

การวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา
โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ภาควิชาภูมิศาสตร์
คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ANALYSIS OF POTENTIAL FOR SOLAR ROOFTOP INSTALLATION USING
GEOINFORMATICS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Geography and Geoinformatics

Department of Geography

FACULTY OF ARTS

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
โดย	น.ส.เปรมใจ ชิบเข
สาขาวิชา	ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชนิตา ดวงยิหาว

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะอักษรศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเดช โชติอุดมพันธ์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรณี ชีวินศิริวัฒน์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชนิตา ดวงยิหาว)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ)	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปรมใจ ชิบเข : การวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยใช้
เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. (AN ANALYSIS OF POTENTIAL FOR SOLAR ROOFTOP
INSTALLATION USING GEOINFORMATICS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ชนิตา ดวงยิหวา

ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แต่เชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศส่วนมากยังเป็นเชื้อเพลิงจากทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปซึ่งสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ประกอบกับแนวโน้มการลดลงของต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าได้รับความนิยมในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิคโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่ มีพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารใช้การจำแนกขอบเขตหลังคาด้วยเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยสร้างแบบจำลองเพื่อวาดขอบเขตหลังคาอาคารโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 จากนั้นจึงนำฐานข้อมูลไปใช้วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่หลังคาทั้งหมดในพื้นที่ศึกษามีขนาดรวม 749,563.23 ตารางเมตร สามารถคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้ 86.14 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หมู่บ้านที่มีระดับศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับสูง ได้แก่ บ้านคลองชมพู่และบ้านลาดสิงห์ ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่า 20 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ผลการวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อแนวทางในการพัฒนาฐานข้อมูล การประมาณค่าพลังงาน และศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่อื่นได้



สาขาวิชา	ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6180351122 : MAJOR GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

KEYWORD: Geographic information systems, Geospatial Technology, renewable energy,
solar energy, Deep learning, Solar rooftop

Premjai Sipkea : AN ANALYSIS OF POTENTIAL FOR SOLAR ROOFTOP INSTALLATION
USING GEOINFORMATICS. Advisor: CHANITA DUANGYIWA, Ph.D.

Electrical energy consumption in Thailand is increasing. However, most of the fuel used to generate electricity in the country is nonrenewable, causing environmental pollution and adversely affecting human health. Furthermore, the declining trends in the cost of solar photovoltaic systems have driven the use of solar technology in recent years. This research aims to develop the roof database for the solar panel installation, evaluate the potential for solar rooftop installation based on physical and technical factors using geospatial technology, and develop a web application to present the energy and potential of solar rooftop installation. The study area is Tambon Tha It, Amphoe Pak Kret, Nonthaburi Province. Deep learning algorithms were applied to classify rooftop boundaries in order to construct a building rooftop database. The models were trained using WorldView-3 satellite images to determine the outline of the building's rooftops. The rooftop database was then used to calculate the quantity of electrical energy provided by solar rooftops and the potential for solar rooftop installation. The rooftop surface for the study location was estimated to be 749,563 m². The rooftop solar energy generation potential for the entire study site was evaluated as 86.14 GWh/year. According to the results, Khlong Chompoo Village and Lad Sing Village have a high potential for solar rooftop installation, with a solar rooftop energy potential of more than 20 GWh/year. The findings of this research could be used as a guideline for developing the database and evaluating the energy and potential of solar rooftop installation in other locations.

Field of Study: Geography and Geoinformatics Student's Signature

Academic Year: 2021 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีของอาจารย์ ดร. ชนิตา ดวงยิหาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการศึกษาและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ประสิทธิประสาทองค์ความรู้ด้านภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างสูงสุดต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์และการปฏิบัติงานในหน้าที่ต่อไป

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรณี ชีวินศิริวัฒน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ ประธานและกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณการไฟฟ้านครหลวงที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายผู้ศึกษาขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุน และพี่ น้อง เพื่อนๆ ที่ได้กล่าว นามในที่นี้ ซึ่งมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

เปรมใจ ชิบเข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สถานการณ์การใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย.....	6
2.2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน.....	7
2.3 รั้งสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	8
2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	9
2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell).....	9
2.4.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.4.3 ข้อดีและข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทย.....	10
2.4.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.4.5 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar rooftop system).....	12
2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	12
2.4.7 การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้บนหลังคาเฉลี่ยต่อวันบนหลังคา.....	15

2.4.8 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา.....	15
2.4.9 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี.....	15
2.5 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาศักยภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
2.6 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning).....	16
2.6.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน.....	17
2.6.2 เทคนิควิธี Mask R-CNN.....	18
2.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยค่าเฉลี่ยความแม่นยำ.....	18
2.8 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3.....	20
2.9 การจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลข้อมูลแผนที่.....	21
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 พื้นที่ศึกษา.....	28
3.1 ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ.....	28
3.2 สภาพภูมิอากาศ.....	29
3.3 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์.....	30
3.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	30
3.5 สภาพเศรษฐกิจและการประกอบอาชีพ.....	32
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	33
4.2 รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
4.3 ปรับแก้และประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเบื้องต้น.....	36
4.4 การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	37
4.4.1 การจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก.....	37
4.4.2 การปรับขอบเขตอาคารให้เรียบตรง.....	40
4.5 การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	41
4.5.1 ประเภทหลังคาในพื้นที่ศึกษา.....	41
4.5.2 ค่าการลดทอนของหลังคาประเภทมีมม.....	41
4.5.3 การคำนวณพื้นที่หลังคาชั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	41

4.5.4	ปัจจัยทางกายภาพ.....	42
4.5.5	ปัจจัยทางเทคนิค.....	43
4.5.6	การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา.....	43
4.5.7	การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา.....	44
4.5.8	การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาแยกตามรายเดือน.....	45
4.5.9	การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี.....	45
4.6	การวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	46
4.7	การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน.....	46
บทที่ 5	ผลการศึกษา.....	47
5.1	การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	47
5.1.1	การสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก.....	47
5.1.2	การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	48
5.1.3	การตรวจสอบแก้ไขข้อมูลและการปรับขอบเขตอาคารให้เรียบร้อย.....	49
5.1.4	ผลรวมของพื้นที่หลังคาในพื้นที่ศึกษา.....	50
5.2	การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	51
5.2.1	การวิเคราะห์หาพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม.....	51
5.2.2	ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่หลังคาเฉลี่ยต่อวัน.....	55
5.2.3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา.....	56
5.2.4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี.....	58
5.2.5	ศักยภาพของพื้นที่หมู่บ้านในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	60
5.3	การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ ArcGIS Online.....	61
5.4	อภิปรายผล.....	64
บทที่ 6	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	66
6.1	สรุปผลการวิจัย.....	66
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	73

ภาคผนวก ก. การจำแนกหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกด้วย ArcGIS Pro และ Jupyter Notebook..	74
ภาคผนวก ข หลังคาอาคารที่เหมาะสมรายหมู่บ้านในพื้นที่ศึกษา	111
ภาคผนวก ค แผนที่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี.....	117
ภาคผนวก ง การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน	123
ภาคผนวก จ สถิติจำนวนหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าและจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าแยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	128
ประวัติผู้เขียน	131



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้า	7
ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอน.....	11
ตารางที่ 3 ตารางวัดประสิทธิภาพ (Confusion matrix).....	19
ตารางที่ 4 คุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3.....	21
ตารางที่ 5 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี	30
ตารางที่ 6 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	33
ตารางที่ 7 ประเภทหลังคาอาคารที่เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน	39
ตารางที่ 8 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยและหน่วยขายไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย	42
ตารางที่ 9 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตำบลท่าอิฐ.....	45
ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average precision : AP) ของแต่ละแบบจำลอง.....	48
ตารางที่ 11 ประเภทหลังคาและร้อยละจำนวนหลังคา.....	52
ตารางที่ 12 จำนวนหลังคาและพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	53
ตารางที่ 13 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day).....	56
ตารางที่ 14 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day).....	57
ตารางที่ 15 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เหมาะสมใน 1 ปี.....	59
ตารางที่ 16 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี จำแนกตามหมู่บ้าน.....	60

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยปี 2560.....	8
ภาพที่ 2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	9
ภาพที่ 3 ประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์	10
ภาพที่ 4 โครงสร้างของการเรียนรู้เชิงลึก.....	17
ภาพที่ 5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน	17
ภาพที่ 6 กระบวนการทำงานหลักในการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์	18
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ค่าความแม่นยำและค่าความอ่อนไหวของ แบบจำลอง.....	19
ภาพที่ 8 แผนภาพแสดงแนวคิดระบบ Web GIS.....	22
ภาพที่ 9 พื้นที่ศึกษาตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี.....	29
ภาพที่ 10 การใช้ประโยชน์ที่ดินตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี.....	31
ภาพที่ 11 สัดส่วนการใช้ที่ดินในตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี.....	31
ภาพที่ 12 ภาพรวมขั้นตอนการศึกษา.....	35
ภาพที่ 13 ขั้นตอนการจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก.....	38
ภาพที่ 14 ลักษณะของหลังคาประเภทต่าง ๆ ที่เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน	38
ภาพที่ 15 ตัวอย่างโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง	39
ภาพที่ 16 ภาพตัวอย่างข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอนแบบจำลอง	47
ภาพที่ 17 ตัวอย่างการจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกจากแบบจำลองที่ 3 ..	48
ภาพที่ 18 เปรียบเทียบก่อนและหลังการตรวจสอบแก้ไขข้อมูล	49
ภาพที่ 19 ขอบเขตหลังคาอาคาร (a) ก่อนการปรับให้เรียบตรง และ (b) หลังการปรับให้เรียบตรง.	49
ภาพที่ 20 หลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษา	50

ภาพที่ 21 ผลรวมของพื้นที่หลังคาในพื้นที่ตำบลท่าอิฐ จำแนกตามหมู่บ้าน	51
ภาพที่ 22 เปรียบเทียบพื้นที่หลังคารวมและพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมรายหมู่บ้าน	54
ภาพที่ 23 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	54
ภาพที่ 24 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)	55
ภาพที่ 25 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)	57
ภาพที่ 26 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาจำแนกเป็นรายเดือน	58
ภาพที่ 27 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เหมาะสมใน 1 ปี (kWh/year) .	59
ภาพที่ 28 ศักยภาพของพื้นที่หมู่บ้านในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	61
ภาพที่ 29 เว็บแอปพลิเคชัน แสดงชั้นข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา	62
ภาพที่ 30 คำอธิบายข้อมูลสำหรับชั้นข้อมูลหลังคาอาคาร	62
ภาพที่ 31 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยโดยแยกรายเดือน	63
ภาพที่ 32 คำอธิบายข้อมูลชั้นข้อมูลศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน แต่เชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศส่วนมากยังเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปซึ่งสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ รัฐบาลจึงประกาศนโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558 - 2579 (Barreira et al., 2017; TDRI, 2021; การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ก๊าซชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) พลังงานแสงอาทิตย์กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียน ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และการพัฒนาของเทคโนโลยีทำให้ราคาอุปกรณ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มถูกลงในปัจจุบัน (นพดล ชวนไชยะกุล, 2555)

พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลรวมทั้งเมืองใหญ่อื่นๆ มักมีสัดส่วนพื้นที่ชุมชนเมืองและที่อยู่อาศัยค่อนข้างมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) จึงมีพื้นที่จำกัดในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ดังนั้นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้พื้นที่ว่างบนหลังคาที่อยู่อาศัยหรือโรงงานอุตสาหกรรมจึงเป็นทางเลือกสำหรับประชาชนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดเพื่อใช้ในครัวเรือน หากมีไฟฟ้าที่ผลิตได้เหลือใช้อาจขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับการไฟฟ้า ในการลงทุนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ประชาชนส่วนมากต้องการทราบข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ ความเหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะได้รับ ในขณะเดียวกันหน่วยงานที่มีหน้าที่จำหน่ายและรับซื้อไฟฟ้าจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละพื้นที่เพื่อใช้ในการวางแผนต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ประกอบด้วย ปัจจัยด้านกายภาพซึ่งเป็นลักษณะทางภูมิศาสตร์และอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ เช่น ละติจูด ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (Bódis et al., 2019) ปัจจัยด้านคุณลักษณะของหลังคา เช่น ขนาดพื้นที่ของหลังคา ความชันของหลังคา ทิศทางการวางตัวของหลังคา และความสูงของอาคาร ซึ่งมีผลต่อการคำนวณจำนวนและเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Margolis et al., 2017; จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์, 2564) และปัจจัยทางเทคนิค เช่น ชนิดของ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดของอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (พีระวุฒิ ชินวรรังสี และคณะ., 2558)

ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เป็นพื้นที่เขตปริมณฑลซึ่งมีธุรกิจบ้านจัดสรรเป็นจำนวนมาก ข้อมูลการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลเป็นที่อยู่อาศัยถึงร้อยละ 67 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในพื้นที่ 20.33 เมกะวัตต์ (การไฟฟ้านครหลวง, 2564) และมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับตำบลประมาณ 18 เมกะจูลตารางเมตรต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและสามารถนำไปเป็นพื้นที่ต้นแบบของการวิเคราะห์เพื่อขยายผลหรือนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นต่อไปได้

ปัจจุบันมีงานวิจัยส่วนหนึ่งที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics) เพื่อศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์ และวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญคือข้อมูลคุณลักษณะของหลังคาซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลหลายรูปแบบ เช่น ข้อมูลจุดเชิงเลขจากระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Margolis et al.) และข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวสามมิติ (Digital Surface Model : DSM) ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์หาคุณลักษณะของหลังคาที่มีรายละเอียดสูง ได้แก่ ค่าความชันของหลังคา ทิศทางของหลังคา และพื้นที่หลังคา (Latif et al., 2012) แต่การใช้ข้อมูล LiDAR ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากมีราคาสูงและมีใช้งานเพียงบางพื้นที่ จึงมีงานวิจัยส่วนหนึ่งใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมความละเอียดสูง เช่น WorldView-2 และเว็บแอปพลิเคชัน Mapbox ในการจำแนกข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อกำหนดขอบเขตและคุณลักษณะของหลังคา เช่น Ninsawat and Hossain (Ninsawat & Hossain) ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-2 จำแนกขอบเขตหลังคาเพื่อวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และความคุ้มค่าในการลงทุนในเขตจตุจักร นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ได้จากการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีใหม่ที่น่าสนใจเพื่อจำแนกข้อมูลวัตถุออกจากภาพในงานทางด้านภูมิสารสนเทศ สามารถนำมาใช้จำแนกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมรายละเอียดสูงจาก Mapbox เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของหลังคาได้ (Sampath et al., 2019) โดยสร้างแบบจำลองที่มีการตรวจจับวัตถุในภาพได้ดีขึ้น และใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งช่วยให้วิเคราะห์ข้อมูลได้สะดวกมากยิ่งขึ้น (Tiede et al., 2021)

งานวิจัยนี้ต้องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและวิธีการเรียนรู้เชิงลึกในการจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่อวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้ง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค รวมทั้งพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจให้แก่ผู้สนใจติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เป็นแนวทางวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวางแผนการผลิตไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพลังงานของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 พัฒนารฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

1.2.2 วิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค

1.2.3 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

พัฒนารฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ นารฐานข้อมูลอาคารมาวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระดับศักยภาพของหลังคาที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีพื้นที่ศึกษาคือ ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี มีขนาดพื้นที่รวม 5.76 ตารางกิโลเมตร

