนัยสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาร่วมพิจารณา กระบวนการดังกล่าวถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเดิมของกระบวนการออกแบบในปัจจุบัน และนำไปสู่การต่อยอดเพื่อการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการออกแบบ PV system ต่อไปในอนาคต

8.2.2 อภิปรายผลการศึกษาสมการทำนายพลังงานที่ผลิตได้จากปัจจัยสภาวะแวดล้อม

การสร้างโมเดลและปรับปรุงให้มีความเหมาะสม พบว่าค่าดัชนีความกลมกลืนสูงกว่าเกณฑ์ตัดสินใจทุกด้านจึงมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์เป็นอย่างดี โมเดลที่นำเสนอแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ Unstandardized estimates model และ Standardized estimates model ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์เส้นทางของตัวแบบรายคู่ พบว่ามีอิทธิพลเชิงลบต่อกันจำนวน 3 คู่ตัวแปร คือ คู่ที่ 1 อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ คู่ที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ และคู่ที่ 3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะรับอิทธิพลเชิงบวกทางตรงจากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ ในขณะที่เกิดอิทธิพลเชิงลบทางตรงมาจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ในทางกลับกันอิทธิพลเชิงบวกในทางอ้อมต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ในขณะที่อิทธิพลเชิงลบทางอ้อมมาจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ หากพิจารณาในภาพรวมด้วยค่าอิทธิพลรวมที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าตัวแปรการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มีระดับสูงสุด (Choi et al., 2019; Schmid, 2002) รองลงมาคืออุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017) ส่วนปัจจัยที่ลดทอนการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาจากปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (Choi et al., 2019; Doğan et al., 2020; Khazaal et al., 2020; Liyuan et al., 2019; Zhang et al., 2020) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017; King et al., 2002; Meral & Dinçer, 2011)

การประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโซล่าเซลล์ ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะอย่างมีนัยสำคัญต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การทดลองครั้งนี้ทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลทางตรงและทางอ้อม ตลอดจนความสัมพันธ์ที่

เกิดขึ้นระหว่างปัจจัยทั้งหมด ทั้งนี้โมเดลที่สร้างขึ้นอธิบายการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 59 จากตัวแบบที่สร้างขึ้นจากพารามิเตอร์ทั้งหมด

นอกจากนี้การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างยังทราบถึงสมการทำนายปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน สำหรับการวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของไอของเกลือทะเล (Sea salt effects) (Dewi et al., 2019; Fouad et al., 2017) ที่มีต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งและใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในพื้นที่นอกชายฝั่งทะเล (Offshore) และพื้นที่ริมชายฝั่งทะเล (Onshore) เพื่อกำหนดระดับผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้ต่อการผลิตไฟฟ้าต่อไป

8.2.3 อภิปรายผลการศึกษาสมการคำนวณเพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบโซล่าเซลล์

จากการพัฒนาเกณฑ์ชี้วัดของดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ด้วยการคำนวณผลลัพธ์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้สภาพแวดล้อมตามสมการทำนายฯ ผลการคำนวณพบว่าหากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีแนวโน้มสูงขึ้น ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากผลการคำนวณนำมาสู่การกำหนดค่าดัชนีสำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT index) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.949 – 1.000 และผลการคำนวณพบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้น ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.909 – 0.997 จากนั้นทำการปรับปรุงสมการเดิม ด้วยการผนวกดัชนีอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (AMT) และดัชนีฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM) เข้าสู่สมการซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์การคำนวณของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบโซล่าเซลล์ (E_{peak}) มีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดที่ต้องออกแบบขนาดระบบฯ เผื่อสำหรับการลดทอนจากปัจจัยแวดล้อม (Schmid, 2002; Skunpong et al., 2008)

Chulalongkorn University

ผลการทดสอบถึงความแตกต่างระหว่างขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่างสมการคำนวณแบบเดิมและสมการคำนวณที่พัฒนาขึ้นใหม่ ด้วยสถิติการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มไม่อิสระต่อกัน ผลการวิเคราะห์พบความแตกต่างระหว่างการคำนวณด้วยสมการแบบปกติและสมการคำนวณสูตรใหม่ทุกคู่การทดสอบ จึงกล่าวได้ว่าผลการคำนวณใหม่จะมีความแตกต่างกับผลคำนวณหาขนาดของระบบด้วยสมการแบบเดิม

8.2.4 อภิปรายผลการศึกษาคุณลักษณะของซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม

ผลการศึกษาความต้องการใช้และคุณลักษณะที่สำคัญต่อการออกแบบผลิตพลังงานด้วยแสงอาทิตย์ จนได้รับทราบประสบการณ์ในการใช้งานซอฟต์แวร์จากผู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและติดตั้งระบบฯ ข้อจำกัดที่เคยทราบจากการใช้งาน รวมถึงแนวโน้มการพัฒนาพัฒนาซอฟต์แวร์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ประเด็นสำคัญจากการวิเคราะห์พบว่าคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ควรออกแบบให้ง่าย

ต่อการใช้งานและมีลักษณะ User friendly รวมถึงความสามารถในการ export ไฟล์ในรูปแบบอื่นได้ รวมถึงการใช้งานซอฟต์แวร์ผ่านเว็บไซต์ซึ่งสามารถใช้งานได้ทุกที่เมื่อมี User และ Password ส่วนฟังก์ชั่นของซอฟต์แวร์ควรคำนวณผลลัพธ์ทั้งแบบพื้นฐานและแบบขั้นสูงได้อย่างถูกต้องแม่นยำ รวมถึงตัวเลือกเสริมสำหรับการคำนวณอย่างละเอียด และความสามารถในการดึงข้อมูลที่สำคัญจากฐานข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ออกมาใช้อย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ควรสามารถเลือกผลิตภัณฑ์หลักได้เองตามความเหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานส่วนใหญ่แล้วต้องการสิทธิ์ของซอฟต์แวร์ในลักษณะ Trial version ซึ่งเป็นผลดีหากผู้ใช้งานสนใจในคุณสมบัติของซอฟต์แวร์และยินดีจ่ายค่าสิทธิ์ในการใช้งานต่อไป

8.2.5 อภิปรายผลการศึกษาการพัฒนาซอฟต์แวร์การประเมิน

ผลการดำเนินงานเพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์ฯ โดยผลการพัฒนาได้ซอฟต์แวร์เพื่อการประเมินฯ การใช้งานเริ่มจากการเข้าระบบและจำแนกสิทธิ์ของผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ การป้อนข้อมูลโครงการที่ต้องการประเมิน การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล การแสดงผลลัพธ์ของการประเมิน และการส่งออกข้อมูลเป็นเอกสารสรุป

ผู้ใช้ซอฟต์แวร์จะต้อง Login เพื่อเข้าถึงการใช้งานตามสิทธิ์ระดับผู้ใช้งาน (User) หรือผู้ดูแลระบบ (Admin) ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ “ระดับผู้ใช้งาน” จะสามารถป้อนข้อมูลโครงการ การสั่งให้วิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์ของการประเมิน การส่งออกข้อมูลสรุปในรูปแบบของไฟล์อิเล็คทรอนิกส์หรือการสั่งพิมพ์เอกสารสรุป ส่วน “ระดับผู้ดูแลระบบ” เพิ่มการอนุญาตให้ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์และอัพเดตข้อมูลสำคัญที่ถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลทั้ง 6 เพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

สำหรับการนำเข้าข้อมูลสู่ซอฟต์แวร์จะประกอบด้วยข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องป้อนเองและข้อมูลที่ดึงจากฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อมูลในเชิงพื้นที่ตามที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าสู่โปรแกรม อาทิ ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย อัตราคิดลด โหลดโปรไฟล์ ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ ช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อ เป็นต้น จากนั้นระบบจะทำการวิเคราะห์ตามลำดับการประมวลผลดังที่ได้กล่าวถึงแล้วจนได้ผลลัพธ์ที่สำคัญได้แก่ ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของระบบฯ (kW_p) ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือน รายละเอียดยี่ห้อ รุ่น และจำนวนแผงโซล่าเซลล์รวมถึงอินเวอร์เตอร์ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือน ตลอดจนประสิทธิภาพของระบบโดยรวม

นอกจากนี้ซอฟต์แวร์จะประเมินผลประโยชน์ตอบแทนที่เกิดขึ้นของโครงการทั้งทางตรงและทางอ้อมในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและด้านสิ่งแวดล้อม และแสดงผลดัชนี NPV ดัชนี PI ดัชนี ROI ดัชนี BCR ดัชนี PB รวมถึงปริมาณ CO_2 ที่ลดตลอดช่วงอายุโครงการ

ผลการทดสอบความแม่นยำของซอฟต์แวร์ในด้านการประเมินพลังงานไฟฟ้า ด้วยการเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากโครงการอ้างอิง 5 โครงการ ในแต่ละภูมิภาคของ

ประเทศไทย ประกอบด้วยโครงการในจังหวัดลำปาง นครปฐม นครราชสีมา ชลบุรี และเพชรบุรี รวมถึงนำผลการประเมินจากโปรแกรมในประเทศ และต่างประเทศร่วมทดสอบ สรุปผลการทดสอบยืนยันว่าผลการประมาณการค่าพลังงานที่จะผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความสอดคล้องกับพลังงานที่ผลิตได้จริงตามโครงการที่นำมาเปรียบเทียบ จึงสร้างความมั่นใจต่อการนำซอฟต์แวร์ไปใช้เพื่อการประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในพื้นที่ต่าง ๆ ต่อไป

8.2.6 อภิปรายผลการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะการนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้งาน พบว่าส่วนใหญ่จะทราบว่ามีซอฟต์แวร์เพื่อการออกแบบและเคยใช้งานเป็นประจำ รองลงมาทราบว่ามีซอฟต์แวร์เพื่อการออกแบบและได้นำมาใช้งานในบางครั้ง ส่วนการใช้ประโยชน์จากซอฟต์แวร์พบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่นำซอฟต์แวร์มาใช้ในบางขั้นตอนของการประเมิน รองลงมาได้ใช้งานในทุกขั้นตอนของการประเมิน เนื่องจากบางโครงการอาจไม่มีความซับซ้อนมากนักรวมถึงการใช้ประสบการณ์ของผู้ออกแบบรวมในการประเมินระบบ ส่วนสิทธิ์ในการใช้งานซอฟต์แวร์พบว่าส่วนใหญ่เป็นแบบ Trial Demo หรือ Shareware รองลงมาเป็นแบบ Freeware ทั้งนี้หากเป็นซอฟต์แวร์ที่ให้ใช้งานได้ฟรีมักมีข้อจำกัดในด้านความสามารถในการใช้งานที่อาจไม่ตอบสนองต่อผู้ใช้มากนักหรืออาจมีโฆษณาของผู้สนับสนุนแสดงให้เห็นขึ้นมาในบางครั้ง