1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่

1) ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ความละเอียดจุดภาพ 30 เซนติเมตร (การไฟฟ้านครหลวง, 2562) บันทึกภาพเดือนมีนาคม พ.ศ.2562

2) ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับตำบล ปี 2560 ประกอบด้วย ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันและรายเดือน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การจำแนกหลังคาอาคารโดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) วิธีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิคที่ส่งผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าบนหลังคา และการจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.4.2 สร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยมีแบบจำลองในการจำแนกหลังคาอาคารจำนวน 10 แบบจำลอง ตามจำนวนรอบของการเรียนรู้ (Epoch) ที่แตกต่างกัน

1.4.3 คัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการจำแนกหลังคาอาคาร โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average Precision : AP) ซึ่งเป็นค่าสำหรับประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง เพื่อนำมาใช้ในการจำแนกหลังคาอาคารและนำไปคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาต่อไป

1.4.4 แบ่งหลังคาในพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 ประเภท คือหลังคาขนาดใหญ่ (หลังคาประเภทแบนราบ) และหลังคาขนาดเล็กซึ่งเป็นหลังคาที่อยู่อาศัยปกติ (หลังคาประเภทมีมุม) และคำนวณหาพื้นที่หลังคาชั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสำหรับหลังคาขนาดเล็กและคัดเลือกหลังคาที่มีขนาดเหมาะสม

1.4.5 คำนวณพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาในพื้นที่ศึกษา

1.4.6 คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาโดยใช้ปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค ปัจจัยทางกายภาพประกอบด้วย พื้นที่หลังคาที่ได้จากการจำแนกหลังคาโดยใช้แบบจำลอง และข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ปัจจัยทางเทคนิคประกอบด้วย ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.7 วิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี โดยจำแนกเป็นรายหมู่บ้าน

1.4.8 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ฐานข้อมูลพื้นที่ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษา

1.5.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.5.3 สามารถนำแนวทางการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าและศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถานการณ์การใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน รั้งสีดวงอาทิตย์และปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกในการตรวจจับวัตถุจากภาพ การขึ้นรูปหลังคาอาคารด้วยเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และการจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาและระดับศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

2.1 สถานการณ์การใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

ปัจจุบันความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (System Peak) ในปี 2564 เมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2564 อยู่ที่ระดับ 31,023 เมกะวัตต์ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.2 เมื่อเทียบกับปีก่อน) การใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ (ร้อยละ 45) อยู่ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.5 จากการฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลก ส่งผลให้การผลิตสินค้าเพื่อส่งออกขยายตัวได้ดี ส่วนการใช้ในครัวเรือนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.7 เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 ที่ส่งผลให้ยังคงมีมาตรการ Work From Home และการจำกัดการเดินทาง ขณะที่การใช้ไฟฟ้าในภาคธุรกิจลดลงร้อยละ 7 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2564) สำหรับสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า ประเทศไทยมีการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า ร้อยละ 57.55 ถ่านหิน ร้อยละ 23.23 พลังงานหมุนเวียน (พลังน้ำ, อื่นๆ) ร้อยละ 17.66 น้ำมันเตา ร้อยละ 0.26 น้ำมันดีเซล ร้อยละ 0.14 และนำเข้าจากต่างประเทศ (เช่น ลาว และมาเลเซีย) ร้อยละ 1.16 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) โดยภาพรวมแล้ว พบว่าประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 81.18 ซึ่งเชื้อเพลิงกลุ่มดังกล่าวจัดเป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (TDRI, 2021)

ตารางที่ 1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้า ในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี 2564 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564)

ประเภทเชื้อเพลิง	สะสมเดือนมกราคม - สิงหาคม 2564	
	จำนวน (ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ร้อยละ
ก๊าซธรรมชาติ	75,552.61	57.55
ถ่านหิน (รวมลิกไนต์)	30,499.15	23.23
พลังงานหมุนเวียน (พลังน้ำ, อื่นๆ)	23,185.60	17.66
น้ำมันเตา	341.32	0.26
น้ำมันดีเซล	185.42	0.14
อื่นๆ (สปป.ลาว, มาเลเซีย, ลำตะคองชลภาวัฒนา)	1,517.02	1.16
รวม	131,281.12	100.00

2.2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

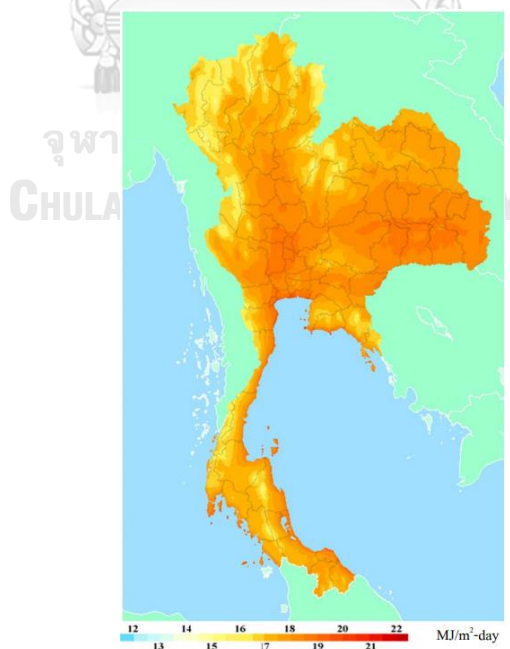
การผลิตไฟฟ้าในยุคปัจจุบันกำลังเผชิญกับปัญหาและความท้าทายหลายรูปแบบ เช่น ปัญหาสภาพแวดล้อม มลภาวะเป็นพิษ ทรัพยากรธรรมชาติที่ลดลง ซึ่งสวนทางกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพื่อรองรับการขยายตัวของชุมชนเมือง แนวทางการผลิตไฟฟ้าที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกให้ความสนใจ รวมถึงประเทศไทย ซึ่งกระทรวงพลังงานได้มีนโยบายส่งเสริมและปรับแผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) จาก 2,000 เมกะวัตต์ (2,628 ล้านหน่วย) เป็น 3,000 เมกะวัตต์ (3,942 ล้านหน่วย) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทยต่างมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ตัวอย่างเช่น โครงการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) สำหรับภาคประชาชน ของการไฟฟ้านครหลวง (การไฟฟ้านครหลวง, 2565) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2565) โดยรับซื้อไฟฟ้าในอัตรา 2.20 บาทต่อหน่วย มีระยะเวลารับซื้อไฟฟ้า 10 ปี (คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2565) รวมถึงการส่งเสริมให้ประชาชนผลิตไฟฟ้าใช้เองโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในที่อยู่อาศัยเพื่อบรรเทาภาระค่าไฟฟ้าและสามารถนำส่วนที่เหลือมาขายเข้าระบบได้ โดยเป็น

ส่วนหนึ่งในมาตรการลดการพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ผันผวน และมีราคาสูงจากผลของภาวะวิกฤตการณ์ราคาพลังงานโลกที่กำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้

2.3 รังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) ของพื้นที่หนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น ได้มีการศึกษาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นที่โลกเพื่อใช้เป็นแนวทางส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยปัจจุบันมีการพัฒนาเครือข่ายสถานีวิจัยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม 38 สถานีทั่วประเทศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) เพื่อให้มีข้อมูลความเข้มรังสีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการวิจัย และประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ปี 2560 ของประเทศไทย พบว่า การกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด (18-20 MJ/m²-day) จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ (ภาพที่ 1) สำหรับค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m²-day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

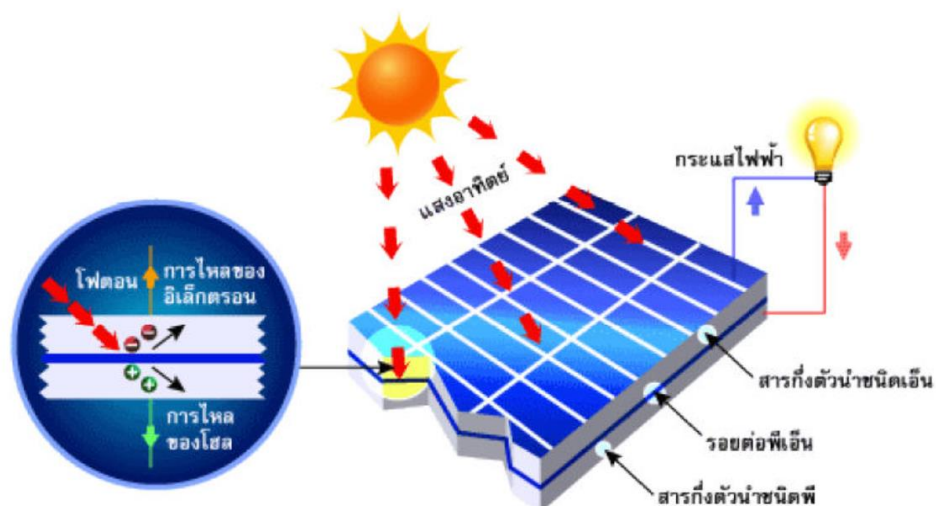


ภาพที่ 1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยปี 2560 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน ซึ่งมีราคาถูกและมีมากบนพื้นโลก มาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อมีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น (ภาพที่ 2) เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน จึงสามารถนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันได้ (กรมประชาสัมพันธ์, 2564)



ภาพที่ 2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Eastern Power Group, 2022)

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่า ไม่มีของเสียที่จะทำให้เกิดมลพิษขณะใช้งาน เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่มีอาการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่มีปัญหาด้านความสั่นไหว หรือต้องการการบำรุงรักษาเหมือนอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยน้ำมันดีเซล นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ยังมีน้ำหนักเบา จึงทำให้ได้อัตราระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักได้ดีที่สุด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564)

2.4.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งประเภทจากวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลัก ได้แก่

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิคอน ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ Monocrystalline Silicon Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรกที่ได้รับการผลิต และจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ มีลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนหนาประมาณ 300 ไมครอน และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) มีลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อลดต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว โดยยังคงคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานใกล้เคียงกับแบบผลึกเดี่ยวมากที่สุด ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะนิยมใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้
- 2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้น เพื่อประหยัดต้นทุนและเวลาในการผลิต เนื่องจากมีลักษณะเป็นฟิล์มแผ่นบาง มีความหนาเพียง 0.5 ไมครอน น้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นกว่าแบบผลึก เหมาะกับการใช้ในโครงการโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
- 3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 20-25



Single Crystalline Silicon Solar Cell
Solar Cell



Polycrystalline Silicon Solar Cell



Amorphous Silicon

ภาพที่ 3 ประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Eastern Power Group, 2022)

2.4.3 ข้อดีและข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทย

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอน ซึ่งมีทั้งแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Solar Cell) และแบบผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) เนื่องจากสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีในพื้นที่ที่มีแสงแดดจัด มี

ราคาไม่สูงมาก สามารถต่อพ่วงกับอุปกรณ์ควบคุมและวงจรไฟฟ้าได้หลากหลาย มีความทนทานสูง และมีอายุการใช้งานยาวนาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564) ข้อดีและข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวม มีรายละเอียดดังสรุปในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอน

ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ข้อดี	ข้อเสีย	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon Solar Cell)	<ul style="list-style-type: none"> มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกประเภท ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งไม่มาก มีอายุการใช้งานนาน มีสมรรถนะการทำงานในสภาวะที่มีแสงน้อยได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น 	<ul style="list-style-type: none"> มีราคาแพง เพราะใช้ซิลิคอนจำนวนมากในการผลิต ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 	12.5-15
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell)	<ul style="list-style-type: none"> วิธีการผลิตไม่ซับซ้อน ใช้งานในที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ราคาถูกกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว 	<ul style="list-style-type: none"> ประสิทธิภาพต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว 	11-14

ที่มา : ดัดแปลงจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (ประสิทธิ์ นางทิน, 2562)

2.4.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่

1) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

2) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบ

จำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3) การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ (กรมประชาสัมพันธ์, 2564)

2.4.5 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar rooftop system)

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar rooftop system) หรือ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออนกริด (ON-Grid system) เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่อยู่อาศัย โรงงาน หรืออาคารต่างๆ และมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter on grid) ซึ่งจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร หรืออาจเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าต่อไป การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา จึงเป็นประโยชน์ต่อเจ้าของอาคาร เนื่องจากสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าและสร้างรายได้เพิ่มเติมให้เจ้าของอาคารได้ นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อสังคม เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด ไม่เกิดมลภาวะขณะผลิตกระแสไฟฟ้า จึงช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564) การทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา มีอุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell panel) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เก็บกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไว้
- เครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar charge controller) ทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่และควบคุมการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้า
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Power inverter) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (ประสิทธิ์, 2565)

2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัย คือปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางเทคนิค โดยปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ที่ตั้งของพื้นที่ เช่น พิกัดละติจูดของพื้นที่ หรือสภาพภูมิอากาศ ที่ตั้งของพื้นที่ต่างกัน

จะทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน นอกจากนั้น ลักษณะของพื้นที่ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ขนาดพื้นที่ ทิศทางของพื้นที่ การถูกบดบัง หรือ ความชันของพื้นที่ที่มีผลต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับเช่นกัน การวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา จึงมีปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ขนาดพื้นที่หลังคา ทิศทางของหลังคา ความชัน การถูกบดบังจากอาคารอื่น (Latif et al., 2012)

ปัจจัยทางเทคนิค ได้แก่ ชนิดของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดของอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า (Panel efficiency) ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการเลือกนำมาใช้งาน ควรเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ สำหรับอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าโดยปกติจะมีค่าการสูญเสียจากการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Performance ration) ทำให้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (พีระวุฒิ ชินวรรังสี และคณะ, 2558)

2.4.6.1 ปัจจัยทางกายภาพ

1) ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หากพื้นที่มีรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบมากจะสามารถนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งานได้มาก นอกจากนี้ปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่จะมีการเปลี่ยนแปลงตามวัน เวลาและฤดูกาลในรอบปี โดยในแต่ละวันปริมาณรังสีดวงอาทิตย์จะสูงสุดในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์มีมุมตกกระทบเป็นมุมฉากหรือเกือบฉากกับพื้นที่ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์จะน้อยลงในช่วงที่ดวงอาทิตย์เพ็ชขึ้นหรือกำลังจะตก ซึ่งเป็นช่วงที่รังสีดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำกับพื้นที่ ดังนั้นรังสีดวงอาทิตย์จะเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนมีปริมาณสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน และค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งพระอาทิตย์ตกดิน นอกจากนี้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เช่น การถูกบดบังจากเมฆ มีผลทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในพื้นที่ลดน้อยลง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2564) ในพื้นที่ศึกษา ตำบลท่าอิฐ มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน

2) ขนาดของพื้นที่หลังคาอาคาร

พื้นที่หลังคาอาคารที่ใช้ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากหากพื้นที่ใกล้เคียงกัน มีสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศที่เหมือนกัน ขนาดพื้นที่ที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่ทำให้เกิดความต่างของ

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละหลังคาอาคาร (ศูนย์ประสานงานออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน, 2565)

3) ทิศทางของหลังคา

เนื่องจากประเทศไทย ตั้งอยู่ซีกโลกเหนือ แนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะเป็นการอ้อมไปทางทิศใต้ ทำให้ทิศใต้ เป็นทิศที่ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์สูงสุด เหมาะสำหรับเป็นทิศทางที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนทิศเหนือ เป็นทิศทางที่ได้รับแสงอาทิตย์น้อยที่สุด ถือเป็นทิศทางที่ไม่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์, 2564)