สำหรับการวิเคราะห์การยอมรับเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ด้วยโมเดล TAM (Davis et al., 1989) ซึ่งวิเคราะห์องค์ประกอบด้านประโยชน์ของระบบ ความง่ายในการใช้งาน ทัศนคติต่อการใช้งาน และความต้องการใช้งาน พบว่าผู้ใช้งานมองถึงประโยชน์ของซอฟต์แวร์ iDEPV ว่าตัวของระบบช่วยให้การคำนวณและประมวลผลในการประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าฯ ของผู้ใช้งานมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น รวมถึงช่วยลดเวลาในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าฯ ลงได้ ส่วนด้านความง่ายของการใช้งานพบว่าการเริ่มต้นเรียนรู้เพื่อใช้งานซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV จนได้ผลลัพธ์การคำนวณออกมาเป็นเรื่องง่ายและไม่ซับซ้อนต่อการเรียนรู้ รวมถึงการป้อนข้อมูลจนถึงการประมวลผลลัพธ์มีความชัดเจนและง่ายต่อการใช้งาน และสำหรับทัศนคติต่อการใช้งานซอฟต์แวร์พบว่าผู้ใช้งานคิดว่าสามารถเป็นเครื่องมือในการช่วยประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งจะเกิดผลดีต่อการทำงานรวมถึงควรได้รับการสนับสนุนในการนำมาใช้งาน

ส่วนที่สำคัญต่อการพิจารณานำซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นไปสู่เชิงพาณิชย์คือผลการทดสอบความตั้งใจใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV พบว่ามีความสนใจในการนำซอฟต์แวร์นี้ไปใช้เพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์สำหรับโครงการฯ ใหม่จะเกิดขึ้น รวมถึงผู้ใช้งานมีความตั้งใจจะแนะนำบุคคลอื่นที่รู้จักให้ใช้ซอฟต์แวร์ฯ เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ต่อไป

8.2.7 อภิปรายผลการศึกษาการนำซอฟต์แวร์ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ผลการวิเคราะห์สภาวะการแข่งขันพบคู่แข่งขันทางตรงซึ่งมีผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันในจุดมุ่งหมายของการใช้งาน โดยผลิตภัณฑ์หรือซอฟต์แวร์ในประเทศ ได้แก่ "PVGIS" (CSSC, 2020) ส่วนผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์จากต่างประเทศ "PVsyst" ซึ่งต้องเสียค่าสิทธิ์ในการใช้งาน ส่วนคู่แข่งทางอ้อมจะให้บริการประเมินเช่นเดียวกันแต่มีข้อจำกัดโดยผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกมาประมวลผลจะเป็นของค่ายผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ หรือถูกกำหนดจากผู้ให้บริการซอฟต์แวร์ ได้แก่ PEA Solar Hero, SCG Roof Expert ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ ส่วนซอฟต์แวร์ที่มาจากต่างประเทศ ได้แก่ SMA และ SolarEdge เป็นต้น ผลการวิเคราะห์อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมพบว่าผลจากการสนับสนุนจากภาครัฐ รวมถึงเทคโนโลยีที่ก้าวกระโดดนำมาสู่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่สูงขึ้นและการการผลิตแผงโซล่าเซลล์จำนวนมากทำเกิดการประหยัดต่อขนาด (Economies of Scale) ด้วยเหตุนี้ราคาจึงแนวโน้มลดลง ตลอดจนความสนใจใช้งานรวมถึงจำนวนบริษัทผู้ออกแบบและติดตั้งระบบมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับจุดเด่นที่จะช่วยส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่นคือการนำดัชนีคุณภาพอากาศและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในเชิงพื้นที่ เข้ามาร่วมคำนวณอย่างอัตโนมัติเพื่อการประเมินศักยภาพให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและผ่านการรับรองจากหน่วยงานการไฟฟ้าของประเทศไทย ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งในการขออนุญาตเชื่อมต่อกับระบบเมื่อโครงการแล้วเสร็จ

การวิเคราะห์เป้าหมายทางการตลาดจำแนกตามปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ จำแนกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 บริษัทออกแบบและติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ กลุ่มที่ 2 บริษัทผู้แทนขายสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์โซล่าเซลล์ และกลุ่มที่ 3 ผู้รับเหมาหรือผู้ติดตั้งระบบโซล่าเซลล์รายย่อย ผู้วิจัยกำหนดการให้บริการซอฟต์แวร์แบบธุรกิจกับธุรกิจ (B2B) กลุ่มผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์นี้เป็นบริษัทผู้แทนขายสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์โซล่าเซลล์ ที่ใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการคำนวณการออกแบบและประเมินระบบฯ ให้แก่ลูกค้าที่ต้องการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และกลุ่มบริษัทผู้แทนขายสินค้าเกี่ยวกับอุปกรณ์โซล่าเซลล์ ที่ต้องการนำซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการให้คำแนะนำแก่ลูกค้าที่มาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ และวางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ตามเกณฑ์จุดยืนด้านความแตกต่าง แปลกใหม่ หรือคุณสมบัติที่ยังไม่มีผลิตภัณฑ์ใดเหมือน และราคาของผลิตภัณฑ์ที่สูงหรือต่ำ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ "iDEPV" วางตำแหน่งผลิตภัณฑ์ไว้ที่ด้านการเน้นความแตกต่างกว่าซอฟต์แวร์การประเมินทั่วไป แต่มีราคาต่ำกว่าของคู่แข่งขัน

การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับการจำหน่ายซอฟต์แวร์ มีต้นทุนเริ่มแรกในการดำเนินงาน (CAPEX) จำนวน 1,330,000 บาท ต้นทุนการดำเนินงานในรายปี (OPEX) จำนวน 1,238,400 บาท ณ ปีที่ 1 และเพิ่มขึ้นต่อเนื่องร้อยละ 3 ในทุกปี รวมเป็นเงิน 6,574,836 บาท และรายได้จากการดำเนินงาน (INCOME) จำนวน 1,652,400 บาท ณ ปีที่ 1 และเพิ่มขึ้นต่อเนื่องร้อยละ 10 ในทุกปี

รวมเป็นเงิน 10,088,066 บาท โดยใช้อัตราส่วนลดร้อยละ 6 สำหรับการคำนวณทางด้านการเงิน ผลการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสิทธิ (NPV) มีค่า 1,246,200 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่า 31.23% และระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 2 ปี 9 เดือน จากตัวเลขดัชนีด้านการเงินในข้างต้นจึงควรตัดสินใจลงทุนในโครงการซอฟต์แวร์ iDEPV ต่อไปในอนาคต

8.3 ข้อเสนอแนะ

8.3.1 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต

1) จากขอบเขตของการวิจัยนี้ที่ศึกษาระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบออนกริดที่ติดตั้งบนหลังคา (Rooftop) และมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ เท่านั้น ด้วยเหตุนี้การวิจัยในอนาคตจึงอาจนำแนวคิดเหล่านี้ไปศึกษาเพิ่มเติมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งในลักษณะอื่น เช่น บนพื้นดิน หรือแบบทุ่นลอยบนน้ำ ต่อไป รวมถึงศึกษาผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้หากระบบมีขนาดเกินกว่า 1 เมกะกิโลโวลต์แอมแปร์

2) การศึกษาระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีการเชื่อมต่อกับแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงหมุนเวียนประเภทอื่น หรือการนำระบบกักเก็บพลังงานมาร่วมในระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งค่าใช้จ่ายในโครงการรวมถึงผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์อาจมีความแตกต่างจากผลการศึกษาในครั้งนี้

8.3.2 ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์

การนำซอฟต์แวร์ “iDEPV” ไปใช้ร่วมในการคำนวณเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ทั้งในมิติของการกำหนดขนาดของระบบที่เหมาะสมต่อการติดตั้งในโครงการ เพื่อให้ผลผลิตของพลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นสอดคล้องกับความต้องการที่คาดหมายซึ่งมีลักษณะเฉพาะในเชิงพื้นที่ รวมถึงปริมาณและคุณสมบัติทางเทคนิคที่เหมาะสมของอุปกรณ์หลักในระบบ การคาดการณ์ถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยในรายเดือน ตลอดจนข้อมูลประมาณการผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมซึ่งจำเป็นต่อการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการ สิ่งที่กล่าวในข้างต้นจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจด้านโซล่าเซลล์ในนำซอฟต์แวร์ “iDEVP” มาใช้งานในโครงการที่รับผิดชอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Abass, A. (2014). *Light absorption enhancement and electronic properties of thin-film solar cells.* Ghent University,

Abd El-Basit, W., Abdel-Maksoood, A. M., Kamh, S. A., & Soliman, F. (2015). *New Investigation on the Applications and Computer Simulation of Photovoltaic Cells and Storage Systems* (Vol. 4).

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes,* 50(2), 179-211.

Amigó, L. P. (2016). *Solar Potential Assessment: Comparison Using LiDAR Data and PVsyst.* Universitat Politècnica de Catalunya,

BNEF. (2018). *Global Trends in Renewable Energy Investment*. Frankfurt: Bloomberg New Energy Finance.

Boonyang Plangklang. (2010). *Photovoltaic Systems*. Bangkok: Triple education.

CantyMedia. (2020). Weatherbase. Retrieved from https://www.weatherbase.com/

Choi, J. Y., Lee, J. Y., Kim, Y. P., & Wee, D. (2019). Assessment of the Performance of the Solar Cells Affected by the Optical Properties of the Chemical Components of the fine Particles (PM 2.5) in the Atmosphere in Korea. *AGUFM,* 2019, GC53F-1178.

CIVICSOLAR. (2019). Monocrystalline Cells vs. Polycrystalline Cells: What's the Difference? Retrieved from https://www.civicsolar.com/article/monocrystalline-cells-vs-polycrystalline-cells-whats-difference

Climate-Data. (2020). CLIMATE DATA FOR CITIES WORLDWIDE. Retrieved from https://en.climate-data.org/

Cooper, R. g. (2001). *Winning at new products : accelerating the process from idea to launch*: Cambridge, Mass. : PERSEUS, c2001.

3rd ed.

CSSC. (2020). PVGIS: King Mongkut's University of Technology Thonburi. Retrieved from http://pvgis.kmutt.ac.th/

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). USER ACCEPTANCE OF COMPUTER

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

TECHNOLOGY: A COMPARISON OF TWO THEORETICAL MODELS. *Management Science,* 35(8), 982-1003.

DBD. (2020). DBD DataWarehouse+. Retrieved from https://datawarehouse.dbd.go.th/searchJuristicInfo

DEDE. (2015). *Alternative Energy Development Plan: AEDP*2015. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency.

DEDE. (2019). *Thailand PV Status Report* 2018. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency.

Dewi, T., Risma, P., & Oktarina, Y. (2019). A Review of Factors Affecting the Efficiency and Output of a PV System Applied in Tropical Climate. 258. doi:10.1088/1755-1315/258/1/012039

DiFrangia, M. (2014). Which Solar Backup Battery Is Right For You? Retrieved from https://www.solarpowerworldonline.com/2014/05/backup-battery-right/

Doğan, T. R., Beşli, N., Aktacir, M. A., Dinç, M. N., İlkhan, M. A., Öztürk, F., & Yıldız, M. (2020). Seasonal effects of atmospheric particulate matter on performance of different types of photovoltaic modules in sanliurfa, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*.

Drif, M., Pérez, P., Aguilera, J., Almonacid, G., Gomez, P., De la Casa, J., & Aguilar, J. (2007). Univer Project. A grid connected photovoltaic system of 200kWp at Jaén University. Overview and performance analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells,* 91(8), 670-683.

EECO. (2018). *Eastern Economic Corridor (EEC)*. Bangkok: Eastern Economic Corridor Office.