4) มุมที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อวางแผงตั้งฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางตลอดทั้งวัน ทำให้ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะปรับมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ โดยทั่วไปตำแหน่งมุมที่ดีที่สุดสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็น การวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำมุมเอียงกับพื้นราบ เท่ากับละติจูดของพื้นที่นั้นๆ สำหรับพื้นที่บริเวณศูนย์สูตรคือการวางบนพื้นราบ (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, 2558)

2.4.6.2 ปัจจัยทางเทคนิค

1) ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency)

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการใช้งานจริง จำเป็นต้องมีการคำนึงถึงความคุ้มค่าในการติดตั้ง ซึ่งจะพิจารณาจากค่าผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่ติดตั้งต่อราคา โดยผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่ติดตั้งต่อราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลอง พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมมีค่าผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่ติดตั้งต่อราคาสูงที่สุด (พีระวุฒิ ชินวรรังสี et al., 2558) มีค่าผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่ติดตั้งต่อราคาสูงที่สุด สามารถทนอุณหภูมิได้สูงจึงเหมาะสมสำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมในการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาในพื้นที่ศึกษา

2) ค่าสมรรถนะของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio)

ค่าสมรรถนะของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดจากการสูญเสีย (Loss) ของระบบ เช่น การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์และหม้อแปลง สูญเสียจากการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เข้ากัน การสูญเสียจากจากไดโอดและจุดเชื่อมต่อ การสูญเสียจากการเข้าสายด้านกระแสตรง และการสูญเสียจากการเข้าสายด้านกระแสลับ ซึ่งค่าสมรรถนะของระบบจะอยู่ระหว่าง 0.80 – 0.90 (International Energy Agency, 2019)

2.4.7 การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้บนหลังคาเฉลี่ยต่อวันบนหลังคา

สามารถคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ต่อวันบนหลังคา โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ($\text{kWh/m}^2\text{-day}$) กับขนาดของพื้นที่หลังคาอาคาร (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, 2558) พลังงานที่ได้จะมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day) ดังสมการที่ 1

$$G = I \times A \quad (1)$$

โดยที่ G = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

I = ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ($\text{kWh/m}^2\text{-day}$)

A = พื้นที่หลังคา (m^2)

2.4.8 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา คำนวณโดยใช้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day) ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency) และค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Ratio) (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, 2558) พลังงานที่ได้จะมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day) ดังสมการที่ (2)

$$E = G \cdot \eta \cdot pr \quad (2)$$

โดยที่ E = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

G = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

η = ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency)

pr = สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio)

2.4.9 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี คำนวณโดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (kWh/day) คูณกับจำนวนวันใน 1 ปี พลังงานที่ได้จะมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี (kWh/year) คำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$E_{yr} = E \times 365 \quad (3)$$

โดยที่ E_{yr} = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (kWh/year)

E = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

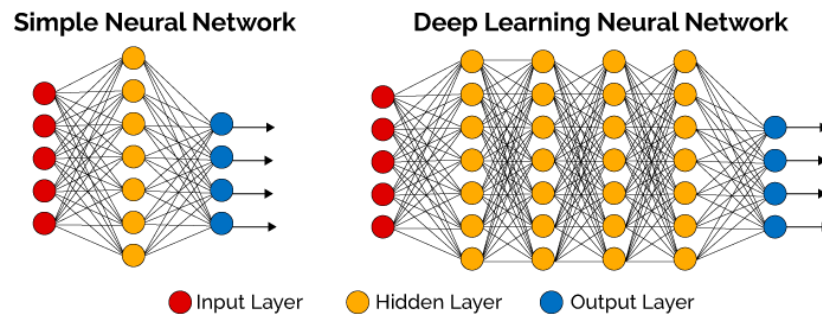
2.5 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาศักยภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันมีงานวิจัยส่วนหนึ่งที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics) เพื่อศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์ และวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ใน การวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญคือข้อมูลคุณลักษณะของหลังคาซึ่งสามารถ

วิเคราะห์ที่ได้จากข้อมูลหลายรูปแบบ เช่น ข้อมูลจุดเชิงเลขจากระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ (Light Detection and Ranging : LiDAR) สามารถใช้วิเคราะห์หาคุณลักษณะของหลังคาที่มีรายละเอียดสูง (Latif et al., 2012) แต่การใช้ข้อมูล LiDAR ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากมีราคาสูงและมีใช้งานเพียงบางพื้นที่ จึงมีงานวิจัยส่วนหนึ่งใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในการจำแนกข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อกำหนดขอบเขตและคุณลักษณะของหลังคา เช่น Ninsawat and Hossain (2016) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงจำแนกขอบเขตหลังคาเพื่อวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และความคุ้มค่าในการลงทุนในเขตจตุจักร นอกจากนี้ยังมีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีใหม่ที่นำมาใช้เพื่อจำแนกข้อมูลวัตถุออกจากภาพในงานทางด้านภูมิสารสนเทศ สามารถนำมาใช้จำแนกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมรายละเอียดสูงเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของหลังคาได้ (Sampath et al., 2019) โดยสร้างแบบจำลองที่มีการตรวจจับวัตถุในภาพได้ดีขึ้น และใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งช่วยให้วิเคราะห์ข้อมูลได้สะดวกมากยิ่งขึ้น (Tiede et al., 2021)

2.6 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

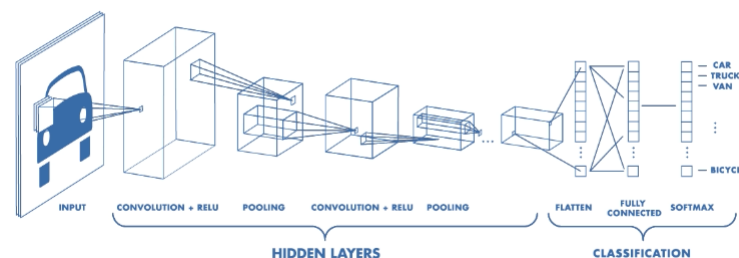
การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นชุดคำสั่งที่สร้างขึ้นมาเพื่อการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ โดยชุดคำสั่งนี้จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากและเรียนรู้ลักษณะของข้อมูลที่มนุษย์ป้อนเข้าไป การเรียนรู้เชิงลึกใช้หลักการแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) ที่ประกอบด้วย Node หลายชั้น (ภาพที่ 4) และใช้การประมวลผลแบบขนานที่ทำให้สามารถประมวลผลได้จำนวนมาก ช่วยให้การเรียนรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถให้ผลลัพธ์ในการตัดสินใจและคาดการณ์ได้ดียิ่งขึ้น (ณัฐวดี หงษ์บุญมี, 2564) การเรียนรู้เชิงลึกเป็นเทคนิควิธีใหม่ที่นำมาใช้เพื่อจำแนกข้อมูลวัตถุออกจากภาพ สามารถทำได้โดยมีกระบวนการที่หลากหลาย เช่น การใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network : CNN) การใช้เทคนิควิธี Mask-RCNN สร้างแบบจำลองที่มีการตรวจจับวัตถุในภาพที่ถูกพัฒนาให้สามารถตรวจจับภาพได้ดีขึ้นและสามารถทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งทำให้วิเคราะห์ข้อมูลได้สะดวกมากยิ่งขึ้น (Tiede et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิควิธี U-Net CNN จำแนกข้อมูลขอบเขตหลังคาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมความละเอียดสูงในประเทศอินเดีย เพื่อหาคุณลักษณะของหลังคาและนำไปคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาในพื้นที่ศึกษา (Sampath et al., 2019)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของการเรียนรู้เชิงลึก (Xing & Du, 2019)

2.6.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolution Neural Networks: CNN)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน เป็นรูปแบบหนึ่งในการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยที่ CNN จะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองพื้นที่เป็นที่ย่อย และนำแต่ละกลุ่มของพื้นที่ย่อยมาผสมกัน เพื่อวิเคราะห์ว่าสิ่งที่เห็นอยู่เป็นอะไร โดยปกติการมองพื้นที่ย่อยของมนุษย์จะมีการแยกคุณลักษณะ (feature) ของพื้นที่ย่อยนั้น เช่น ลายเส้น และการตัดกันของสี ซึ่งการที่มนุษย์รู้ว่าพื้นที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือมีสีตัดกัน เพราะมนุษย์ดูทั้งจุดที่สนใจและบริเวณโดยรอบประกอบกัน ซึ่งใน CNN มีกระบวนการสกัดคุณลักษณะของวัตถุในภาพ โดยใช้ Convolutional Layer ผ่านทางตัวกรอง (filter) หรือ เคอร์เนล (kernel) ในแต่ละ Convolutional Layer ซึ่งผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบการสอนให้กับแบบจำลอง เพียงเตรียมข้อมูลภาพตัวอย่างที่ต้องการไว้ แล้วนำภาพเหล่านั้นป้อนเข้าสู่กระบวนการ CNN จะเรียนรู้อัตโนมัติ และหากผู้ใช้ต้องการทำนายวัตถุจากภาพ ก็สามารถทำได้โดยการป้อนรูปที่ต้องการทำนายหรือตรวจจับวัตถุเข้าสู่ CNN คอมพิวเตอร์จะทำการเรียนรู้และเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่และแสดงผลลัพธ์ออกมา (Natthawat, 2019)



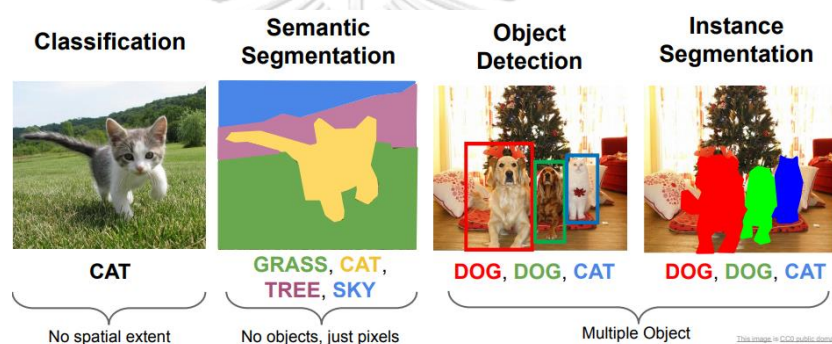
ภาพที่ 5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Natthawat P, 2019)

2.6.2 เทคนิควิธี Mask R-CNN

กระบวนการทำงานหลักในการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer vision) แบ่งออกได้เป็น 4 ด้าน ได้แก่

- Classification คือ การระบุว่าภาพที่เห็นอยู่นี้เป็นภาพอะไร
- Semantic segmentation คือ การจำแนกแต่ละ pixel ในภาพ ว่าเป็น pixel ของวัตถุใด
- Object detection คือ การหาตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ
- Instance segmentation คือ การระบุว่าวัตถุต่างๆภายในภาพอยู่ใน pixel ใดบ้าง

เทคนิค Mask R-CNN เป็นกระบวนการที่ออกแบบมาเพื่อตรวจจับและแบ่งส่วนของวัตถุ และระบุว่าวัตถุภายในภาพอยู่ในพิกเซลใด (Instance Segmentation) ซึ่งการทำงานของ Mask R-CNN เป็นเหมือนการรวมการหาตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ (Object detection) และการจำแนก pixel ภาพ (semantic segmentation) ไว้ด้วยกัน



ภาพที่ 6 กระบวนการทำงานหลักในการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (Fei-Fei L., 2019)

2.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average Precision : AP)

การนำแบบจำลองไปใช้งานจริง จำเป็นต้องประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองว่ามีเพียงพอที่จะนำมาพัฒนาหรือนำไปใช้งานด้านต่างๆ โดยใช้ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average Precision : AP) ซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Recall หรือ Sensitivity) ดังสมการที่ 4 โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่าเฉลี่ยความแม่นยำเข้าใกล้ 1 แบบจำลองจะมีประสิทธิภาพที่ดี (Pisit, 2018)

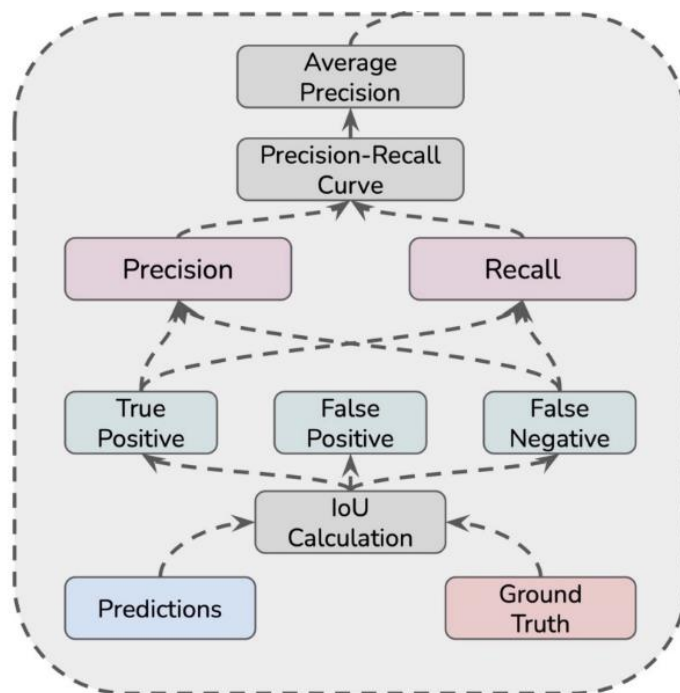
$$\text{ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ} = \int_{r=0}^1 p(r)dr \quad (4)$$

โดยที่

p คือ ค่าความแม่นยำ (Precision)

r คือ ค่าความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Recall)

สัญลักษณ์ dr เป็นตัวบ่งชี้ว่าให้อินทิเกรตเทียบกับตัวแปร r



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ค่าความแม่นยำและค่าความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Anwar, 2022)

ตารางที่ 3 ตารางวัดประสิทธิภาพ (Confusion matrix) (Chengz, 2019)

	Actual positive	Actual negative
Predicted positive	TP	FP
Predicted negative	FN	TN

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chengz (2019)

โดย True Positive (TP) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “จริง” และมีค่าเป็น “จริง”
 True Negative (TN) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “ไม่จริง” และมีค่า “ไม่จริง”
 False Positive (FP) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “จริง” แต่ มีค่าเป็น “ไม่จริง”
 False Negative (FN) คือ สิ่งที่แบบจำลองทำนายว่า “ไม่จริง” แต่ มีค่าเป็น “จริง”

โดยทั่วไปแล้วจะมีตัววัดที่นิยมใช้กันในงานวิจัย ได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision หรือ Positive Predictive Value) คือ ค่าที่ระบุว่าแบบจำลองทำนายค่าได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด
 คำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

ค่าความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Recall หรือ Sensitivity) คือ ค่าที่ระบุว่าแบบจำลองทำนายได้ถูกต้อง เป็นอัตราส่วนเท่าไรของค่าจริงที่อยู่ในแต่ละคลาส คำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