EECO. (2019). Targeted Industries. Retrieved from https://www.eeco.or.th/en

EIT. (2013). *Thai Electrical Code* 2013. Bangkok: The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage,.

EIT. (2019). *Thailand Electrical Installation Standard: Solar Rooftop Power Supply Installations*. Bangkok: The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage,.

El-Shimy, M., AbdElAziz, A. A., Oliba, K. A., AbdEl-hameed, K. A., Selim, O. A., Helal, R.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

M., . . . Zain, S. S. (2018). *Experimental Analysis of Conditions Based Variations of Characteristics and Parameters of Photovoltaic Modules*.

EPPO. (2018a). *Energy Statistics of Thailand* 2018. Bangkok: Energy Policy and Planning Office.

EPPO. (2018b). *A Handbook of Power Development Plan: PDP*. Bangkok: Energy Policy and Planning Office.

EPPO. (2018c). *Power Development Plan (PDP*2018). Bangkok: Energy Policy and Planning Office.

ERC. (2019). "กกพ." เปิดรับยื่น "โซลาร์ภาคประชาชน". กรุงเทพ: สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน.

Ferry, R., & Monoian, E. (2012). *A field guide to renewable energy technologies*: land art generator initiative.

Fishbein, M., & Ajzen, I. (1980). Predicting and understanding consumer behavior: Attitude-behavior correspondence. *Understanding attitudes and predicting social behavior*, 148-172.

Fouad, M. M., Shihata, L. A., & Morgan, E. I. (2017). An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. *Renewable and sustainable energy reviews,* 80, 1499-1511. doi:10.1016/j.rser.2017.05.141

Ghiani, E., Pilo, F., & Cossu, S. (2013). Evaluation of photovoltaic installations performances in Sardinia. *Energy conversion and management,* 76, 1134-1142.

Glory Power Solutions. (2019). Solar On Grid. Retrieved from http://glorypowersolutions.com/ongrid.html

GSA. (2020). Global Solar Atlas. Retrieved from https://globalsolaratlas.info/map

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis* (7 ed.): Pearson.

Iemsomboon, P., Pati, T., & Bhumkittipich, K. (2013). Performance study of micro hydro turbine and pv for electricity generator, case study: bunnasopit school, nan province, Thailand. *Energy Procedia,* 34, 235-242.

IRENA. (2017). *Renewable Energy Outlook: Thailand*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

IRENA. (2018). *Global Energy Transformation: A roadmap to* 2050. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

Kaltschmitt, M., & Streicher, W. (2007). *Renewable Energy*. New York: Springer Berlin Heidelberg.

Kaushika, N. D., Mishra, A., & Rai, A. K. (2018). *Solar Photovoltaics. [electronic resource] : Technology, System Design, Reliability and Viability*: Springer International Publishing.

Kerekes, T., Koutroulis, E., Séra, D., Teodorescu, R., & Katsanevakis, M. (2012). An optimization method for designing large PV plants. *IEEE Journal of Photovoltaics,* 3(2), 814-822.

Khatib, T., Mohamed, A., & Sopian, K. (2013). A review of photovoltaic systems size optimization techniques. *Renewable and sustainable energy reviews,* 22, 454-465.

Khazaal, H., Kadhim, H., Farhan, M., Baqer, I. S., & Salih, S. (2020). Evaluation the Influences of Temperature, Dust and Shading on Photovoltaic System Performance. *MS&E,* 765(1), 012015.

King, D. L., Boyson, W. E., & Kratochvil, J. A. (2002). Analysis of factors influencing the annual energy production of photovoltaic systems. In (pp. 1356). Piscataway, NJ, USA, USA: IEEE.

KMUTT. (2018). Infographic: Grid-connected PV system in 2018. Retrieved from http://pvgis.kmutt.ac.th/pvstatus2018/

Koutroulis, E., & Blaabjerg, F. (2012). Design optimization of transformerless grid-connected PV inverters including reliability. *IEEE Transactions on Power Electronics,* 28(1), 325-335.

Kumar, B. S., & Sudhakar, K. (2015). Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. *Energy reports,* 1, 184-192.

Kumar, N. M., Yadav, S. K., Chopra, S. S., Bajpai, U., Gupta, R. P., Padmanaban, S., & Blaabjerg, F. (2020). Operational performance of on-grid solar photovoltaic system integrated into pre-fabricated portable cabin buildings in warm and temperate climates. *Energy for Sustainable Development,* 57, 109-118.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Lasnier, F. (2017). *Photovoltaic engineering handbook*: Routledge.

Liyuan, Z., Xiaoxiao, Y., Binyu, B., Wenrui, G., Yachen, F., & Min, Z. (2019). Impacts of air pollution and meteorological conditions on the generation efficiency of photovoltaic system in Xi'an, China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 332(2), 022018.

Meral, M. E., & Dinçer, F. (2011). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and sustainable energy reviews,* 15(5), 2176-2184. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.010

Ministry of Energy. (2020). Geographic Information System. Retrieved from http://gis.energy.go.th/

Mostafa, M. F., Aleem, S. H. A., & Ibrahim, A. M. (2016). *Using solar photovoltaic at Egyptian airports: Opportunities and challenges.* Paper presented at the 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON).

Narkwatchara, P., Ratanatamskul, C., & Chandrachai, A. (2020). *Missing factors that are overlooked in designing a photovoltaic system.* Paper presented at the Proceedings of the 2020 the 3rd International Conference on Computers in Management and Business.

NREL. (2019). Best Research-Cell Efficiency Chart. Retrieved from https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*: John Wiley & Sons.

REIC. (2019a). สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยในจังหวัดภูมิภาค ไตรมาส 4 ปี 2561 และแนวโน้มปี 2562. กรุงเทพฯ: ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์.

REIC. (2019b). สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยกรุงเทพฯ-ปริมณฑล ไตรมาส 4 ปี 2561 และแนวโน้มปี 2561. กรุงเทพฯ: ศูนย์ข้อมูลอสงหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์.

REIC. (2020a). สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยในจังหวัดภูมิภาค ไตรมาส 4 ปี 2562 และแนวโน้มปี 2563. กรุงเทพฯ: ศูนย์ข้อมูลอสงหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์.

REIC. (2020b). สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยกรุงเทพฯ-ปริมณฑล ไตรมาส 4 ปี 2562 และแนวโน้มปี 2563. กรุงเทพฯ: ศูนย์ข้อมูลอสงหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

REN21. (2018). *Renewables* 2018 *Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.

Sakulpong, R., Pornsuwancharoen, N., & Yupapin, P. (2011). Potential of using a solar-electricity hybrid system in north-east of Thailand. *Procedia Engineering,* 8, 67-74.

Schmid, J. (2002). Photovoltaic systems Technology, teaching script. *IEE-RE, University of Kassel, Germany*.

Skunpong, R., Plangklang, B., Khan-Ngern, V., & Boonchiam, P. (2008). A Practical Method for Quickly PV sizing. *lamp,* 40, 0.15.

Solargis. (2020). Global Solar Atlas. Retrieved from https://globalsolaratlas.info/map. Retrieved 15 July 2020, from World Bank Group https://globalsolaratlas.info/map

Sulaiman, S. I., Rahman, T. K. A., Musirin, I., Shaari, S., & Sopian, K. (2012). An intelligent method for sizing optimization in grid-connected photovoltaic system. *Solar energy,* 86(7), 2067-2082.

Tech Dose Daily. (2019). Thin-film Amorphous Silicon Solar Cell Market 2018 Research Report- Global Forecast 2023. Retrieved from http://techdosedaily.com/2019/02/05/thin-film-amorphous-silicon-solar-cell-market-2018-research-report-global-forecast-2023/

Wang, H., Meng, X., & Chen, J. (2020). Effect of air quality and dust deposition on power generation performance of photovoltaic module on building roof. *Building Services Engineering Research and Technology,* 41(1), 73-85.

Zhang, L., Yi, X., Zhao, M., & Gu, Z. (2020). Reduction in solar photovoltaic generation due to aerosol pollution in megacities in western China during 2014 to 2018. *Indoor and Built Environment*, 1420326X20939310.

เกษม ตรีภาค และคณะ. (2561). แบบจำลองคณิตศาสตร์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำแบบผลึกซิลิกอน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*,* 3(1), 31-40.

เยาวเรศ ทับพันธุ์. (2551). การประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา. (2553). กลยุทธ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ 'นวัตกรรมแห่งคุณค่า'. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*,* 59, 161-174.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศไทย. Retrieved from http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2562). การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). รายชื่อผู้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา. Retrieved from https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=41352

กรมสรรพากร. (2563). พระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยหักค่าสึกหรอ และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน (ฉบับที่ 145) พ.ศ. 2527. Retrieved from https://www.rd.go.th/publish/2369.0.html

กระทรวงพลังงาน. (2558). แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

ณัชพล จรูญพิพัฒน์กุล. (2019). โครงการ EEC : ความหวังใหม่ในการพลิกฟื้นวัฏจักรการลงทุน. *FOCUSED AND QUICK*(155), 1 - 10. Retrieved from https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/ArticleAndResearch/FAQ/FAQ_155.pdf

นภัทร วัจนเทพินทร์. (2553). การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตนเอง. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์.

บุญยัง ปลั่งกลาง. (2553). ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2555). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (*Engineering Economy*). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

พิมพ์นภัส เอี่ยมสมบูรณ์ และคณะ. (2556). การจำลองแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับคุณภาพชีวิตที่เหมาะสมในพื้นที่ห่างไกล.

พิมพ์พรรณ กาเยนนท์. (2557). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย,

วิจิตรา สารบุญเป็ง และอรพรรณ คงมาลัย. (2016). ความร่วมมือในโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่: บริบทการพัฒนาโมบายแอพพลิเคชั่ น. วารสารวิชาการบัณฑิตวิทยาลัยสวนดุสิต, 12(2), 51-60.

วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. (2556). พลวัตระบบและการจำลองสถานการณ์ (*System Dynamics and Simulation*). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศาสตรา ศิริแก้ว และคณะ. (2562). การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บนหลังคาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษา อาคารสำนักวิทยบริการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. *Journal of Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology),* 11(21), 179-192.

สุรศักดิ์ น้อยทับทิม. (2553). การออกแบบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่เป้าหมายในประเทศไทยด้วยโปรแกรม *MATLAB.* มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี ราชมงคล ธัญบุรี. คณะ วิศวกรรมศาสตร์. ภาค วิชา วิศวกรรม ไฟฟ้า,

อนุตร จำลองกุล. (2555). พลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

การขอรับใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำแนะนำการยื่นคำขอรับใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม (พค.2)

พระราชกฤษฎีกากำหนดพลังงานควบคุม พ.ศ. 2536 ออกตามความในพระราชบัญญัติการพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พ.ศ. 2535 กำหนดให้พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีขนาดการผลิตรวมของแต่ละแหล่งผลิตตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป เป็นพลังงานควบคุม ซึ่งการอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม หรือใบอนุญาต พค. 2 ตามกฎหมายว่าด้วยการพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน เป็นอำนาจหน้าที่ของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ตามมาตรา 48 แห่งพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550

และเนื่องจากพระราชกฤษฎีกากำหนดประเภท ขนาด และลักษณะของกิจการพลังงานที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาตการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2552 ออกตามความในพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 กำหนดให้กิจการผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตรวมของแต่ละแหล่งผลิตต่ำกว่า 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์จะได้รับการยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาตการประกอบกิจการพลังงานจาก กกพ. รวมทั้งผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกิจการตนเองเฉพาะกรณีฉุกเฉินเท่านั้น (Emergency Backup Generation) และผลิตไฟฟ้าใช้ในกิจการตนเองโดยไม่พึ่งพากับไฟฟ้าจากระบบ (Stand Alone) ไม่เข้าข่ายเป็นการประกอบกิจการพลังงานที่ต้องได้รับอนุญาตจาก กกพ.

ดังนั้น ผู้ที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตรวมของแต่ละแหล่งผลิตตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไปต้องปฏิบัติ ดังนี้

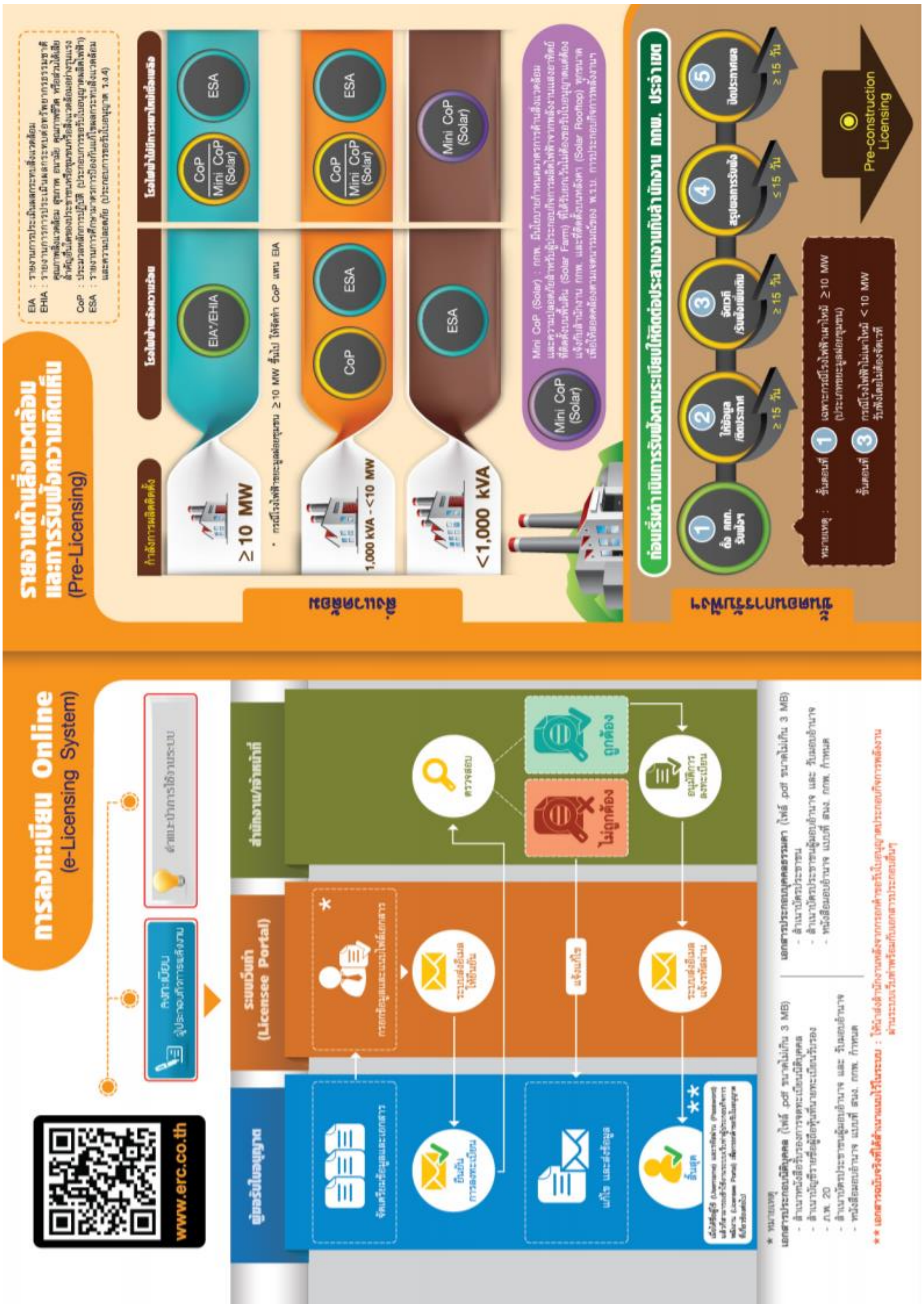
1. ผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตรวมของแต่ละแหล่งผลิตตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป แต่ต่ำกว่า 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ ที่เข้าข่ายเป็นผู้ประกอบกิจการพลังงานและได้รับการยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน รวมถึงผู้ที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกิจการตนเองเฉพาะกรณีฉุกเฉินเท่านั้น (Emergency Standby) และผู้ผลิตไฟฟ้าใช้ในกิจการตนเองโดยไม่พึ่งไฟฟ้าจากระบบ(Stand Alone) ที่มีกำลังการผลิตรวมของแต่ละแหล่งผลิตตั้งแต่ 200 กิโลโวลต์แอมแปร์ ขึ้นไป จะต้องยื่นขออนุญาตผลิตพลังงานควบคุมกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งตั้งอยู่ ณ เลขที่ 17 ถนนพระรามที่ 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 (อาคาร 6 ชั้น 7) โทร 0 2226 1827, 0 2226 1379 โทรสาร 0 2225 9739

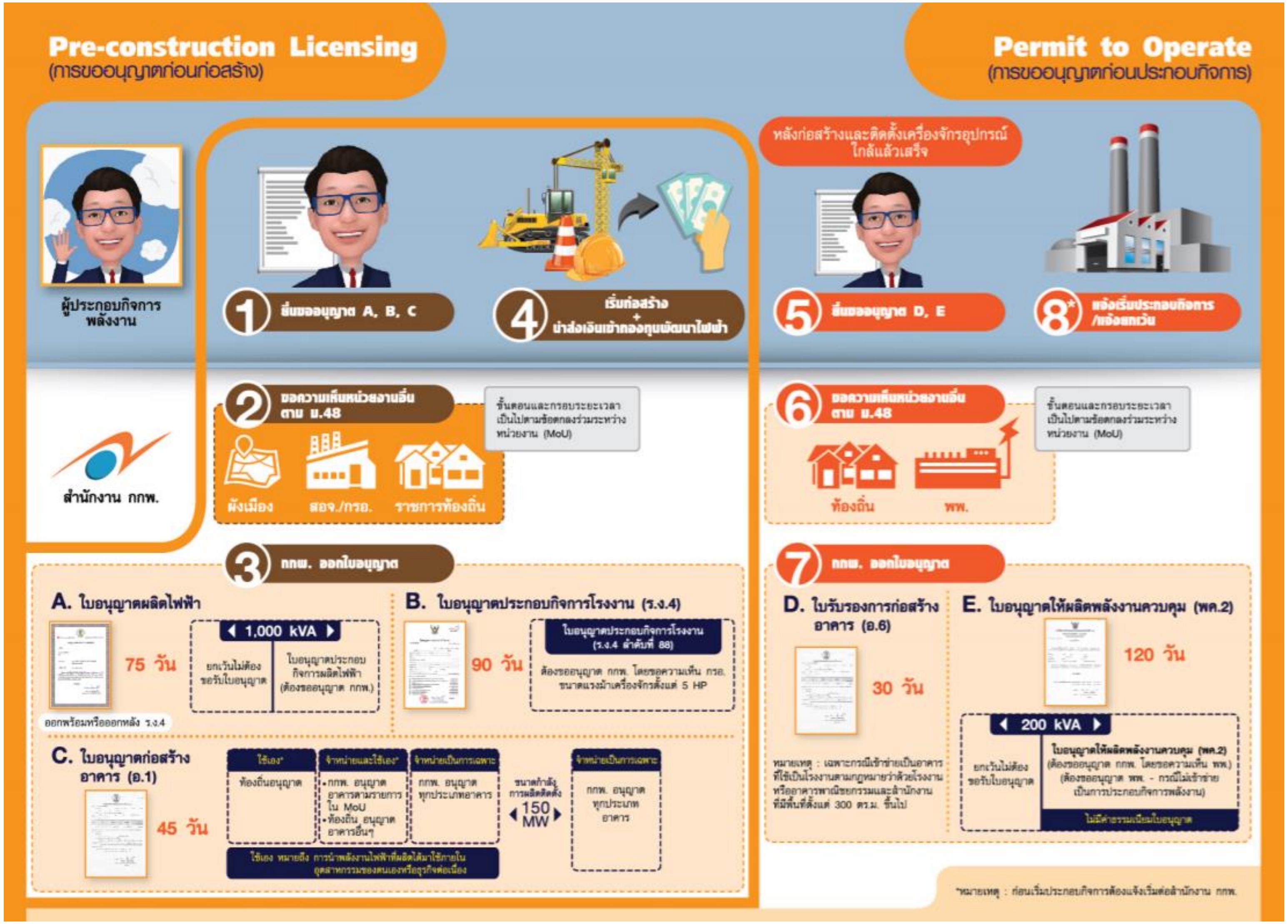
2. ผู้ผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตรวมของแต่ละแหล่งผลิตตั้งแต่ 1,000 กิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป ที่เข้าข่ายเป็นการประกอบกิจการพลังงานจะต้องยื่นขออนุญาตผลิตพลังงานควบคุม กับ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สำนักงาน กกพ.) ด้วยตนเอง หรือส่งทางไปรษณีย์ได้ ณ เลขที่ 319 อาคารจัตุรัสจามจุรี ชั้น 19 ถนนพญาไท แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 0 2207 3599 ต่อ 775 โทรสาร 02 207 3506 ตั้งแต่เวลา 08.30 น. – 17.30 น. ทั้งนี้ ให้ยื่นคำขอ พค.1 พร้อมกับคำขอรับ

ใบอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน ตามข้อ 5 ของระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ว่าด้วยการขอรับใบอนุญาตและการอนุญาตประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2551

ขั้นตอนการพิจารณาออกใบอนุญาต พค.2 ของสำนักงาน กกพ.