2.8 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3

ดาวเทียม WorldView-3 เป็นดาวเทียมรายละเอียดสูงดวงแรกที่เป็นระบบ Multi-Payload ปฏิบัติงานอยู่ที่วงโคจรระดับ 617 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ให้รายละเอียดภาพ Panchromatic ชนิดภาพขาวดำได้สูงถึง 31 เซนติเมตร และ 1.24 เมตร สำหรับภาพสีหรือชนิด Multispectral สามารถถ่ายภาพซ้ำบริเวณพื้นที่เดิมได้ทุกวัน มีศักยภาพในการบันทึกภาพพื้นผิวโลกได้มากกว่า 680,000 ตารางกิโลเมตรต่อวัน (ตารางที่ 4) ดาวเทียม WorldView-3 มีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่มีรายละเอียดสูงดวงอื่นเนื่องจากการเพิ่มช่วงคลื่น Short-wave (SWIR) และ Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, & Snow (CAVIS) เพื่อให้การนำมาประยุกต์ใช้มีความหลากหลายยิ่งขึ้น โดยช่วงคลื่น SWIR มีคุณลักษณะเด่นที่สามารถทะลุผ่านหมอก คิว้น และฝุ่นได้ ทำให้สามารถแปลผลข้อมูลได้แม้มีหมอกหรือคิว้นบดบัง ส่วนช่วงคลื่น CAVIS ซึ่งเป็นจุดเด่นของ WorldView-3 เหมาะสำหรับการตรวจสอบพื้นที่ที่มีเมฆ หิมะ ใต้น้ำ หรือละอองลอย ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม WorldView-3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการทำแผนที่รายละเอียดสูง การเตรียมความพร้อมรับมือภัยพิบัติ การติดตามการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณ งานด้านธรณีวิทยา การติดตามสภาพสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร รวมทั้งการติดตามวัตถุหรือการจำแนกสิ่งปลูกสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2015)

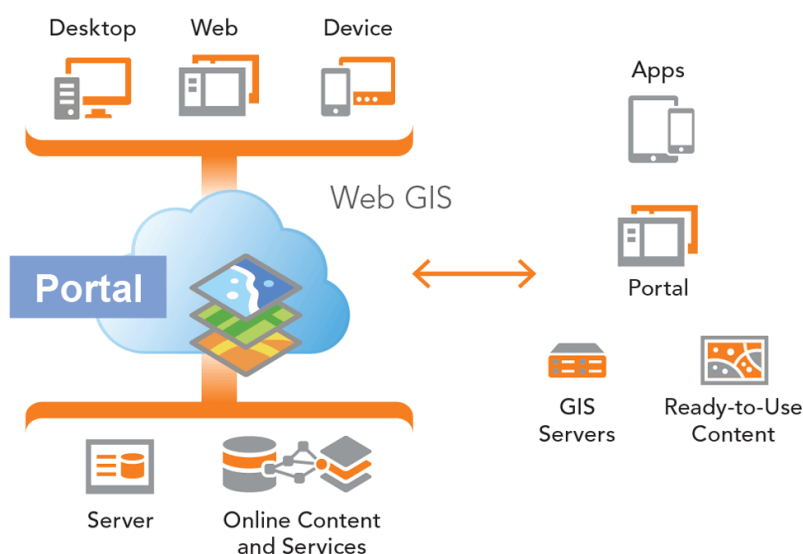
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 (DigitalGlobe, 2014)

วงโคจร	ระดับความสูง 617 กิโลเมตร
รายละเอียดภาพ	ภาพขาวดำ 0.31 เมตร ภาพสีเชิงคลื่น 1.24 เมตร
ความยาวคลื่น	<p>Panchromatic: 450 - 800 nm</p> <p>8 Multispectral:</p> <p>Coastal: 400 - 450 nm Red: 630 - 690 nm Blue: 450 - 510 nm Red Edge: 705 - 745 nm Green: 510 - 580 nm Near-IR1: 770 - 895 nm Yellow: 585 - 625 nm Near-IR2: 860 - 1040 nm</p> <p>8 SWIR Bands:</p> <p>SWIR-1: 1195 - 1225 nm SWIR-5: 2145 - 2185 nm SWIR-2: 1550 - 1590 nm SWIR-6: 2185 - 2225 nm SWIR-3: 1640 - 1680 nm SWIR-7: 2235 - 2285 nm SWIR-4: 1710 - 1750 nm SWIR-8: 2295 - 2365 nm</p> <p>12 CAVIS Bands:</p> <p>Desert Clouds: 405 - 420 nm Water-3: 930 - 965 nm Aerosol-1: 459 - 509 nm NDVI-SWIR: 1220 - 1252 nm Green: 525 - 585 nm Cirrus: 1365 - 1405 nm Aerosol-2: 635 - 685 nm Snow: 1620 - 1680 nm Water-1: 845 - 885 nm Aerosol-1: 2105 - 2245 nm</p>
ศักยภาพในการบันทึกภาพ	680,000 ตารางกิโลเมตรต่อวัน

2.9 การจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลข้อมูลแผนที่

ปัจจุบันเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ มีบทบาทในการนำเสนอข้อมูลที่มีความซับซ้อนของชั้นข้อมูลรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเผยแพร่มากยิ่งขึ้น การจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอและเผยแพร่ข้อมูลภูมิสารสนเทศที่ จึงช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น

การจัดทำเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ ArcGIS online เป็นการนำเสนอข้อมูลภูมิสารสนเทศผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกโดยนำเสนอข้อมูลแผนที่และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในเว็บเบราว์เซอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ หรือแท็บเล็ต แนวคิดหลักของระบบ ArcGIS online เป็นดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนภาพแสดงแนวคิดระบบ Web GIS (Law, 2018)

ความสามารถของเว็บแอปพลิเคชันแผนที่บน ArcGIS online ประกอบด้วยการเผยแพร่ข้อมูลแผนที่ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศไปเผยแพร่ในรูปแบบเซอร์วิส การตั้งค่าแผนที่ใน ArcGIS online การตั้งค่าการแสดงผลข้อมูลในแผนที่ เช่น ตั้งค่าพิกัดพิกัด สี่เหลี่ยมในการเข้าถึงแผนที่ นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลแผนที่ วิเคราะห์ข้อมูล หรือโต้ตอบกับแผนที่ได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (ESRI, 2022)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา หรือการวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา มีการวิจัยที่แบ่งการใช้ข้อมูลหลัก ๆ ได้ 2 ประเภทคือ การใช้ข้อมูลที่สามารถแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลองสามมิติ เช่น LiDAR (Adb Latif et al., 2012; Gagnon et al., 2018) เพื่อหาคุณลักษณะของหลังคาได้ และนำมาทำการประเมินหาพื้นที่เหมาะสมและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา แต่หากไม่มีข้อมูลที่สามารถนำมาแปลงเป็นข้อมูลสามมิติได้ จะมี

งานวิจัยนำข้อมูลขอบเขตพื้นที่อาคารในรูปแบบ Shape file มาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มเติม และสามารถนำไปวิเคราะห์ ศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติมได้ (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, 2558) แต่หากไม่มีข้อมูลขอบเขตพื้นที่หลังคา ก็จะมีงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียมนำมาจำแนกหาขอบเขตหลังคาโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้โปรแกรมการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) ในการจำแนกขอบเขตหลังคา และนำมาวิเคราะห์หาศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ หรือการวิเคราะห์ในความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ (Ninsawat & Hossain, 2016) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยบางงานที่ใช้เทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก ในการวิเคราะห์หาขอบเขตหลังคาในการนำมาวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Sampath, 2022) แต่ในบางครั้งการใช้ขอบเขตหลังคาอาคารที่ได้จากแหล่งต่างๆ มาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่หลังคา จะเป็นการยากในการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ความคุ้มค่าเชิงความจริง จึงมีงานวิจัยบางงาน ได้ทำการหาค่าเฉลี่ยอัตราส่วนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม โดยจะให้ค่าศักยภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ที่ได้จากการคำนวณมีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

Abd et al, 2012 ศึกษาถึงการใช้อากาศศาสตร์ในการประมาณค่าศักยภาพพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยใช้ข้อมูล LiDAR ในพื้นที่ศึกษาเมืองจอร์จทาวน์ เมืองหลวงของรัฐปีนัง โดย ผลลัพธ์ที่ได้จากการบิน LiDAR คือ ภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) ความละเอียด 0.5 เมตร และวิเคราะห์พื้นที่หลังคาที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ ทิศทางที่เหมาะสม มุมเอียงที่เหมาะสม สร้างขอบเขตอาคารจากข้อมูลที่สำรวจได้ ความสูงที่เหมาะสม พื้นที่ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ปริมาณมาก ได้ผลการศึกษาออกมาเป็นแผนที่พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

Gagnon at al., 2018 ศึกษาศักยภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการใช้ข้อมูล LiDAR มาเพื่อวิเคราะห์ประเภทหลังคา มุมและทิศทางของหลังคา และใช้แบบจำลองเชิงสถิติ แทนข้อมูลลักษณะของหลังคาในพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูล LiDAR สำหรับศักยภาพเชิงพื้นที่ได้นำมาจัดทำข้อมูลพื้นที่หลังคาและแบบจำลองพื้นที่ที่เหมาะสม โดยพิจารณาประเภทของหลังคา พื้นที่หลังคา ทิศทางของหลังคา และสำหรับศักยภาพเชิงเทคนิคได้นำข้อมูลมาคำนวณความจุของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และแบบจำลองการผลิตไฟฟ้า ผลลัพธ์ที่ได้แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา โดยทั่วทั้งสหรัฐอเมริกามีพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทั้งหมด 8.13 พันล้านตารางเมตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1432

เทระวัตต์ชั่วโมงต่อปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.6 ของกระแสไฟฟ้าที่จำหน่ายในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 2013

Ninsawat and Hassian (2016) ศึกษาการหาพื้นที่ศักยภาพและโอกาสทางการเงินของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ในพื้นที่แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ความละเอียดจุดภาพ 0.46 เมตร ข้อมูลความสูงของอาคารจากการสำรวจชั้นของอาคาร ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์แบบรายชั่วโมง ข้อมูลต้นทุนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ข้อมูลราคาการขายไฟฟ้าโซลาร์ภาคประชาชน โดยนำภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 มาจำแนกประเภทของหลังคา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ หลังคาประเภทแบนราบ และหลังคาประเภทมีมุม จากนั้นนำข้อมูลประเภทหลังคาและความสูงอาคารจากการสำรวจภาคสนามมาจัดทำแบบจำลองสามมิติของอาคาร จัดทำแผนที่การบดบังจากอาคารข้างเคียงในแต่ละชั่วโมง และลบอาคารที่ถูกบดบังออก ให้เหลือหลังคาอาคารที่มีศักยภาพ และนำมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวัน ค่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ค่าณรายได้จากการขายไฟฟ้า ค่าณระยะเวลาการคืนทุน ระยะเวลาการคืนทุนของอาคารอยู่ที่ 7 ถึง 13 ปีขึ้นอยู่กับประเภทของหลังคา ทิศทางหลังคา และผลจากการถูกบดบังจากอาคารข้างเคียง แต่เจ้าของอาคารอาจได้รับกำไรมากถึงร้อยละ 200 ซึ่งขึ้นอยู่กับศักยภาพของหลังคาอาคาร

ณัฐพงศ์ และ โสภิตสุตา (2558) ได้ทำการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการเลือกอาคารจำนวน 10 อาคาร จากทั้งหมด 183 อาคาร โดยอาคารที่ถูกคัดเลือกเป็นอาคารที่มีการประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์และศักยภาพทางกายภาพ ที่มีพื้นที่ติดตั้งที่เหมาะสมและมีการเข้าถึงรังสีดวงอาทิตย์ การประเมินศักยภาพเชิงกายภาพจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์คัดเลือกอาคาร ได้แก่ 1) ทิศทางอาคาร ที่หันไปทางทิศใต้เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุด 2) ลักษณะรูปแบบอาคาร เลือกอาคารที่ไม่ได้มีลักษณะหรือรูปแบบอาคารแบบเชิงคุณค่า 3) พื้นที่การติดตั้ง เลือกจากพื้นที่ลาดฟ้าเป็นอันดับแรกเพื่อลดปัจจัยเรื่องมุมในการติดตั้ง 4) การเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังของแต่ละอาคาร การคำนวณพื้นที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth และทำการขึ้นรูปอาคารและคำนวณพื้นที่หลังคาอาคารจากภาพถ่ายด้วยโปรแกรมควอนตัม จีไอเอส (Quantum GIS) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะใช้ข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี 2557 การประเมินศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์ ค่าณพื้นที่ที่โดยสร้างระดับชั้นของ พื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เช่น ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ พื้นที่ติดตั้งระบบสื่อสาร พื้นที่เรือนเพาะชำ เพื่อตัดข้อมูลจากพื้นที่คำนวณได้ทั้งหมด เมื่อได้ขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมและค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากขั้นตอนการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพ นำค่าดังกล่าวประเมิน

ศักยภาพเชิงภูมิศาสตร์และการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคแบบเต็มพื้นที่ โดยใช้ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสมรรถนะของระบบในการนำมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคแบบเว้นระยะห่างแผงการคำนวณ เพื่อหาค่าระยะที่ดีที่สุดในการเว้นระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์จะทำการคำนวณระยะเวลาการคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายใน ผลการศึกษาพบว่า ศักยภาพทางกายภาพมีค่าเท่ากับ 56,296.96 kWh/day ศักยภาพทางภูมิศาสตร์มีค่าเท่ากับ 42,138.38 kWh/day ศักยภาพเชิงเทคนิคเต็มพื้นที่ 5,296.98 kWh/day ศักยภาพเชิงเทคนิคแบบมีระยะห่างเท่ากับ 2,949.19 kWh/day ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 20 ปี ได้ 26,744,616.98 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายใน (IRR) ร้อยละ 15 ระยะเวลาการคืนทุน 7-8 ปี

Sampath et al. (2022) ได้ศึกษาการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยใช้เทคนิคการแบ่งส่วนภาพถ่ายดาวเทียม ที่เมืองบังกาลอร์ ประเทศอินเดีย โดยใช้เทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) กับภาพถ่ายดาวเทียมจาก Mapbox ความละเอียดจุดภาพ 1.16 เมตร โดยสร้างแบบจำลองที่แตกต่าง 3 แบบจำลอง ประกอบไปด้วยแบบจำลอง U-Net, SegNet และ FCN ทำการสร้างข้อมูลสำหรับสอนแบบจำลองโดยการขึ้นรูปอาคารด้วยมนุษย์ และแต่ละแบบจำลองกำหนดจำนวนรอบของการเรียนรู้เป็น 10 50 และ 100 รอบ และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยคำนวณ จำนวนร้อยละของอาคารที่แบบจำลองทำนายถูก Jaccard Index ซึ่งคำนวณอัตราส่วนของการซ้อนทับกันของข้อมูลในพื้นที่จริงกับผลลัพธ์จากแบบจำลอง และการรวมกันของข้อมูลในพื้นที่จริงและผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง U-Net ได้ผลลัพธ์การจำแนกหลังคาอาคารที่ดีที่สุด มีความถูกต้องแม่นยำ (ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.) มากกว่าร้อยละ 90 มีค่า Jaccard Index ที่ 100 รอบการเรียนรู้เท่ากับ 0.66 และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในเมืองบังกาลอร์โดยใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จาก the U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี มีค่าเท่ากับ 2,788.6 GWh/year