1. ยื่นคำขออนุญาตผลิตพลังงานควบคุม (แบบฟอร์ม พค.1)
2. เจ้าหน้าที่ตรวจสอบสอบความถูกต้องครบถ้วนของเอกสารและหลักฐานประกอบคำขอ
3. เจ้าหน้าที่จะดำเนินการตรวจสถานประกอบการ เมื่อมีการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ผลิตพลังงานควบคุมแล้วเสร็จไม่น้อยกว่าร้อยละ 90
4. เจ้าหน้าที่จัดทำรายงานผลการตรวจสถานประกอบการ และจัดส่ง พพ. เพื่อขอความเห็นประกอบการอนุญาตของ กกพ.
5. เจ้าหน้าที่จัดทำความเห็นเสนอ กกพ. เพื่อพิจารณาอนุญาตเมื่อได้รับความเห็นจาก พพ.
6. เจ้าหน้าที่แจ้งผลการพิจารณาอนุญาตของ กกพ. แก่ผู้ขอรับใบอนุญาต พร้อมจัดส่งใบอนุญาต พค.2 ทางไปรษณีย์ หรือผู้ขอรับใบอนุญาตสามารถมาติดต่อขอรับด้วยตนเองได้ที่ฝ่ายใบอนุญาต สำนักงาน กกพ.
7. ขั้นตอนการพิจารณาออกใบอนุญาต พค.2 จะดำเนินการแล้วเสร็จภายใน 45 วัน นับจากวันที่เอกสารถูกต้องครบถ้วน และการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ผลิตพลังงานควบคุมแล้วเสร็จไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 (รายละเอียดตาม **Work Flow**)


www.erc.co.th
การลงทะเบียน Online
(e-Licensing System)
ผู้ขอรับใบอนุญาต
ระบบเว็บท่า
(Licensee Portal)
สำนักงาน/เจ้าหน้าที่
ตรวจสอบ
ไม่ถูกต้อง
ถูกต้อง
รายงานด้านสิ่งแวดล้อม
และการรับฟังความคิดเห็น
(Pre-Licensing)
สิ่งแวดล้อม
≥ 10 MW
1,000 kVA - <10 MW
<1,000 kVA
EIA*/EHIA
CoP
ESA
Mini CoP
(Solar)
ขั้นตอนการรับฟังฯ
ก่อนเริ่มดำเนินการรับฟังตามระเบียบให้ติดต่อประสานงานกับสำนักงาน กกพ. ประจำเขต
≥ 15 วัน
≤ 15 วัน
Pre-construction
Licensing


Pre-construction Licensing
(การขออนุญาตก่อนก่อสร้าง)
Permit to Operate
(การขออนุญาตก่อนประกอบกิจการ)
ผู้ประกอบกิจการพลังงาน
สำนักงาน กกพ.
1 ยื่นขออนุญาต A, B, C
4 เริ่มก่อสร้าง + นำส่งเงินเข้ากองทุนพัฒนาไฟฟ้า
หลังก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ใกล้แล้วเสร็จ
5 ยื่นขออนุญาต D, E
8* แจ้งเริ่มประกอบกิจการ /แจ้งยกเว้น
2 ขอความเห็นหน่วยงานอื่น ตาม ม.48
ผังเมือง
สอจ./กรอ.
ราชการท้องถิ่น
ขั้นตอนและกรอบระยะเวลาเป็นไปตามข้อตกลงร่วมระหว่างหน่วยงาน (MoU)
6 ขอความเห็นหน่วยงานอื่น ตาม ม.48
ท้องถิ่น
พพ.
3 กกพ. ออกใบอนุญาต
A. ใบอนุญาตผลิตไฟฟ้า
75 วัน
1,000 kVA
ยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาต
ใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า (ต้องขออนุญาต กกพ.)
ออกพร้อมหรือออกหลัง ร.ง.4
B. ใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง.4)
90 วัน
ใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ร.ง.4 ลำดับที่ 88)
ต้องขออนุญาต กกพ. โดยขอความเห็น กรอ. ขนาดแรงม้าเครื่องจักรตั้งแต่ 5 HP
C. ใบอนุญาตก่อสร้างอาคาร (อ.1)
45 วัน
ใช้เอง*
ท้องถิ่นอนุญาต
จำหน่ายและใช้เอง*
กกพ. อนุญาตอาคารตามรายการใน MoU
ท้องถิ่น อนุญาตอาคารอื่นๆ
จำหน่ายเป็นการเฉพาะ
กกพ. อนุญาตทุกประเภทอาคาร
ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 150 MW
จำหน่ายเป็นการเฉพาะ
กกพ. อนุญาตทุกประเภทอาคาร
7 กกพ. ออกใบอนุญาต
D. ใบรับรองการก่อสร้างอาคาร (อ.6)
30 วัน
หมายเหตุ : เฉพาะกรณีเข้าข่ายเป็นอาคารที่ใช้เป็นโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน หรืออาคารพาณิชยกรรมและสำนักงานที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 300 ตร.ม. ขึ้นไป
E. ใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม (พค.2)
120 วัน
200 kVA
ยกเว้นไม่ต้องขอรับใบอนุญาต
ใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม (พค.2)
ไม่มีค่าธรรมเนียมใบอนุญาต
*หมายเหตุ : ก่อนเริ่มประกอบกิจการต้องแจ้งเริ่มต่อสำนักงาน กกพ.

ภาคผนวก ข แบบสัมภาษณ์

(การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบโซล่าเซลล์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

AF 02-12

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Group I, Chulalongkorn University
Jamjuree 1 Building, 2nd Floor, Phyathai Rd., Patumwan district, Bangkok 10330, Thailand,
Tel: 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 278/2019

Certificate of Approval

Study Title No. 219.1/62 : INNOVATIVE SOFTWARE FOR DESIGN AND POTENTIAL EVALUATION IN THE INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR ELECTRICITY GENERATION

Principal Investigator : MR. PIYA NARKWATCHARA

Place of Proposed Study/Institution : Technopreneurship and Innovation Management Program, Graduate School, Chulalongkorn University

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Group I, Chulalongkorn University, Thailand, has approved constituted in accordance with Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, Standards of Research Ethics Committee (SREC) 2013, and National Policy and guidelines for Human Research 2015 of Phase I & II of research project.

Signature: Prida Tasanapradit	Signature: Nuntaree Chaichanawongsaroj
(Associate Prof. Prida Tasanapradit, M.D.)	(Associate Prof. Nuntaree Chaichanawongsaroj, Ph.D.)
Chairman	Secretary

Date of Approval : 11 December 2019 Approval Expire date : 10 December 2020

The approval documents including;

1) Research proposal
2) Participant Information Sheet and Consent Form
3) Researcher
4) Guideline questions

Protocol No. 219.1/62
Date of Approval 11 DEC 2019
Approval Expire Date 10 DEC 2020

The approved investigator must comply with the following conditions:

1. *The research/project activities must end on the approval expired date of the Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University (RECCU). In case the research/project is unable to complete within that date, the project extension can be applied one month prior to the RECCU approval expired date.*
2. *Strictly conduct the research/project activities as written in the proposal.*
3. *Using only the documents that bearing the RECCU's seal of approval with the subjects/volunteers (including subject information sheet, consent form, invitation letter for project/research participation (if available).*
4. *Report to the RECCU for any serious adverse events within 5 working days*
5. *Report to the RECCU for any change of the research/project activities prior to conduct the activities.*
6. *Final report (AF 02-14) and abstract is required for a one year (or less) research/project and report within 30 days after the completion of the research/project. For thesis, abstract is required and report within 30 days after the completion of the research/project.*
7. *Annual progress report is needed for a two- year (or more) research/project and submit the progress report before the expire date of certificate. After the completion of the research/project processes as No. 6.*

แบบสัมภาษณ์

เรื่อง การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

คำชี้แจง

1. การสัมภาษณ์ในครั้งนี้ เพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการวิจัยเรื่อง "นวัตกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า"
2. เอกสารแบบสัมภาษณ์นี้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ วิศวกรที่ปรึกษา วิศวกรผู้ออกแบบ/ติดตั้ง ผู้เชี่ยวชาญ ทั้งภาครัฐและเอกชน
3. ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ครั้งนี้ใช้เพื่อประกอบการวิจัยเท่านั้น โดยการประมวลผลรวมถึงการเรียบเรียงข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ครั้งนี้ในรายงานวิจัย จะไม่สามารถสืบค้นข้อมูลย้อนกลับเพื่อระบุตัวตนของผู้ให้ข้อมูลในลักษณะเฉพาะได้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูล

1. ชื่อ – สกุล ....
2. ตำแหน่ง .... หน่วยงาน ....
3. บทบาทหน้าที่หรือความเกี่ยวข้องของท่าน ต่อการผลิตไฟฟ้าจากระบบ PV ....
   ....
4. ระยะเวลา/ประสบการณ์ของท่านเกี่ยวกับ การออกแบบ/ติดตั้ง ระบบฯ ....
5. อื่น ๆ (ถ้ามี) ....

ตอนที่ 2 ข้อมูลหลักที่ต้องทราบ สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1. ข้อมูลสำคัญที่ท่านใช้ในการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ ประกอบด้วยข้อมูลด้านใดบ้าง
   1) พิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System: GPS) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่......................
      และท่านได้ข้อมูลจากแหล่งใด ....
   2) พื้นที่จริงสำหรับการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ (m^2) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่..............................
      และท่านได้สอบถามจากเจ้าของอาคาร หรือท่านได้ขนาดพื้นที่มาด้วยวิธีใด................................
      ....
   3) ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy demand)
      i. ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW_{peak}) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่..........................
         และท่านได้ข้อมูลจากแหล่งใด...
      ii. ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่..
         และท่านได้ข้อมูลจากแหล่งใด...
   4) คุณลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า (Load profile) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่..........................
      และท่านได้ข้อมูลจากแหล่งใด..

5) ระยะห่างของแผงโซล่าเซลล์ถึงอุปกรณ์ส่วนควบและแผงเมนสวิตซ์ (m) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่ .... และท่านได้ข้อมูลจากแหล่งใด..
6) อัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า (baht/kWh) ท่านใช้ในการคำนวณหรือไม่.. และท่านได้ข้อมูลจากแหล่งใด..

2. ท่านพิจารณาข้อมูลด้านอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient temperature) ในบริเวณที่ติดตั้งระบบ PV ด้วยหรือไม่ เพราะเหตุใด ....
ถ้ามีการคำนวณตามข้างต้น ท่านคิดว่าประสิทธิภาพระบบจากการคำนวณ จะมีความแม่นยำขึ้นหรือไม่ อย่างไร
....
และท่านคาดว่าจะได้ข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมมาจากแหล่งใด..
....

3. ท่านพิจารณาข้อมูลด้านปัญหาคุณภาพอากาศหรือปัญหาฝุ่นควัน (Air quality) เช่น PM2.5, PM10 ในแต่ช่วงฤดู ประกอบในการคำนวณการติดตั้งระบบ PV ด้วยหรือไม่ เพราะเหตุใด..
....
ถ้ามีการคำนวณตามข้างต้น ท่านคิดว่าประสิทธิภาพระบบจากการคำนวณ จะมีความแม่นยำขึ้นหรือไม่ อย่างไร
....
และท่านคาดว่าท่านจะได้ข้อมูลจากแหล่งใด..
....

4. ท่านใช้ข้อมูลอื่นใดเพิ่มเติมเพื่อการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบฯ อีกหรือไม่ ....
ถ้ามีกรุณาระบุว่าเป็นข้อมูลประเภทใดบ้าง และท่านนำข้อมูลดังกล่าวมาจากแหล่งใด...................................
....
....

ตอนที่ 3 ข้อมูลสารสนเทศในเชิงพื้นที่ สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1. ท่านนำข้อมูลจาก "Global solar atlas: GSA" มาใช้ในการคำนวณระบบ PV หรือไม่ และท่านมีความคิดเห็นอย่างไรต่อข้อมูลที่ได้จาก GSA เช่น ความเที่ยงตรงของข้อมูล ความทันสมัยของข้อมูล เป็นต้น ....
....
....

2. ท่านนำข้อมูลภูมิสารสนเทศ "Geographic information system: GIS" มาใช้ประกอบการคำนวณระบบ PV หรือไม่อย่างไร เช่น ข้อมูลการติดตั้งและผลิตไฟฟ้าจากระบบ PV ในประเทศไทย เป็นต้น ....
....
....