Wiginton et al. (2010) ศึกษาศักยภาพเชิงเทคนิคของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ในเมืองออนแทรีโอ ประเทศแคนาดา มีพื้นที่ศึกษารวม 48,000 ตารางกิโลเมตร ประชากรรวม 1.9 ล้านคน โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยย่อย ที่อยู่ในขอบเขตของ Census subdivision (CSDs) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างหลังคากับความหนาแน่นประชากร เพื่อประเมินค่าพื้นที่หลังคาต่อคน ทำให้ได้ข้อมูลพื้นที่หลังคาขั้นต้น จากนั้นจึงนำพื้นที่หลังคาดังกล่าวมาทำการปรับลดพื้นที่ โดยแบ่งหลังคาออกเป็น 2 ประเภทคือ หลังคาประเภทแบนราบ (flat) และหลังคาประเภทมีมุม (peak) หาอัตราส่วนระหว่างหลังคาประเภทแบนราบและหลังคาประเภทมีมุม เพื่อหาพื้นที่ติดตั้ง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้หลักการว่า หลังคาประเภทแบนราบจะสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เต็มพื้นที่ แต่หลังคาประเภทมีมุมจะสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ร้อยละ 50 ของพื้นที่ทั้งหมด เนื่องจากทิศทางของหลังคา ที่หันไปทางทิศใต้เป็นทิศทางที่รับแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด และทิศเหนือเป็นทิศทางที่ไม่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และคำนวณพื้นที่ที่ถูกบังเงาเพิ่มเติม ทำให้ได้ค่าการลดทอนเท่ากับ 0.19 และนำค่าดังกล่าวมาทำการคำนวณร่วมกับค่าพื้นที่หลังคาต่อคน ผลการศึกษาพบว่าศักยภาพกำลังสูงสุดในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 5.4 GW คิดเป็นร้อยละ 154 ของความต้องการใช้ไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปีมีค่าเท่ากับ 6,909 GWh/year ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งปีของออนแทรีโอ

Dubai Electricity and Water Authority (2019) ได้จัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อช่วยให้ประชาชน สามารถประมาณค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้และการประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ในเมืองดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ โดยที่ความสามารถของแอปพลิเคชันได้แก่ การประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนหลังคาในรูปแบบรายเดือนและรายปี (kWh) ประมาณค่าไฟฟ้าที่ลดลงสำหรับลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการ ตำแหน่งของลูกค้าที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแล้ว ตำแหน่งที่ตั้งสถานีประจุไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้า ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนที่ลดลงเมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา รวมถึงระยะทางเมื่อเทียบเท่ากับการขับรถ โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนหลังคามาจากการคำนวณโดยใช้เครื่องมือ Solar radiation analysis ในโปรแกรม ArcGIS Pro ซึ่งการแบ่งช่วงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับออกเป็น 5 ช่วง ให้คะแนนเป็น 1 ถึง 5 และสามารถแปลความหมายเป็นระดับศักยภาพดังนี้ พลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่าเท่ากับ 400,000 kWh/ปี มีคะแนนเท่ากับ 1 ระดับศักยภาพ : ต่ำมาก พลังงานแสงอาทิตย์ 400,000 ถึง 800,000 kWh/ปี มีคะแนนเท่ากับ 2 ระดับศักยภาพ : ต่ำ พลังงานแสงอาทิตย์ 800,000 ถึง 1,200,000 kWh/ปี มีคะแนนเท่ากับ 3 ระดับศักยภาพ : ปานกลาง พลังงานแสงอาทิตย์ 1,200,000 ถึง 1,600,000 kWh/ปี มีคะแนนเท่ากับ 4 ระดับศักยภาพ : สูง พลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 1,600,000 kWh/ปี มีคะแนนเท่ากับ 5 ระดับศักยภาพ : สูงมาก พบว่าเมื่อเปิดให้ประชาชนคนเข้าใช้แอปพลิเคชันสามารถเพิ่มจำนวนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในดูไบได้ถึงร้อยละ 52 ภายในระยะเวลา 1 ปี

Google (2015) ได้จัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาภายใต้โครงการชื่อ “โปรเจกต์ซันรูฟ” (Project sunroof) ในพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา มีจำนวนหลังอาคาร 60 ล้านหลังคา ซึ่งเว็บแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลภาพรวมในรูปแบบของเมืองได้ โดยแสดงจำนวนหลังคา ขนาดพื้นที่หลังคา ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ จำนวนหลังคาแบ่งตามปริมาณการผลิตไฟฟ้า และผลที่ได้รับในด้านสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เช่น ปริมาณการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถแสดงผลข้อมูลจำนวนชั่วโมงที่หลังคาได้รับ

แสงอาทิตย์ใน 1 ปี ขนาดพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามรายหลังคา โปรเจกต์ขั้นรูปร่างข้อมูลอาคาร 3 มิติ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงมาจัดทำ Digital Surface Model (DSM) เพื่อนำ DSM ไปหาคุณลักษณะของหลังคา เช่น ทิศทางของหลังคา ความลาดเอียง เป็นต้น และใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จากฐานข้อมูลที่มีให้บริการในเชิงพาณิชย์ ความละเอียดข้อมูล 10x10 กิโลเมตร หากพื้นที่ใดไม่มีข้อมูลจะใช้ข้อมูลสภาพอากาศจาก National Renewable Energy Laboratory (NREL) ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐที่ให้บริการข้อมูลด้านพลังงานทดแทน และใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) หาขอบเขตหลังคาอาคารจากภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง จากข้อมูลข้างต้น จะสามารถคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับบนหลังคา และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา



บทที่ 3

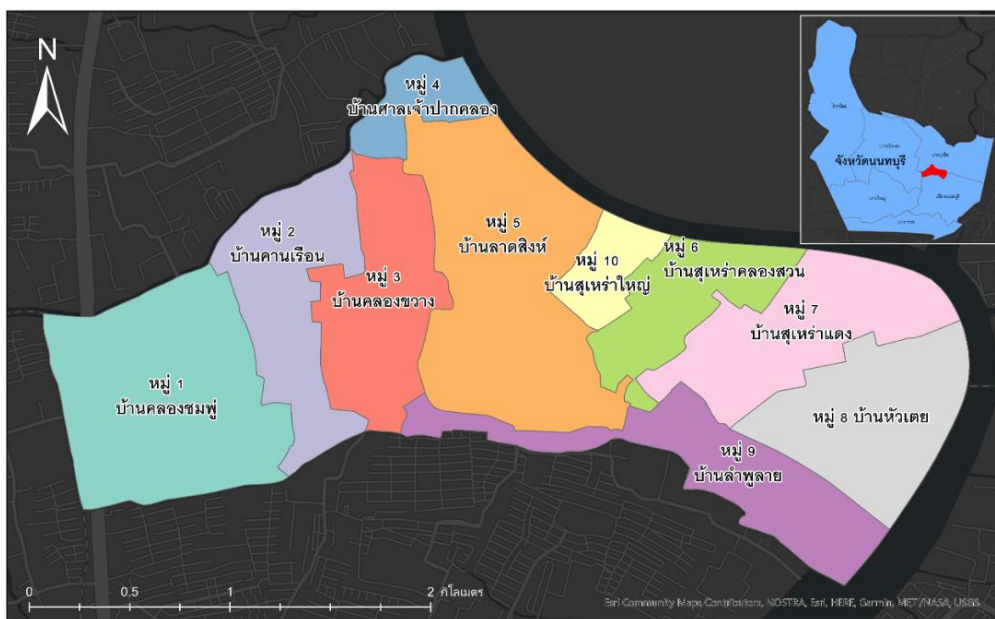
พื้นที่ศึกษา

3.1 ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาดังอยู่ที่ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านตลอดแนวทางทิศเหนือและทิศตะวันออก พื้นที่มีระดับความสูงเฉลี่ยประมาณ 4 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ตำบลท่าอิฐตั้งอยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอปากเกร็ด โดยมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ ตำบลอ้อมเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี และคลองบางบัวทอง
ทิศใต้	ติดต่อกับ ตำบลไทรมาและตำบลบางรักน้อย อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ แม่น้ำเจ้าพระยา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ ตำบลบางรักใหญ่ อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

ตำบลท่าอิฐ มีพื้นที่รวมประมาณ 5.76 ตารางกิโลเมตร จำนวนประชากรทั้งหมด 16,608 คน มีความหนาแน่นประชากรโดยเฉลี่ย 2,883 คนต่อตารางกิโลเมตร มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 20.33 เมกะวัตต์ แบ่งเขตการปกครองย่อยออกเป็น 10 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านคลองชมพู หมู่ 2 บ้านคานเรื่อน หมู่ 3 บ้านคลองขวาง หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปากคลองหมู่ 5 บ้านลาดสิงห์ หมู่ที่ 6 บ้านสุเหร่าคลองสวน หมู่ 7 บ้านสุเหร่าแดง หมู่ 8 บ้านหัวเตย หมู่ 9 บ้านลำพุลาย และ หมู่ 10 บ้านสุเหร่าใหญ่ (องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี, 2564) ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 9 พื้นที่ศึกษาตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

3.2 สภาพภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศของตำบลท่าอิฐ จัดอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับแล้ง มีฤดูกาลหลัก 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนซึ่งมีคุณสมบัติเย็นและแห้งจะแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทย ทำให้เริ่มมีอากาศหนาวเย็นประมาณกลางเดือนพฤศจิกายนเป็นต้นไป โดยมีอากาศหนาวจัดในเดือนธันวาคม ฤดูร้อนเริ่มเมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือสิ้นสุดลง คือประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้จะมีหย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนปกคลุมประเทศไทยตอนบน โดยมีอากาศร้อนจัดอยู่ในเดือนเมษายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่านบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยจะเลื่อนขึ้นมาพัดผ่านบริเวณภาคกลาง ทำให้มีฝนตกชุกขึ้นตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป โดยเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกที่สุดในรอบปีและเป็นช่วงที่มีความชื้นสูง ตำบลท่าอิฐมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 32-34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 24-26 องศาเซลเซียส ปริมาณฝนรวมตลอดปีอยู่ระหว่าง 1,200-1,400 มิลลิเมตร เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือเดือนกันยายน มีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 280 มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564)

3.3 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับตำบลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560) พบว่า พื้นที่ตำบลท่าอิฐ มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือคิดเป็น 5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ของทั้งประเทศไทยที่มีค่าประมาณ 5.05 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดในเดือนเมษายน (20.56 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน) และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม (16.85 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)

ตารางที่ 5 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (หน่วย: MJ/M²-day)

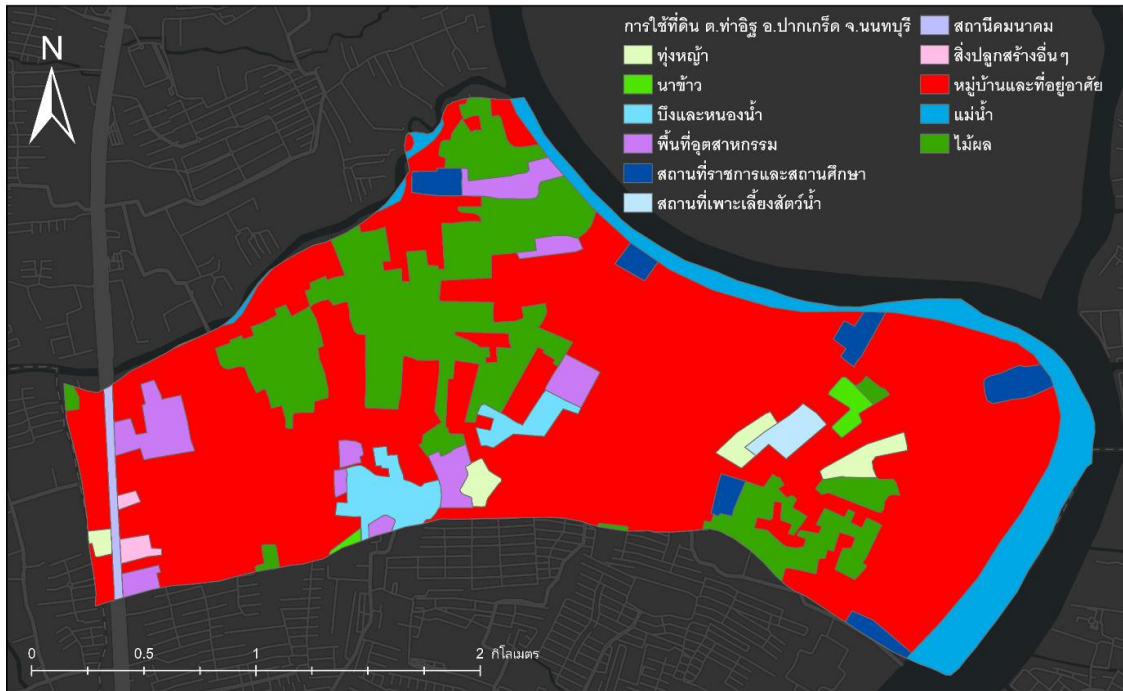
ตำบล	ปากเกร็ด	บางตลาด	บ้านใหม่	บางพุด	บางตะไนย์	คลองพระอุดม	ท่าอิฐ	เกาะเกร็ด	อ้อมเกร็ด	คลองข่อย	บางพลับ	คลองเกลือ
ละติจูด	13.91	13.89	13.93	13.93	13.93	13.93	13.90	13.91	13.91	13.96	13.93	13.90
ลองจิจูด	100.51	100.53	100.55	100.52	100.49	100.48	100.47	100.48	100.45	100.45	100.46	100.55
มกราคม	17.330	17.350	17.340	17.320	17.340	17.370	17.390	17.380	17.400	17.380	17.380	17.370
กุมภาพันธ์	18.870	18.830	18.700	18.860	18.930	18.980	18.980	18.980	18.980	18.970	18.990	18.760
มีนาคม	19.580	19.540	19.460	19.580	19.630	19.650	19.680	19.670	19.690	19.670	19.670	19.500
เมษายน	20.410	20.330	20.180	20.400	20.500	20.560	20.560	20.560	20.600	20.610	20.590	20.240
พฤษภาคม	18.460	18.370	18.370	18.500	18.570	18.630	18.570	18.590	18.660	18.750	18.690	18.300
มิถุนายน	17.980	17.920	17.940	18.000	18.030	18.070	18.080	18.060	18.120	18.180	18.140	17.860
กรกฎาคม	17.400	17.280	17.370	17.460	17.480	17.520	17.410	17.460	17.500	17.610	17.550	17.210
สิงหาคม	17.080	16.990	17.040	17.150	17.170	17.190	17.120	17.160	17.210	17.230	17.210	16.920
กันยายน	17.130	17.020	17.140	17.200	17.210	17.240	17.140	17.180	17.220	17.340	17.270	16.980
ตุลาคม	17.170	17.140	17.260	17.240	17.250	17.270	17.110	17.190	17.190	17.360	17.280	17.180
พฤศจิกายน	17.120	17.130	17.220	17.160	17.160	17.200	17.090	17.160	17.180	17.310	17.240	17.210
ธันวาคม	16.840	16.850	16.890	16.840	16.840	16.850	16.850	16.860	16.870	16.860	16.870	16.880
ค่าเฉลี่ย	17.950	17.900	17.910	17.980	18.010	18.040	18.000	18.020	18.050	18.110	18.070	17.870

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560)