3. นอกจากข้อมูลสารสนเทศข้างต้น ท่านใช้ข้อมูลอื่นใดอีกในการออกแบบและประเมินระบบ PV กรุณาระบุข้อมูลที่ท่านใช้ และและท่านนำข้อมูลดังกล่าวมาจากแหล่งใด..
....
....

ตอนที่ 4 มาตรฐานทางวิศวกรรม และทฤษฎีทางวิศวกรรม สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1. มาตรฐานของประเทศไทย ท่านอ้างอิงสถาบัน/ฉบับ ใดบ้าง ....
2. มาตรฐานของต่างประเทศ ท่านอ้างอิงสถาบัน/ฉบับ ใดบ้าง ....
3. ท่านมีขั้นตอนในการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพระบบ PV อย่างไร กรุณาระบุขั้นตอนตามลำดับพร้อมทั้งทฤษฎีหรือสูตรการคำนวณที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน

....

ตอนที่ 5 เกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบ ของระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1. ท่านใช้หลักเกณฑ์ใด ในการเลือกอุปกรณ์หลักของระบบ PV
   - PV panel..............................
   - Inverter..............................
   - Charger..............................
   - Battery..............................
   - อุปกรณ์หลักอื่น..............................
2. ท่านใช้หลักเกณฑ์ใด ในการเลือกอุปกรณ์ส่วนควบของระบบ PV
   - MCCB..............................
   - MCB..............................
   - สายไฟฟ้า DC : ชนิด/ขนาด..............................
   - สายไฟฟ้า AC : ชนิด/ขนาด..............................
   - Distribution panel..............................
   - Instrument (kW, kWh, V, A, Hz & etc.)..............................
3. มีอุปกรณ์อื่นหรือไม่? ที่ท่านต้องพิจารณาเลือก ถ้ามีโปรดระบุอุปกรณ์และเกณฑ์ในการเลือก
   - 1)..............................
   - 2)..............................
4. การเลือกอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ส่วนควบเพื่อประกอบเป็นระบบ PV ท่านพิจารณาจากสเปคที่ผู้ผลิตระบุเพียงอย่างเดียวหรือไม่..............................ถ้าไม่ใช่ ท่านมีหลักในการเลือกอย่างไรเพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ของอุปกรณ์แต่ละชนิดเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ PV ....

   ....

   ....

   ....

   ....

   ....

ตอนที่ 6 เกณฑ์ในการพิจารณาความคุ้มค่า/ประสิทธิภาพ สำหรับการติดตั้งระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1. ดัชนีชี้วัดทางการเงินใดบ้าง ที่ท่านนำมาคำนวณเพื่อประกอบการตัดสินใจต่อการติดตั้งระบบ PV โปรดระบุดัชนีชี้วัดดังกล่าว..............................

   ....

   ....
2. ดัชนี้ชี้วัดทางด้านสังคม หรือด้านสิ่งแวดล้อมใดบ้าง ที่ท่านนำมาคำนวณเพื่อประกอบการตัดสินใจฯ โปรดระบุดัชนีชี้วัดดังกล่าว..............................

   ....

   ....

ตอนที่ 7 เครื่องมือสำหรับช่วยออกแบบและประเมินประสิทธิภาพ สำหรับการติดตั้งระบบ PV ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1. **ท่านใช้ Software ใดบ้าง สำหรับช่วยในการออกแบบระบบ PV โปรดระบุชื่อโปรแกรมดังกล่าว**..........................
....
....
2. จาก Software ข้างต้น **ท่านใช้ในวัตถุประสงค์หลักใดบ้าง และข้อคิดเห็นต่อการใช้งานในด้าน**
   2.1. **เพื่อทราบข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์** ....
   ....
   2.2. **เพื่อการคำนวณพลังงานที่ผลิตได้** ....
   ....
   2.3. **เพื่อการประเมินความคุ้มค่าในการติดตั้ง** ....
   ....
   2.4. **เพื่อการกำหนดคุณสมบัติ/จำนวน อุปกรณ์หลัก** ....
   ....
   2.5. **เพื่อการกำหนดคุณสมบัติ/จำนวน อุปกรณ์ส่วนควบ** ....
   ....
   2.6. **เพื่อการสร้างไดอะแกรมของระบบ PV อย่างอัตโนมัติ** ....
   ....
   2.7. **เพื่อการสร้างเอกสารข้อเสนอโครงการ (Project Proposal)** ....
   ....
   2.8. **เพื่อวัตถุประสงค์อื่น (โปรดระบุ)** ....
3. จากประสบการณ์**ที่ท่านได้ใช้** Software ข้างต้น **ท่านช่วยอธิบายถึง** จุดเด่น **ที่ได้รับจากการใช้งาน** ....
....
....
....
4. จากประสบการณ์**ที่ท่านได้ใช้** Software ข้างต้น **ท่านช่วยอธิบายถึง** จุดด้อย **ที่ได้รับจากการใช้งาน** ....
....
....
....
5. ในความเห็นของท่าน จาก Software **ที่มีอยู่ในปัจจุบัน** **<u>ควรเพิ่มเติมปัจจัยในการออกแบบใด หรือ มีฟังก์ชั่นใดเพิ่มขึ้นมา</u>** เพื่อการคำนวณการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบ PV ให้มีความใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการติดตั้งระบบ PV ไปแล้ว ....
....
....
....

####################

ภาคผนวก ค แบบสัมภาษณ์

(การศึกษาประสบการณ์ใช้และคุณสมบัติซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสัมภาษณ์

เรื่อง การศึกษาประสบการณ์ใช้และคุณสมบัติซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบและประเมินที่เหมาะสม

คำชี้แจง

1. การสัมภาษณ์ในครั้งนี้ เพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการวิจัยเรื่อง "นวัตกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า"
2. เอกสารแบบสัมภาษณ์นี้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ วิศวกรที่ปรึกษา วิศวกรผู้ออกแบบ/ติดตั้ง ผู้เชี่ยวชาญ ทั้งภาครัฐและเอกชน
3. ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ครั้งนี้ใช้เพื่อประกอบการวิจัยเท่านั้น โดยการประมวลผลรวมถึงการเรียบเรียงข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ครั้งนี้ในรายงานวิจัย จะไม่สามารถสืบค้นข้อมูลย้อนกลับเพื่อระบุตัวตนของผู้ให้ข้อมูลในลักษณะเฉพาะได้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูล

1. ชื่อ – สกุล ....
2. ตำแหน่ง ....
3. หน่วยงาน ....
4. วุฒิการศึกษา..
5. บทบาทหน้าที่หรือความเกี่ยวข้องของท่าน ต่อการออกแบบระบบ PV ....

   ....
6. ระยะเวลา/ประสบการณ์ของท่านเกี่ยวกับ การออกแบบ/ติดตั้ง ระบบฯ ....
7. วัตถุประสงค์ในการใช้งานซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบ..
8. อื่น ๆ (ถ้ามี) ....

ตอนที่ 2 ประสบการณ์ใช้งานซอฟต์แวร์หรือเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการช่วยคำนวณในการออกแบบและประเมิน

1. ท่านคาดหวังผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ โดยต้องการพารามิเตอร์ หรือ Output ที่สำคัญเพื่อต่อยอดในการคำนวณออกแบบระบบฯ อย่างไรบ้าง ....

   ....

   ....
2. ตัวแปรสำคัญด้าน Input ที่ท่านต้องป้อนเข้าสู่ซอฟต์แวร์มีตัวแปรใดบ้าง..

   ....

   ....

   ....

   ....

3. ท่านใช้โปรแกรมเสริมหรือเว็ปไซค์อื่นช่วยในการประเมินด้วยหรือไม่ ถ้ามีการใช้โปรดระบุและวิธีการใช้งานดังกล่าว

ตอนที่ 2 คุณสมบัติของซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณในการออกแบบและประเมินที่พึงประสงค์

1. ด้านการใช้งานซอฟต์แวร์ เช่น รูปลักษณ์ การแสดงผลหน้าจอ การป้อนข้อมูล ความยากง่ายในการใช้งาน เป็นต้น

----

2. ด้านฟังก์ชั่นของซอฟต์แวร์ เช่น ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ ฐานข้อมูลอัตโนมัติที่มีให้ ระบบเลือกผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

----

3. ด้านสิทธิ์การใช้งาน เช่น การจ่ายค่าสิทธิ์ ระยะเวลาการใช้งาน จำนวนข้อมูลที่ใช้งานได้ เป็นต้น

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

####################

ภาคผนวก ง แบบสอบถาม

(การศึกษาประสบการณ์ใช้และคุณสมบัติซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถามการวิจัย

เรื่อง การยอมรับเทคโนโลยีซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์

iDEPV

คำชี้แจง

1 การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาองค์ประกอบและการยอมรับเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ฯ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาระดับของการยอมรับเทคโนโลยี และระดับขององค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

2 เอกสารแบบสอบถามนี้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาทั้งภาครัฐและเอกชน ได้แก่ วิศวกรที่ปรึกษา วิศวกรผู้ออกแบบ/ติดตั้ง ผู้เชี่ยวชาญด้านโซล่าเซลล์ และวิศวกรไฟฟ้า

3 กรุณาทำเครื่องหมาย [/] ในช่องที่ท่านต้องการตอบ โดยเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือก มีดังนี้

[5] คือ ท่านเห็นด้วย/ทราบว่า ข้อความดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง มากที่สุด
[4] คือ ท่านเห็นด้วย/ทราบว่า ข้อความดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง มาก
[3] คือ ท่านเห็นด้วย/ทราบว่า ข้อความดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง ปานกลาง
[2] คือ ท่านเห็นด้วย/ทราบว่า ข้อความดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง น้อย
[1] คือ ท่านเห็นด้วย/ทราบว่า ข้อความดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง น้อยที่สุด

4 ซอฟต์แวร์สำหรับการ "ประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์" หรือเรียกย่อว่า "iDEPV" ซึ่งจะปรากฏในแบบสอบถามฉบับนี้

5 ข้อมูลในแบบสอบถามฉบับนี้ใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น และการประมวลผลการวิจัยจะแสดงข้อมูลในภาพรวม มิได้เฉพาะเจาะจงบุคคลใดบุคคลหนึ่ง และข้อมูลจากแบบสอบถามฉบับนี้จะถูกเก็บเป็นความลับและไม่มีการเปิดเผยต่อผู้อื่น

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ปิยะ นาควัชระ

ผู้วิจัย

แบบสอบถามส่วนที่ 1 : การนำเทคโนโลยีซอฟต์แวร์มาใช้เพื่อประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบ PV

1. ท่านรู้จักหรือเคยใช้งานซอฟต์แวร์การประเมินศักยภาพในการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือไม่

- ☐ ไม่ทราบและไม่เคยใช้งาน
- ☐ ทราบแต่ไม่เคยใช้งาน
- ☐ ทราบและเคยใช้งานเป็นบางครั้ง
- ☐ ทราบและเคยใช้งานเป็นประจำ

2. จากข้อที่ 1 หากท่านรู้จักหรือเคยใช้งานซอฟต์แวร์ กรุณาระบุชื่อซอฟต์แวร์ โดยเรียงลำดับตามที่ท่านชื่นชอบ

(โดย 1 คือชื่นชอบมากที่สุด และลำดับถัดไปรองลงมา)

1 ______________________________

2 ______________________________

3 ______________________________

3. เมื่อท่านออกแบบระบบฯ ท่านใช้ซอฟต์แวร์ช่วยในการดำเนินงานของท่านมากน้อยเพียงใด

- ☐ ใช้ทุกขั้นตอน (การนำเข้าข้อมูลพื้นฐานและความต้องการของลูกค้า ประมวลผล จนได้ข้อเสนอโครงการ)
- ☐ ใช้ในบางขั้นตอน (โปรดระบุขั้นตอนที่ท่านใช้งานโปรแกรม)

  ____

- ☐ ไม่ใช้ซอฟต์แวร์ (โปรดระบุเหตุผลที่ท่านไม่ใช้ซอฟต์แวร์)

  ____

4. รูปแบบของการได้สิทธิ์ในซอฟต์แวร์ที่ท่านใช้งาน เป็นแบบใด

- ☐ Commercial (ซื้อ License ได้สิทธิเต็มในการใช้งาน)
- ☐ Trial / Demo / Shareware (จำกัดจำนวนครั้ง/จำกัดระยะเวลา/จำกัดขนาดในการออกแบบ)
- ☐ Free ware (ใช้งานฟรี แต่อาจมีโฆษณา Pop-up ระหว่างใช้งาน)
- ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ ....

แบบสอบถามส่วนที่ 2 : การยอมรับเทคโนโลยี (Technology acceptance)

ข้อ	รายการข้อคำถาม	ระดับความคิดเห็น				
		น้อยที่สุด [1]	น้อย [2]	ปานกลาง [3]	มาก [4]	มากที่สุด [5]
1	**ประโยชน์ของระบบ iDEPV**	*Perceived Usefulness*				
1.1	ระบบ iDEPV จะช่วยลดเวลาในการดำเนินงานเพื่อประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ ของท่านลงได้	1	2	3	4	5
1.2	ท่านมีความมั่นใจว่า ระบบ iDEPV จะช่วยให้การประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ มีความถูกต้องและผลลัพธ์จะเป็นประโยชน์ในการติดตั้งระบบฯ ต่อไปได้	1	2	3	4	5
1.3	ท่านคิดว่าระบบ iDEPV จะช่วยลดขั้นตอนและความยุ่งยากซับซ้อนในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นข้อมูลก่อนการติดตั้งระบบฯ	1	2	3	4	5
1.4	ระบบ iDEPV สามารถช่วยลดความผิดพลาดของท่านเองในการคำนวณตามขั้นตอนต่าง ๆ ของการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	1	2	3	4	5
1.5	ระบบ iDEPV ช่วยให้การคำนวณและประมวลผลในการประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของท่านมีความรวดเร็วมากขึ้น	1	2	3	4	5
2	**ความง่ายของการใช้งานระบบ iDEPV**	*Perceived Ease of Use*				
2.1	ท่านคิดว่าในการเริ่มต้นเรียนรู้เพื่อใช้งานซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV จนได้ผลลัพธ์การคำนวณออกมา เป็นเรื่องง่ายและไม่ซับซ้อนต่อการเรียนรู้	1	2	3	4	5
2.2	ท่านคาดว่าจะสามารถแนะนำวิธีการใช้งานตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงการได้มาซึ่งผลลัพธ์การคำนวณ แก่ผู้อื่นที่มีความสนใจใช้งานซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV ได้	1	2	3	4	5
2.3	ท่านคิดว่าขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การป้อนข้อมูลจนถึงการประมวลผลลัพธ์ ในซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV มีความชัดเจนและง่ายต่อการใช้งาน	1	2	3	4	5
3	**ทัศนคติต่อการใช้งานระบบ iDEPV**	*Attitude Toward Using*				
3.1	ท่านคิดว่าซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV สามารถเป็นตัวช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	1	2	3	4	5
3.2	ท่านคิดว่าซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV ควรได้รับการสนับสนุนและนำมาใช้งานเพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ต่อไป	1	2	3	4	5
3.3	ท่านคิดว่าการนำซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV มาใช้ในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ จะเกิดผลดีต่อการทำงานของท่านในการประเมินระบบฯ	1	2	3	4	5

4	**ความต้องการใช้งานระบบ iDEPV**	*Behavioral Intention to Use*
4.1	ท่านตั้งใจจะใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เพื่อช่วยในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ สำหรับโครงการฯ ใหม่ที่ท่านรับผิดชอบ	1 2 3 4 5
4.2	ท่านตั้งใจจะใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เป็นเครื่องมือหลักในการทำงาน ด้านการออกแบบและประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	1 2 3 4 5
4.3	ท่านตั้งใจจะแนะนำบุคคลอื่นที่ท่านรู้จักให้ใช้ซอฟต์แวร์ระบบ iDEPV เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์	1 2 3 4 5

แบบสอบถามส่วนที่ 2 : ข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Recommendation)

หากท่านมีข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์ "iDEPV" เพื่อการประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์ กรุณากรอกรายละเอียดตามความคิดเห็นของท่าน (ถ้ามี) ดังนี้

....

....

....

....

....

แบบสอบถามส่วนที่ 3 : ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ

☐ น้อยกว่า 21 ปี ☐ 21 - 30 ปี ☐ 31 - 40 ปี
☐ 41 - 50 ปี ☐ 51 - 60 ปี ☐ มากกว่า 60 ปี

3. หน่วยงานต้นสังกัดของท่าน

☐ หน่วยงานภาครัฐ ☐ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ☐ หน่วยงานภาคเอกชน
☐ เจ้าของกิจการ/อาชีพอิสระ ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)..

4. ระดับการศึกษาสูงสุด

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท
☐ ปริญญาเอก ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)..

5. ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม งานไฟฟ้ากำลัง *(หากไม่มี กรุณาเว้นว่างและตอบคำถามในข้อถัดไป)*

☐ ภาคีวิศวกรพิเศษ ☐ ภาคีวิศวกร
☐ สามัญวิศวกร ☐ วุฒิวิศวกร

6. ประสบการณ์ของท่านเกี่ยวกับการออกแบบ / การติดตั้งระบบโซล่าเซลล์

☐ น้อยกว่า 1 ปี ☐ 1 - 2 ปี
☐ 3 - 4 ปี ☐ มากกว่า 4 ปี

7. จำนวนโครงการออกแบบ / ติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ ที่ท่านได้มีส่วนเกี่ยวข้อง

<u>คำตอบ</u> จำนวน .... โครงการ

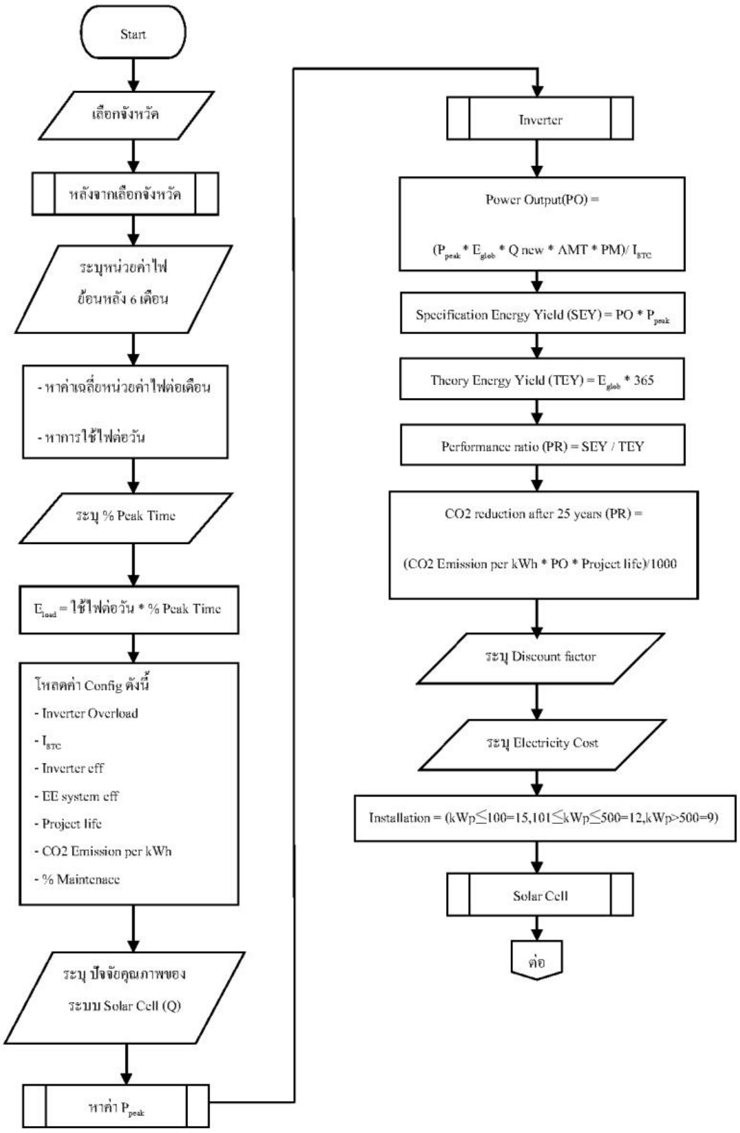
8. มูลค่าโครงการออกแบบ / ติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ ที่ท่านได้มีส่วนเกี่ยวข้อง