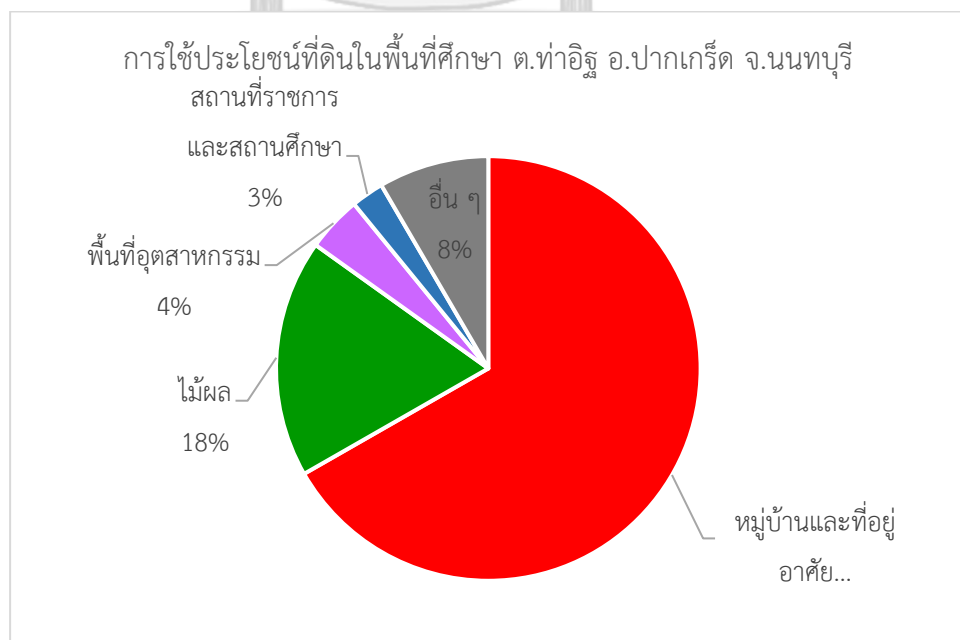
3.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

เนื่องจากพื้นที่ตำบลท่าอิฐอยู่ในจังหวัดนนทบุรีซึ่งเป็นเขตปริมณฑล ทำให้มีการขยายตัวของธุรกิจบ้านจัดสรร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหมู่บ้านและที่อยู่อาศัย (ร้อยละ 67) รองลงมาเป็นพื้นที่ไม้ผล (ร้อยละ 18) พื้นที่อุตสาหกรรม (ร้อยละ 4) สถานที่ราชการและสถานศึกษา (ร้อยละ 3) และการใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ (ร้อยละ 8) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) ดังแสดงในภาพที่ 3-2 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ (2564) สรุปว่า ในพื้นที่ตำบลท่าอิฐมี

หมู่บ้านจัดสรร 22 หมู่บ้าน บริษัทห้างร้าน 112 บริษัท สถานีบริการน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ 4 แห่ง
 โรงงานอุตสาหกรรมและโกดัง 7 แห่ง โรงเรียนและสถานศึกษา 12 แห่ง และโรงพยาบาลและสถาน
 บริการสาธารณสุข 6 แห่ง



ภาพที่ 10 การใช้ประโยชน์ที่ดินตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี



ภาพที่ 11 สัดส่วนการใช้ที่ดินในตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

3.5 สภาพเศรษฐกิจและการประกอบอาชีพ

ประชากรส่วนใหญ่ในตำบลทำอาชีพประกอบอาชีพแรงงานรับจ้าง (ร้อยละ 60) ได้แก่ รับจ้างทั่วไป แรงงานก่อสร้าง และลูกจ้างโรงงานอุตสาหกรรมนอกเขตตำบล รองลงมาประกอบอาชีพเกี่ยวกับเกษตรกรรม (ร้อยละ 20) ได้แก่ การทำสวน การเลี้ยงสัตว์ โดยมีประชากรที่ประกอบอาชีพค้าขายประมาณร้อยละ 10 ของประชากรทั้งตำบล ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เท่ากับอาชีพพนักงานธุรกิจเอกชน รับราชการ และพนักงานรัฐวิสาหกิจ ทั้งในเขตและนอกเขตตำบล (องค์การบริหารส่วนตำบลทำอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี, 2564)



บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ วิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยมีขั้นตอนและวิธีการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 12

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ประกอบด้วย ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 ความละเอียดจุดภาพ 30 เซนติเมตร บันทึกภาพเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2562 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับตำบล ปี 2560 ซึ่งมีข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันแยกตามเดือน และขอบเขตพื้นที่หมู่บ้าน โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.8.0 สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 6 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

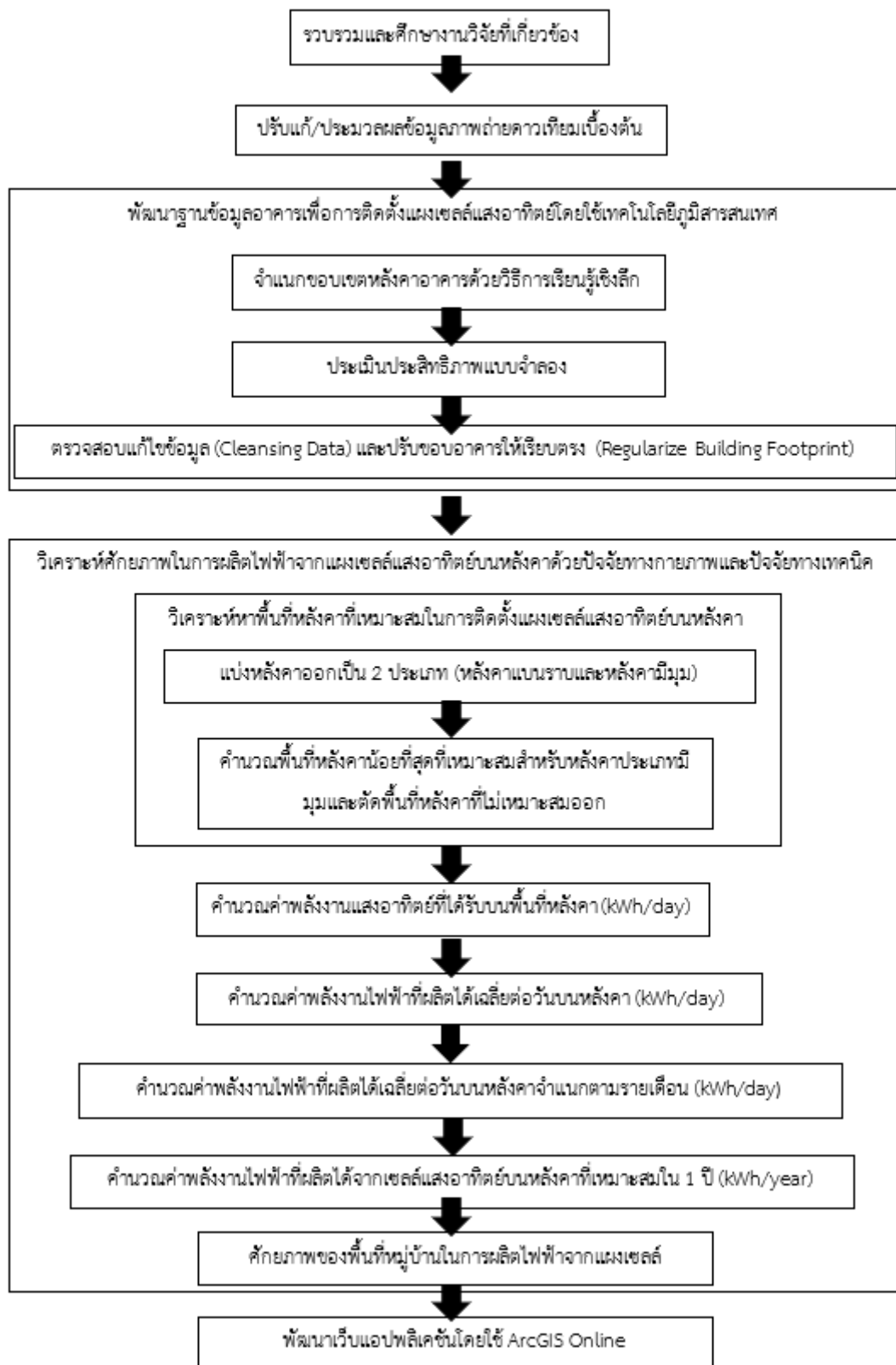
ลำดับ	ชนิดข้อมูล	ที่มา
1	ภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3	การไฟฟ้านครหลวง (2562)
2	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระดับตำบล	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560)
3	ขอบเขตพื้นที่หมู่บ้าน	การไฟฟ้านครหลวง (2564)

4.2 รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล และรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ การวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การจำแนกหลังคาอาคารโดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) แบบจำลองที่ใช้ในการประมวลผล ศึกษาวิธีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิคที่ส่งผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ การ

คำนวณพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าบนหลังคา และการจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อ
แสดงผลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บน
หลังคา เพื่อเป็นแนวทางประกอบในการวิจัยครั้งนี้ ดังรายละเอียดในบทที่ 2





ภาพที่ 12 ภาพรวมขั้นตอนการศึกษา

4.3 ปรับแก้และประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเบื้องต้น

เป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยการปรับแก้ภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Data error) สัญญาณที่รบกวน (Noise) และความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการถ่ายภาพ การบันทึกข้อมูลสัญญาณ การสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การส่งสัญญาณ และการโคจรของดาวเทียม มีกระบวนการปรับแก้ 2 กระบวนการที่ต้องกระทำ ดังนี้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2560)

การปรับแก้คลื่นรังสี (Radiometric correction) การที่จะส่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้แก่ผู้ใช้งานเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลเหล่านี้จะต้องผ่านการตรวจแก้คลื่นรังสีจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดินมาแล้วระดับหนึ่ง แต่บางครั้งยังปรากฏข้อบกพร่องทางเชิงคลื่นเนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น การรบกวนจากชั้นบรรยากาศ หรือจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ ทำให้เกิดความไม่ชัดเจนพรมัว มีลายเส้นปะปน (Strip/Noise) ปรากฏบนข้อมูลจากดาวเทียม ปัญหาอีกด้านหนึ่งที่ต้องมีการปรับแก้คลื่นรังสี คือ เมื่อต้องการใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่งต้องทำการปรับแก้ค่ามุมยกของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงเวลาและแต่ละฤดูกาล การแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการตรวจแก้คลื่นรังสี พร้อมทั้งต้องมีรายละเอียดตัวแปรเกี่ยวกับการรับสัญญาณ มุมที่ดาวเทียมกระทำกับแสงดวงอาทิตย์ ค่ารังสีตกกระทบ การกระจายแสงในเส้นทางผ่าน ค่าการสะท้อนของวัตถุเป้าหมาย ค่าการส่งผ่านของบรรยากาศ เป็นต้น และข้อมูลสภาวะอากาศในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล การปรับแก้มีกรรมวิธีในการคำนวณที่ซับซ้อนมาก ต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่มีโปรแกรมเฉพาะสำหรับการตรวจแก้คลื่นรังสี ซึ่งโดยทั่วไปการแก้ไขข้อบกพร่องเชิงคลื่นจะต้องทำ ได้แก่ การชดเชยค่าการสะท้อนที่บิดเบือนของสภาวะอากาศ เกิดขึ้นจากการกระจัดกระจายแสงในบรรยากาศ จึงทำให้เกิดการสลับของแสงทำให้ภาพมีลักษณะไม่ชัดเจน ไม่คมชัด การแก้ไขทำโดยการลดผลการกระจัดกระจายแสงในบรรยากาศให้น้อยที่สุด โดยการเปรียบเทียบค่าความสว่างทั่วไปกับค่าความสว่างต่ำที่สุด เช่น น้ำใสจะมีการดูดกลืนสูงมากในช่วงคลื่นอินฟราเรด การเปลี่ยนค่าความสว่างเป็นค่าการแผ่รังสีสมบูรณ์เป็นการตรวจแก้คลื่นรังสีอีกวิธีหนึ่ง โดยการแปลงค่าความสว่างเป็นค่าการแผ่รังสีคำนวณจากข้อมูลค่าการแผ่รังสีสูงสุด และการแผ่รังสีต่ำสุดในแต่ละช่วงคลื่น การลบสัญญาณรบกวนผลจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณมีผลให้เกิดสัญญาณรบกวนในข้อมูลภาพ หรือข้อมูลส่วนนั้นสัญญาณขาดหายไป ปรากฏเป็นลายเส้นแทรกอยู่ในเนื้อภาพหรือเป็นจุดๆ กระจายไปทั่วภาพ การแก้ไขทำได้โดยใช้ตัวกรองภาพแบบค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่ากึ่งกลางเลขคณิตมาคำนวณค่าเฉลี่ยจาก

จุดภาพอื่นที่อยู่โดยรอบบริเวณที่สัญญาณหายไป และตัวกรองจำเพาะที่ใช้สำหรับกรองจุดกรองแต่ยังคงรักษาขอบเขตและเนื้อหาของจุดข้อมูล (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2560)

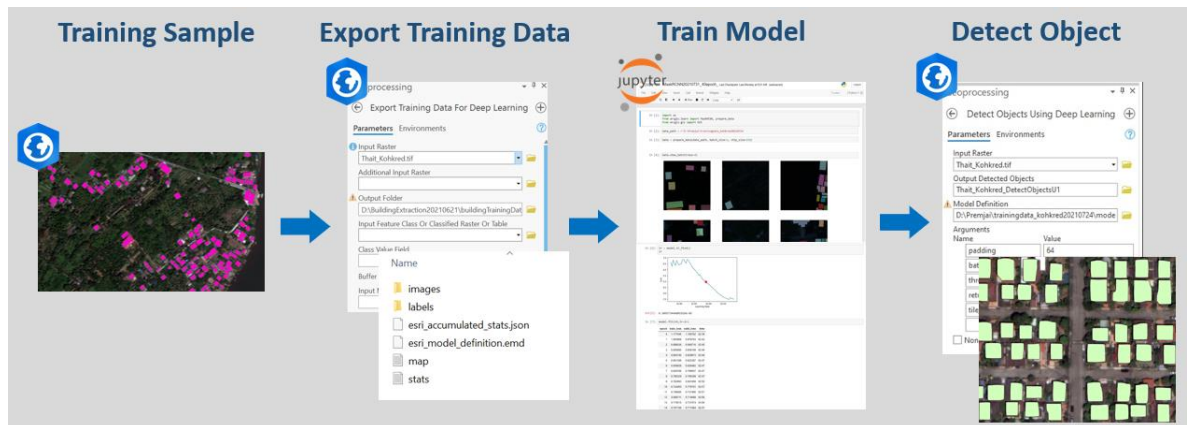
การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ก่อนนำข้อมูลจากดาวเทียมไปใช้ประโยชน์มีความจำเป็นต้องปรับแก้เชิงเรขาคณิต เพราะพิกัดตำแหน่งของวัตถุต่างๆ มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง เนื่องจากข้อบกพร่องทางเครื่องรับสัญญาณและรูปลักษณ์ของวัตถุ การปรับแก้เชิงเรขาคณิตมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น เมื่อต้องการนำข้อมูลจากระยะไกลไปใช้งานร่วมกับข้อมูลเชิงแผนที่อื่นๆ เพื่อให้สามารถซ้อนทับกันได้ หรือหากต้องการศึกษาปรากฏการณ์อย่างหนึ่งในหลายช่วงเวลาการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละช่วงเวลาต้องมีระบบพิกัดเดียวกัน จึงจะสามารถซ้อนข้อมูลแต่ละเวลาลงกันได้สนิทจึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต โดยสาเหตุของความบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต (Geometric distortion) คือ ความผิดพลาดซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากพิกัดของภาพไม่เป็นไปตามระบบพิกัดแผนที่ มี 2 ลักษณะ คือ ความบิดเบี้ยวภายใน มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของอุปกรณ์ในเครื่องวัดสัญญาณ เช่น ความบิดเบี้ยวในรัศมีของเลนส์ ทำให้บริเวณที่ห่างจากจุดศูนย์กลางภาพมีความบิดเบี้ยวมากขึ้น ความบิดเบี้ยวในแนวสัมผัสของเลนส์ ความผิดพลาดของความยาวโฟกัส การเอียงของระนาบภาพ ความไม่คงที่ของระนาบภาพและความบิดเบี้ยวภายนอกมีสาเหตุหลายประการ เช่น จากการทรงตัวของเครื่องวัด ความไม่คงที่ของการทรงตัว ความโค้งและการเคลื่อนที่ของโลก การหมุนของโลก บรรยากาศและการหักเหของชั้นบรรยากาศ ความผิดพลาดเชิงระนาบของยาน ความผิดพลาดทางระดับความสูงของยาน การเคลื่อนที่ทางตำแหน่งวงโคจร ความโค้งของโลก ความสูงของพื้นผิว และรูปร่างวัตถุ (จุฬาลักษณ์ สุธิรอต, 2558)

4.4 การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.4.1 การจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

การจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ArcGIS Pro และ ArcGIS API for Python ซึ่งเป็นไลบรารีภาษาไพธอนสำหรับการแสดงภาพ การวิเคราะห์ทางภูมิสารสนเทศการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ และการดูแลระบบ GIS ที่สามารถเรียกใช้ได้ทั้งแบบโต้ตอบและการใช้สคริปต์ (ESRI, 2021) ขั้นตอนในการทำงาน ประกอบด้วย การสร้างชุดข้อมูลสำหรับสอน (Training Sample) การส่งออกข้อมูลสอน (Training Data) การสร้างแบบจำลอง (Train Model) และการนำแบบจำลองมาใช้ในการจำแนกวัตถุในภาพ (Detect Object)

(ESRI, 2021) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทั้งหมดไปทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการจำแนกขอบเขตหลังคาในขั้นตอนต่อไป ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

4.4.1.1 การสร้างชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน (Training Sample)

การสร้างชุดข้อมูลสำหรับสอน เป็นการสร้างกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้แบบจำลองเรียนรู้ ขั้นตอนนี้ดำเนินการด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro โดยใช้เครื่องมือ Training Sample Manager ในเครื่องมือ Classification กำหนดชุดกลุ่มตัวอย่าง และขึ้นรูปกลุ่มตัวอย่างหลังคาอาคาร โดยมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 1337 หลังคา แบ่งเป็นหลังคาประเภทต่าง ๆ ที่ครอบคลุมลักษณะหลังคาทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 14) และมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละประเภทหลังคาแสดงในตารางที่ 7



(a)

(b)

(c)

(d)

ภาพที่ 14 ลักษณะของหลังคาประเภทต่าง ๆ ที่เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน ได้แก่ (a) หลังคาแบนราบ (b) หลังคามีมุมแบบหน้าจั่ว (c) หลังคามีมุมทรงปั้นหยา และ (d) หลังคามีมุมแบบหลายด้าน

ตารางที่ 7 ประเภทหลังคาอาคารที่เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน (Training sample) และจำนวนของกลุ่มตัวอย่างของหลังคาแต่ละประเภท

ประเภทหลังคา	หลังคาแบนราบ	หลังคา มีมุมแบบ หน้าจั่ว	หลังคา มีมุมแบบ ปั้นหยา	หลังคา มีมุมแบบ หลายด้าน
จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง (หลังคา)	342	330	433	232

4.4.1.2 การส่งออกชุดข้อมูลสำหรับสอน (Training Data)

ขั้นตอนนี้เป็นการส่งออกชุดข้อมูลสำหรับสอนที่ได้จากข้อ 4.4.1.1 ด้วยคำสั่ง Export Training Data For Deep Learning โดยกำหนดเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลภาพสำหรับสอนแบบจำลองให้เรียนรู้ สำหรับ Metadata Format ในงานวิจัยนี้จะเลือกเป็น MaskRCNN (Mask Regional Convolutional Neuron Network) เนื่องจากผลลัพธ์ของการจำแนกวัตถุในภาพโดยใช้ MaskRCNN แสดงในรูปแบบของ Shapefile ซึ่งสะดวกต่อการนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป

เมื่อส่งออกข้อมูลสอนเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลตัวอย่างสำหรับให้แบบจำลองเรียนรู้จะอยู่ในโฟลเดอร์เดียวกัน และมีโครงสร้างของข้อมูลที่สำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 15 ประกอบด้วย โฟลเดอร์ images สำหรับจัดเก็บข้อมูลรูปภาพของวัตถุที่เกิดขึ้นในขั้นตอนสร้างชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน โฟลเดอร์ labels สำหรับจัดเก็บประเภทของข้อมูลที่ใช้สร้างชุดข้อมูลตัวอย่าง และไฟล์นามสกุล .emd (Esri model definition) ซึ่งเก็บข้อมูลการตั้งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ในการนำแบบจำลองไปใช้ต่อไปจะเรียกใช้งานผ่านไฟล์นามสกุล .emd นี้

Name	Date modified	Type	Size
images	24/7/2564 20:11	File folder	
labels	24/7/2564 20:10	File folder	
esri_accumulated_stats.json	24/7/2564 20:11	JSON File	3 KB
esri_model_definition.emd	24/7/2564 20:11	EMD File	3 KB
map	24/7/2564 20:11	Text Document	58 KB
stats	24/7/2564 20:11	Text Document	1 KB

ภาพที่ 15 ตัวอย่างโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง

4.4.1.3 การสร้างแบบจำลอง (Train Model)

การสร้างแบบจำลองจะใช้โปรแกรม Jupyter Notebook โดยเรียกใช้งานผ่าน Python Command Prompt ที่มีการตั้งค่าและติดตั้ง Library ที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก ในขั้นตอนนี้ จะกำหนดพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ 1) ขนาดของ Batch Size หมายถึง จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่ป้อนให้แบบจำลองในหนึ่งครั้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วการประมวลผลของ คอมพิวเตอร์ 2) ขนาดของ Chip Size โดยปกติจะกำหนดขนาด Chips Size เท่ากับ 256 พิกเซล และ 3) จำนวนรอบของการเรียนรู้ (Epoch) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้สร้างแบบจำลองจำนวน 10 แบบจำลองที่มีจำนวนรอบของการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10 รอบ 20 รอบ 30 รอบ 40 รอบ 50 รอบ 60 รอบ 70 รอบ 80 รอบ 90 รอบและ 100 รอบ

4.4.1.4 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

จากขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง จะสามารถแสดงผลลัพธ์ของค่าที่ใช้ในการประเมิน ประสิทธิภาพแบบจำลองได้ ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average precision : AP) โดยค่าเฉลี่ย ความแม่นยำคำนวณมาจากพื้นที่ใต้กราฟของค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความอ่อนไหวของ แบบจำลอง (Recall หรือ Sensitivity) โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่าเฉลี่ยความแม่นยำเข้า ใกล้ 1 แบบจำลองจะมีประสิทธิภาพที่ดี (Pisit, 2018) โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ความแม่นยำของแบบจำลองทั้ง 10 แบบจำลอง และคัดเลือกแบบจำลองที่มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำสูง ที่ดีที่สุด เพื่อนำมาเป็นแบบจำลองในการจำแนกวัตถุในภาพต่อไป

4.4.1.5 การนำแบบจำลองมาใช้ในการจำแนกวัตถุในภาพ (Detect Object)

การนำแบบจำลองมาใช้ในการจำแนกวัตถุในภาพจะใช้คำสั่ง Detect Object Using Deep Learning ในโปรแกรม ArcGIS Pro กำหนดข้อมูลนำเข้าเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 และเลือก Model Definition เป็นแบบจำลองที่สร้างสำเร็จและมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำดีที่สุดจากข้อ 4.4.1.4 จากนั้นจึงทำการจำแนกวัตถุในภาพ

4.4.2 การปรับขอบเขตอาคารให้เรียบตรง (Regularize Building Footprint)

การปรับขอบอาคารให้เรียบตรงเป็นการทำให้ขอบเขตหลังคาอาคารที่ได้จากแบบจำลองมี ลักษณะเป็นเหลี่ยมใกล้เคียงกับหลังคาอาคารในพื้นที่จริงมากขึ้น ทำได้โดยใช้เครื่องมือ Regularize Building Footprint ในโปรแกรม ArcGIS Pro ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ไขขอบเขตของอาคารที่สร้าง

โดยกระบวนการตรวจจับวัตถุจากภาพหรือวิธีอื่นที่ทำให้เกิดรูปปิดของหลังคาที่ไม่เป็นเหลี่ยมตามความเป็นจริง

4.5 การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

การวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค

4.5.1 ประเภทหลังคาในพื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้มีการแบ่งประเภทหลังคาออกเป็น 2 ประเภท คือ หลังคาประเภทแบนราบและหลังคาประเภทมีมุม โดยหลังคาประเภทแบนราบจะเป็นหลังคาของอาคารขนาดใหญ่ เช่น อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน อาคารโกดังสินค้า (เทศบาลนครปากเกร็ด, 2565) หลังคาแบบมีมุมจะเป็นหลังคาของบ้านที่อยู่อาศัยปกติ ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ใช้วิธีการสุ่มวัดพื้นที่หลังคาประเภทแบนราบซึ่งเป็นหลังคาอาคารขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษาโดยอาคารขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษาจะมีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 500 ตารางเมตรขึ้นไป จึงทำการแบ่งประเภทอาคารโดยใช้พื้นที่ 500 ตารางกิโลเมตร เป็นค่าแบ่งอาคารขนาดใหญ่ (หลังคาประเภทแบนราบ) และหลังคาขนาดเล็ก (หลังคาประเภทแบนราบมีมุม)

4.5.2 ค่าการลดทอนของหลังคาประเภทมีมุม (f_0)

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในพื้นที่จริง ในหลังคาประเภทมีมุมจะไม่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เต็มพื้นที่ เนื่องจากได้รับผลจากทิศทางการวางตัวของหลังคา โดยค่าการลดทอนหรือสัดส่วนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสำหรับหลังคาประเภทมีมุมมีค่าเท่ากับร้อยละ 50 หรือ (f_0) มีค่าเท่ากับ 0.5 (MacDonald, 2014; Wiginton et al., 2010)

4.5.3 การคำนวณพื้นที่หลังคาขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของหลังคาประเภทมีมุม

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (ล้านหน่วย/ปี) และหน่วยขายไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย จะสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยซึ่งคำนวณจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยได้เท่ากับ 4,295.50 หน่วยต่อปี (การไฟฟ้านครหลวง, 2564)

ตารางที่ 8 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยและหน่วยขายไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (การไฟฟ้านครหลวง, 2564)

จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (ราย)	3,702,796
หน่วยขายไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (ล้านหน่วย/ปี)	15,772.08

หากสามารถผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้เฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวัน (กริไทย, 2562) โดยใน 1 ปีมี 365 วัน จะสามารถคำนวณความต้องการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยได้ 3 กิโลวัตต์ต่อวัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ความต้องการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อวัน)} = \frac{\text{จำนวนหน่วยใช้ไฟฟ้าต่อปี}}{\text{จำนวนชั่วโมงในการผลิตไฟฟ้า } x \text{ จำนวนวันใน 1 ปี}} \quad (1)$$

โดยความต้องการใช้ไฟฟ้า 3 กิโลวัตต์ต่อวันจะต้องการพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอย่างน้อยประมาณ 25 ตารางเมตร (กริไทย, 2562) จากค่าการลดทอน (f_0) ของพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหลังคาประเภทมีมุมในข้อ 4.5.1 สามารถนำมาคำนวณพื้นที่หลังคาอย่างน้อยที่สุดที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาประเภทมีมุมได้ ดังสมการที่ 2

$$A_{pv} = A_{\text{roof}} * f_0 \quad (2)$$

โดยที่ A_{pv} คือ พื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาประเภทมีมุม หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่ 3 Kw จะต้องใช้พื้นที่ติดตั้งประมาณ 25 ตารางเมตร ดังนั้น A_{pv} จะมีค่าเท่ากับ 25 ตารางเมตร

A_{roof} คือ พื้นที่หลังคาทั้งหมด

f_0 คือ สัดส่วนของหลังคาอาคารที่มีพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

4.5.4 ปัจจัยทางกายภาพ

ปัจจัยทางกายภาพในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และพื้นที่ของหลังคาอาคาร ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลความเข้มรังสี

อาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย ปี 2560 ซึ่งพื้นที่ตำบลท่าอิฐมีค่าเฉลี่ย 18 MJ/m²-day หรือ 5 kWh/m²-day สำหรับพื้นที่หลังคาอาคารใช้ข้อมูลของหลังคาอาคารที่ทำการปรับขอบเรียบร้อยแล้วในขั้นตอนที่ 4.4.4 โดยกำหนดหน่วยเป็นตารางเมตร การคำนวณพื้นที่หลังคาอาคารจะคำนวณโดยจำแนกออกเป็นพื้นที่หลังคาของหมู่บ้าน 10 หมู่บ้านในตำบลท่าอิฐ

4.5.5 ปัจจัยทางเทคนิค

ปัจจัยทางเทคนิคในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency) และสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้ส่งผลต่อการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา

4.5.5.1 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและค่าประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากความบริสุทธิ์ของซิลิกอนที่ใช้ผลิต การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการใช้งานเป็นต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในการติดตั้ง ซึ่งจะพิจารณาจากค่าผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่ติดตั้งร่วมด้วย จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกกรวมมีค่าผลผลิตทางไฟฟ้าต่อพื้นที่ติดตั้งสูงที่สุด ในขณะที่ราคาของแผงมีราคาต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น และสามารถทนอุณหภูมิได้สูงจึงเหมาะสำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกกรวมในการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาในพื้นที่ศึกษา และในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกกรวมเท่ากับร้อยละ 15 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยตามผลการทดลองการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW (เอกพันธ์และคณะ, 2561)

4.5.5.2 สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio, PR)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นค่าที่ใช้วัดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ค่าสมรรถนะของระบบเท่ากับ 0.85 (International Energy Agency, 2019)

4.5.6 การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (กิโวลต์-ชั่วโมงต่อวัน)

การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา คำนวณโดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร ซึ่งได้จากการคำนวณขอบเขตของหลังคาอาคารที่ผ่านการ

จำแนกด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนที่ 4.4 ในงานวิจัยนี้จะคำนวณการใช้พื้นที่หลังคาในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม คำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$G = I \times A \quad (6)$$

โดยที่

- G = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)
- I = ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (kWh/m²-day)
- A = พื้นที่หลังคาที่เหมาะสม (m²)

4.5.7 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา คำนวณโดยใช้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency) คำนวณได้ดังสมการที่ 7

$$E = G \cdot \eta \cdot pr \quad (7)$$

โดยที่

- E = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)
- G = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)
- η = ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency)
- pr = สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาโดยจำแนกเป็นรายเดือน จะใช้ข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันรายเดือนบนหลังคาในตารางที่ 9 มาคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน) แบบแยกตามรายเดือนโดยใช้สมการที่ 7

ตารางที่ 9 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตำบลท่าอิฐ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

เดือน	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (MJ/m ² -day)
มกราคม	17.39
กุมภาพันธ์	18.98
มีนาคม	19.68
เมษายน	20.56
พฤษภาคม	18.57
มิถุนายน	18.08
กรกฎาคม	17.41
สิงหาคม	17.12
กันยายน	17.14
ตุลาคม	17.11
พฤศจิกายน	17.09
ธันวาคม	16.85

4.5.8 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาแยกตามรายเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาจำแนกตามรายเดือน คำนวณโดยใช้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันตามรายเดือน ข้อมูลพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency) และค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Ratio)

4.5.9 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี คำนวณโดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day) คูณกับจำนวนวันใน 1 ปี คำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$E_{yr} = E \times 365 \quad (8)$$