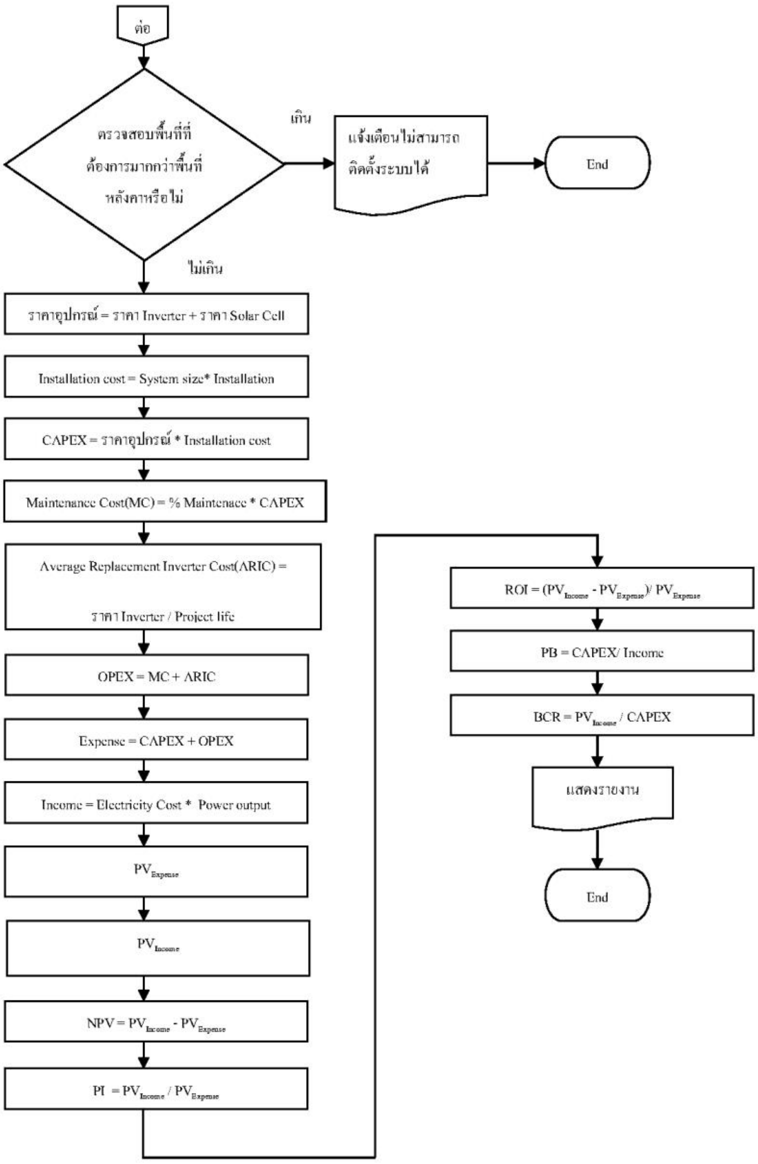
<u>คำตอบ</u> จำนวน .... บาท

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าในการตอบแบบสอบถามครั้งนี้

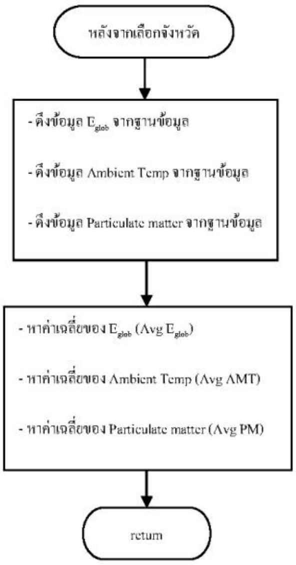
ภาคผนวก จ Software diagram

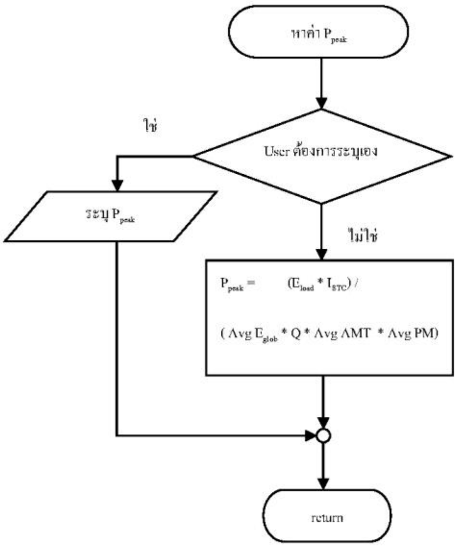
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

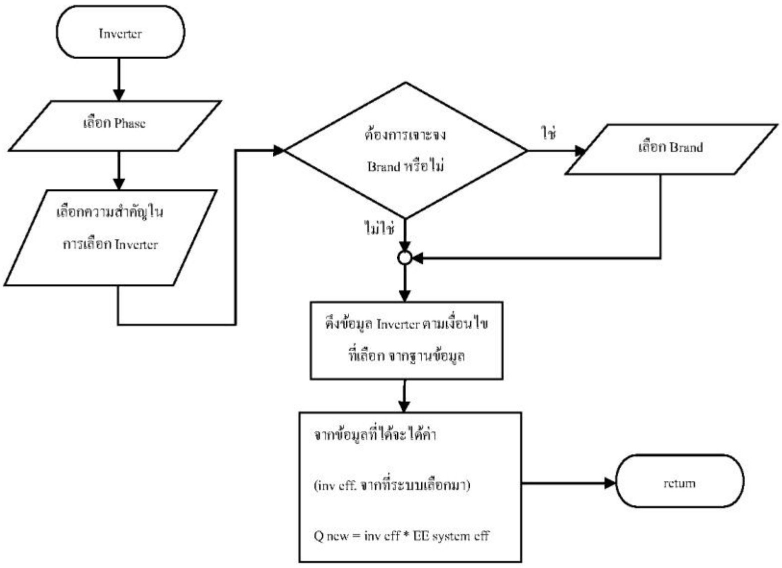

Start
เลือกจังหวัด
หลังจากเลือกจังหวัด
ระบุหน่วยค่าไฟ
ย้อนหลัง 6 เดือน
- หาค่าเฉลี่ยหน่วยค่าไฟต่อเดือน
- หาการใช้ไฟต่อวัน
ระบุ % Peak Time
E_load = ใช้ไฟต่อวัน * % Peak Time
โหลดค่า Config ดังนี้
- Inverter Overload
- I_STC
- Inverter eff
- EE system eff
- Project life
- CO2 Emission per kWh
- % Maintenace
ระบุ ปัจจัยคุณภาพของ
ระบบ Solar Cell (Q)
หาค่า P_peak
Inverter
Power Output(PO) =
(P_peak * E_glob * Q new * AMT * PM)/ I_STC
Specification Energy Yield (SEY) = PO * P_peak
Theory Energy Yield (TEY) = E_glob * 365
Performance ratio (PR) = SEY / TEY
CO2 reduction after 25 years (PR) =
(CO2 Emission per kWh * PO * Project life)/1000
ระบุ Discount factor
ระบุ Electricity Cost
Installation = (kWp≤100=15,101≤kWp≤500=12,kWp>500=9)
Solar Cell
ต่อ

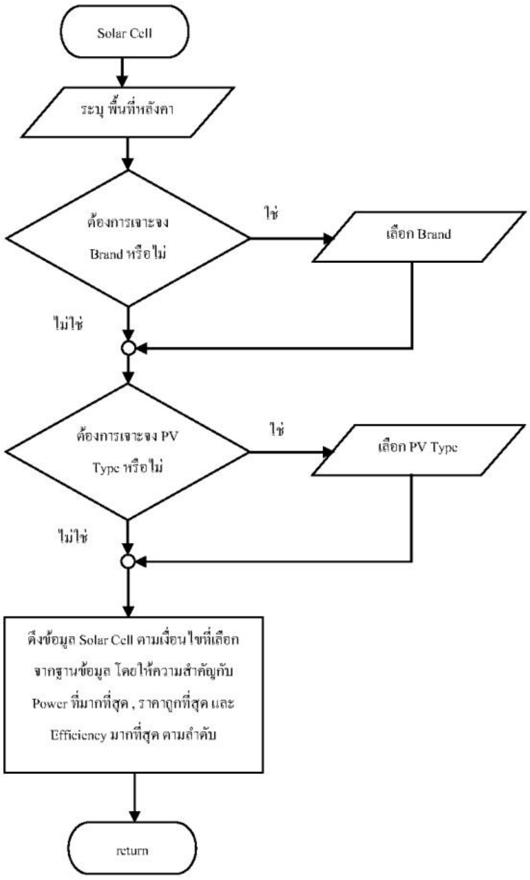


ต่อ
ตรวจสอบพื้นที่ที่ต้องการมากกว่าพื้นที่หลังคาหรือไม่
เกิน
แจ้งเตือนไม่สามารถติดตั้งระบบได้
End
ไม่เกิน
ราคาอุปกรณ์ = ราคา Inverter + ราคา Solar Cell
Installation cost = System size* Installation
CAPEX = ราคาอุปกรณ์ * Installation cost
Maintenance Cost(MC) = % Maintenace * CAPEX
Average Replacement Inverter Cost(ARIC) = ราคา Inverter / Project life
OPEX = MC + ARIC
Expense = CAPEX + OPEX
Income = Electricity Cost * Power output
$PV_{Expense}$
PV_{Income}
$NPV = PV_{Income} - PV_{Expense}$
$PI = PV_{Income} / PV_{Expense}$
$ROI = (PV_{Income} - PV_{Expense}) / PV_{Expense}$
PB = CAPEX/ Income
$BCR = PV_{Income} / CAPEX$
แสดงรายงาน
End


หลังจากเลือกจังหวัด
- ดึงข้อมูล E glob จากฐานข้อมูล
- ดึงข้อมูล Ambient Temp จากฐานข้อมูล
- ดึงข้อมูล Particulate matter จากฐานข้อมูล
- หาค่าเฉลี่ยของ E glob (Avg E glob)
- หาค่าเฉลี่ยของ Ambient Temp (Avg AMT)
- หาค่าเฉลี่ยของ Particulate matter (Avg PM)
return


หาค่า P peak
User ต้องการระบุเอง
ใช่
ระบุ P peak
ไม่ใช่
P peak = (E load * I STC) /
(Avg E glob * Q * Avg AMT * Avg PM)
return


Inverter
เลือก Phase
เลือกความสำคัญใน
การเลือก Inverter
ต้องการเจาะจง
Brand หรือไม่
ใช่
เลือก Brand
ไม่ใช่
ดึงข้อมูล Inverter ตามเงื่อนไข
ที่เลือก จากฐานข้อมูล
จากข้อมูลที่ได้จะได้ค่า
(inv eff. จากที่ระบบเลือกมา)
Q new = inv eff * EE system eff
return


Solar Cell
ระบุ พื้นที่หลังคา
ต้องการเจาะจง Brand หรือไม่
ใช่
เลือก Brand
ไม่ใช่
ต้องการเจาะจง PV Type หรือไม่
ใช่
เลือก PV Type
ไม่ใช่
ดึงข้อมูล Solar Cell ตามเงื่อนไขที่เลือก จากฐานข้อมูล โดยให้ความสำคัญกับ Power ที่มากที่สุด , ราคาถูกที่สุด และ Efficiency มากที่สุด ตามลำดับ
return

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายปิยะ นาควัชระ
วัน เดือน ปี เกิด	23 ตุลาคม 2517
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) รัฐประศาสนศาสตรบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรมนุษย์) รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารทั่วไป) ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (รัฐประศาสนศาสตร์) วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม)
ที่อยู่ปัจจุบัน	149/16 หมู่ 1 ต.บ้านกลาง อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี 12000
ผลงานตีพิมพ์	ปิยะ นาควัชระ. (2559). "โมเดลเชิงสาเหตุของการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงานตามโครงการพลังคิดสะกิดโลก ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาหรือเทียบเท่าในจังหวัดชลบุรี" วารสารสุทธิปริทัศน์ 30, 96 (ตุลาคม-ธันวาคม): 121-133. ปิยะ นาควัชระ. (2560). "แบบจำลองปัจจัยความสำเร็จของโครงการพลังงานชุมชนต้นแบบ" วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, Silpakorn University 10, 1 (มกราคม-เมษายน): 128-143 ปิยะ นาควัชระ. (2562). "นวัตกรรมระบบการประเมินเพื่อการพัฒนาความยั่งยืนของพลังงานชุมชนเชิงพื้นที่" วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, Silpakorn University 12, 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม): 1474-1493. ปิยะ นาควัชระ. (2562). "ตัวแบบสมการโครงสร้างการพัฒนาอย่างยั่งยืนของศูนย์การเรียนรู้ชุมชนปลอดขยะต้นแบบ" วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, Silpakorn University 12, 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม): 1494-1511. Kulachai, W., Narkwatchara, P., Siripool, P., & Vilailert, K. (2018, March). Internal communication, employee participation, job satisfaction, and employee performance. In 15th International Symposium on Management (INSYMA 2018). Atlantis Press. Narkwatchara, P., Ratanatamskul, C., & Chandrachai, A. (2020). Missing factors that are overlooked in designing a photovoltaic system. Paper presented at the Proceedings of the 2020 the 3rd International Conference on Computers in Management and Business.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University