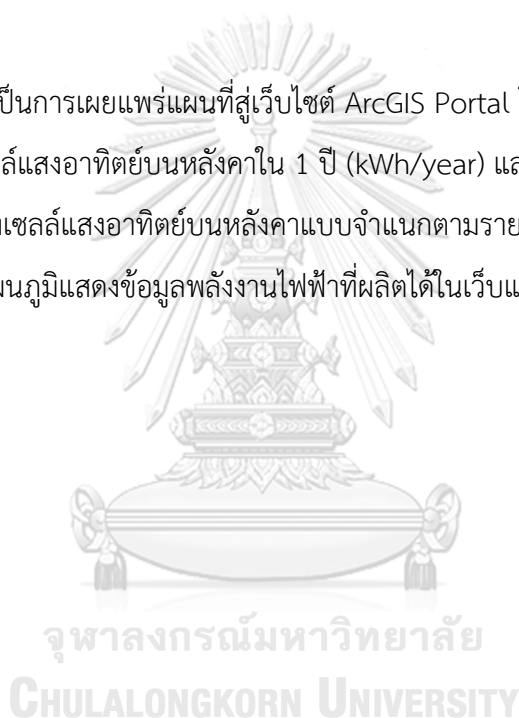
โดยที่ E_{yr} = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (kWh/year)
 E = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

4.6 การวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

การวิเคราะห์หาศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจะประเมินโดยใช้ปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค ในการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจะคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาในระยะเวลา 1 ปี และแบ่งข้อมูลออกเป็นรายหมู่บ้าน เปรียบเทียบศักยภาพของพื้นที่หมู่บ้านในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและแสดงผลในรูปแบบของแผนที่

4.7 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่

ขั้นตอนนี้จะเป็นการเผยแพร่แผนที่สู่เว็บไซต์ ArcGIS Portal โดยแสดงผลข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี (kWh/year) และแสดงศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบจำแนกตามรายหมู่บ้านในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งสร้าง Pop-up และแผนภูมิแสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในเว็บแอปพลิเคชัน



บทที่ 5

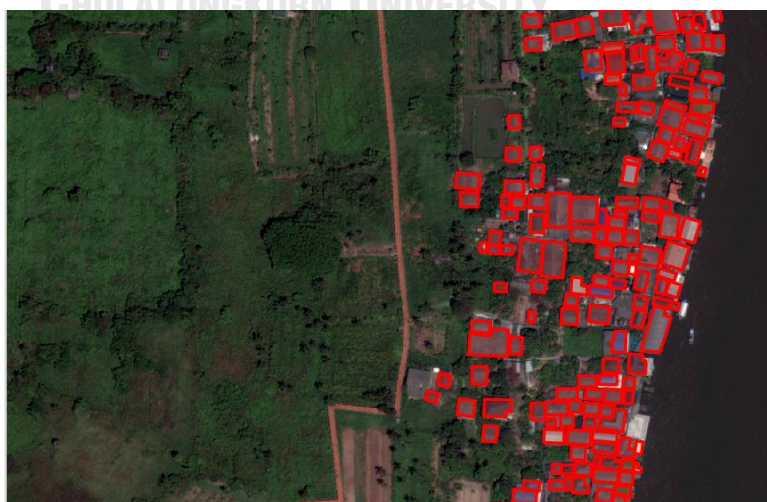
ผลการศึกษา

ผลการศึกษาประกอบด้วย ฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก การจำแนกหลังคาอาคารโดยใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง การคำนวณพื้นที่หลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษา การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค และการจัดทำเว็บ แอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้ง แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5.1.1 การสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

การสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก โดยกำหนด จำนวนรอบของการเรียนรู้ (Epoch) ที่แตกต่างกัน 10 แบบจำลอง ได้แก่ 10 รอบ 20 รอบ 30 รอบ 40 รอบ 50 รอบ 60 รอบ 70 รอบ 80 รอบ 90 รอบ และ 100 รอบ โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเป็นภาพถ่าย จากดาวเทียม WorldView-3 เพื่อจำแนกวัตถุในภาพ ภาพที่ 16 แสดงตัวอย่างการจำแนกขอบเขต หลังคาด้วยการเรียนรู้เชิงลึกจากแบบจำลองที่ 3 (30 รอบการเรียนรู้) พบว่าแบบจำลองยังมีการ จำแนกหลังคาอาคารไม่ถูกต้องในบางตำแหน่ง จึงต้องมีประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 10 แบบจำลอง เพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเพื่อนำไปใช้งานในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 16 ภาพตัวอย่างข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอนแบบจำลอง



ภาพที่ 17 ตัวอย่างการจำแนกขอบเขตหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกจากแบบจำลองที่ 3 (30 รอบการเรียนรู้)

5.1.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ตารางที่ 10 พบว่าค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average Precision : AP) ของแบบจำลองที่ 10 (100 epochs) มีค่าสูงที่สุด (เข้าใกล้ 1 มากที่สุด) ประกอบกับเมื่อพิจารณาค่าความสูญเสียของชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลอง (Training Loss) และค่าความสูญเสียของชุดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลอง (Validation Loss) จะพบว่าค่าทั้ง 2 มีความใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มคงที่ ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกแบบจำลองที่ 10 (100 epoch) เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการจำแนกหลังคาอาคาร

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average precision : AP) ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลอง	จำนวนรอบของการเรียนรู้ (Epoch)	ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Average precision : AP)
แบบจำลองที่ 1	10	0.748
แบบจำลองที่ 2	20	0.771
แบบจำลองที่ 3	30	0.787
แบบจำลองที่ 4	40	0.799
แบบจำลองที่ 5	50	0.829
แบบจำลองที่ 6	60	0.827
แบบจำลองที่ 7	70	0.830
แบบจำลองที่ 8	80	0.864
แบบจำลองที่ 9	90	0.861
แบบจำลองที่ 10	100	0.874

5.1.3 การตรวจสอบแก้ไขข้อมูลและการปรับขอบเขตอาคารให้เรียบตรง

เนื่องจากผลลัพธ์การจำแนกขอบเขตอาคารของแบบจำลองอาจมีความไม่ครบถ้วนของการสกัดหลังคาหรือสกัดหลังคาไม่ถูกต้องในบางจุด จึงต้องใช้วิธีการแก้ไขข้อมูลด้วยมนุษย์เพื่อให้ข้อมูลมีความครบถ้วนถูกต้องยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 18 เพื่อการนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(a) หลังคาอาคารก่อนทำ Data Cleansing



(b) หลังคาอาคารหลังทำ Data Cleansing

ภาพที่ 18 เปรียบเทียบก่อนและหลังการตรวจสอบแก้ไขข้อมูล

เมื่อได้ผลลัพธ์จากการจำแนกขอบเขตอาคารเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับขอบเขตอาคารให้เรียบตรง เพื่อให้ขอบเขตหลังคาอาคารที่ได้จากแบบจำลองมีความเป็นเหลี่ยมใกล้เคียงกับหลังคาจริง มีความถูกต้องตามลักษณะหลังคาอาคารมากขึ้น (ภาพที่ 19) โดยใช้เครื่องมือ Regularize Building Footprint ในโปรแกรม ArcGIS Pro

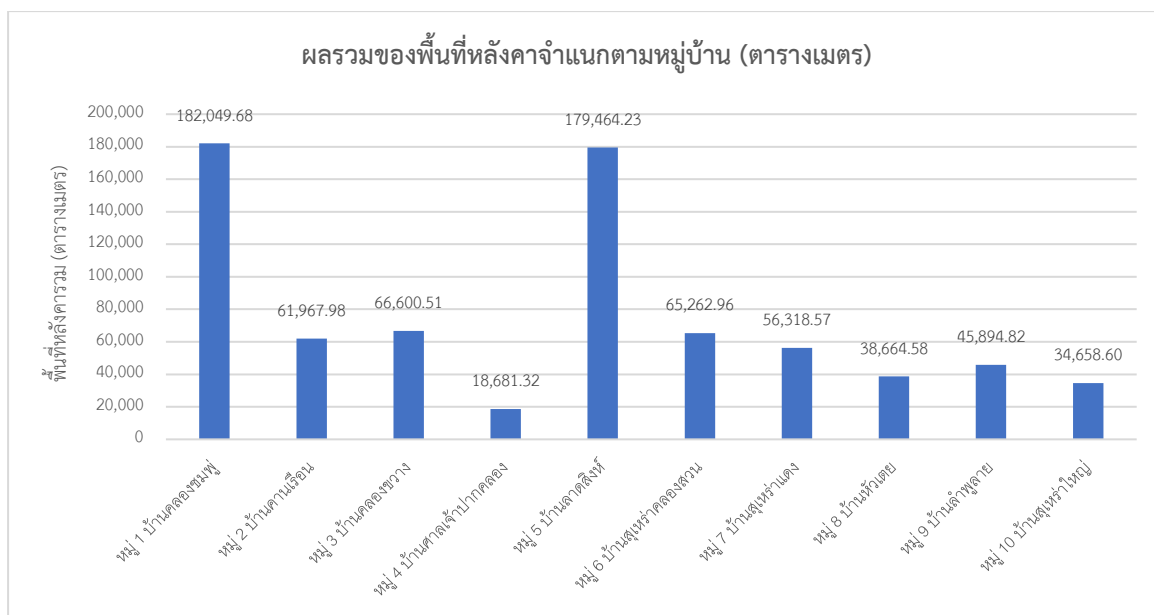


(a)



(b)

ภาพที่ 19 ขอบเขตหลังคาอาคาร (a) ก่อนการปรับให้เรียบตรง และ (b) หลังการปรับให้เรียบตรง



ภาพที่ 21 ผลรวมของพื้นที่หลังคาในพื้นที่ตำบลท่าอิฐ จำแนกตามหมู่บ้าน

5.2 การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค

5.2.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

5.2.1.1 ประเภทหลังคาในพื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้มีการแบ่งประเภทหลังคาออกเป็น 2 ประเภท คือ หลังคาประเภทแบนราบและหลังคาประเภทมีมุม โดยหลังคาประเภทแบนราบจะเป็นหลังคาของอาคารขนาดใหญ่ เช่น อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน อาคารโกดังสินค้า เป็นต้น (เทศบาลนครปากเกร็ด, 2565) หลังคาแบบมีมุมจะเป็นหลังคาของบ้านที่อยู่อาศัยปกติ ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ใช้วิธีการสุ่มวัดพื้นที่หลังคาประเภทแบนราบซึ่งเป็นหลังคาอาคารขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษาโดยอาคารขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษาจะมีขนาดพื้นที่ตั้งแต่ 500 ตารางเมตรขึ้นไป จึงทำการแบ่งประเภทอาคารโดยใช้พื้นที่ 500 ตารางกิโลเมตร เป็นค่าแบ่งอาคารขนาดใหญ่ (หลังคาประเภทแบนราบ) และหลังคาขนาดเล็ก (หลังคามีมุม) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ประเภทหลังคาและร้อยละจำนวนหลังคา

ประเภทหลังคา	จำนวน (หลังคา)	ร้อยละ
หลังคาประเภทแบนราบ (หลังคาขนาดใหญ่)	80	1.27
หลังคาประเภทมีมูม (หลังคาขนาดเล็ก/ที่อยู่อาศัยปกติ)	6,193	98.73

5.2.1.2 ค่าการลดทอนของหลังคาประเภทมีมูม (f_0)

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา หลังคาประเภทมีมูมจะสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เฉพาะในทิศทางที่เหมาะสม โดยทิศทางที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง คือ ทิศใต้ และทิศทางที่ไม่ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ทิศเหนือ พื้นที่หลังคาหนึ่ง ๆ จะมีทิศทางของหลังคาหันไปทางทิศใต้ที่ได้ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดประมาณร้อยละ 50 (MacDonald, 2014) ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้หลังคาประเภทมีมูมสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ร้อยละ 50 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด หรือมีค่า f_0 เท่ากับ 0.5

5.2.1.3 การคำนวณพื้นที่หลังคาขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่บ้านอยู่อาศัยหนึ่งหลังต้องการมีค่าเท่ากับ 3 กิโลวัตต์ (kW) ซึ่งในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องใช้พื้นที่สำหรับติดตั้งอย่างน้อยประมาณ 25 ตารางเมตร (ฉิรไทย, 2562)

ค่าการลดทอนของหลังคาประเภทมีมูม (f_0) มีเท่ากับ 0.5 จึงคำนวณพื้นที่หลังคาที่เล็กที่สุดที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการ

$$A_{PV} = A_{\text{roof}} * f_0$$

$$25 = A_{\text{roof}} * 0.5$$

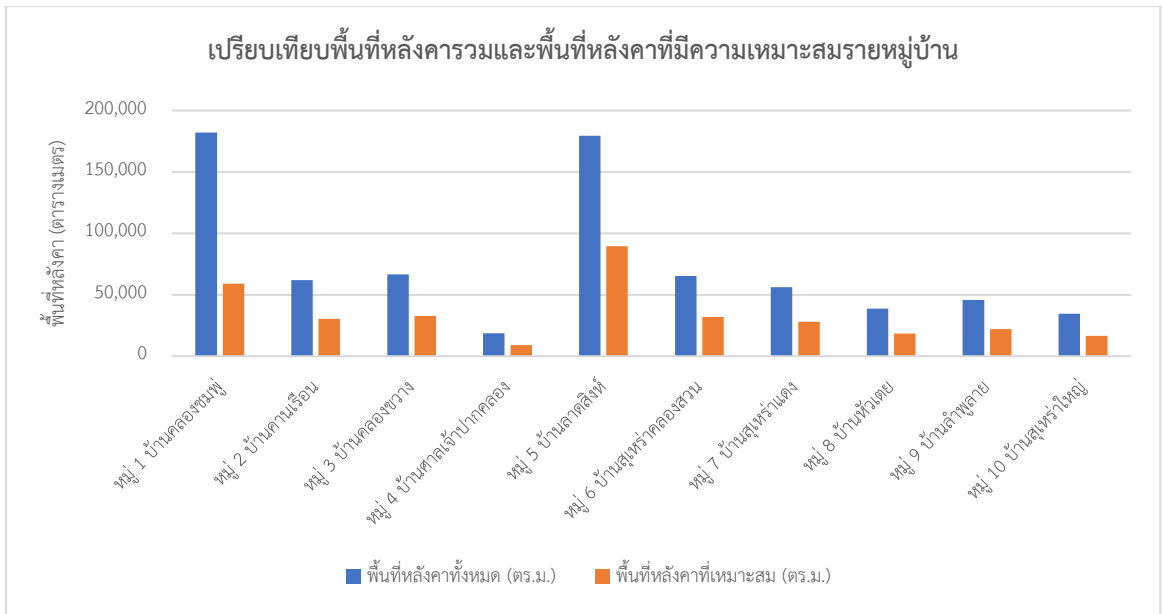
$$A_{\text{roof}} = 50 \text{ ตารางเมตร}$$

ดังนั้นพื้นที่หลังคาขนาดเล็กที่สุดสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าได้ 3 kW ควรมีขนาดตั้งแต่ 50 ตารางเมตรขึ้นไป ในงานวิจัยนี้จะทำการคัดเลือกเฉพาะหลังคาที่มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือหลังคาอาคารที่พื้นที่มากกว่า 50 ตารางเมตร

ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 12 พบว่าบ้านลาดสิงห์มีพื้นที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด อย่างไรก็ตามบ้านคลองขมพุ่มีผลรวมของพื้นที่หลังอาคารมากที่สุด แต่มีพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนที่น้อยที่สุด (ภาพที่ 22 และภาพที่ 23)

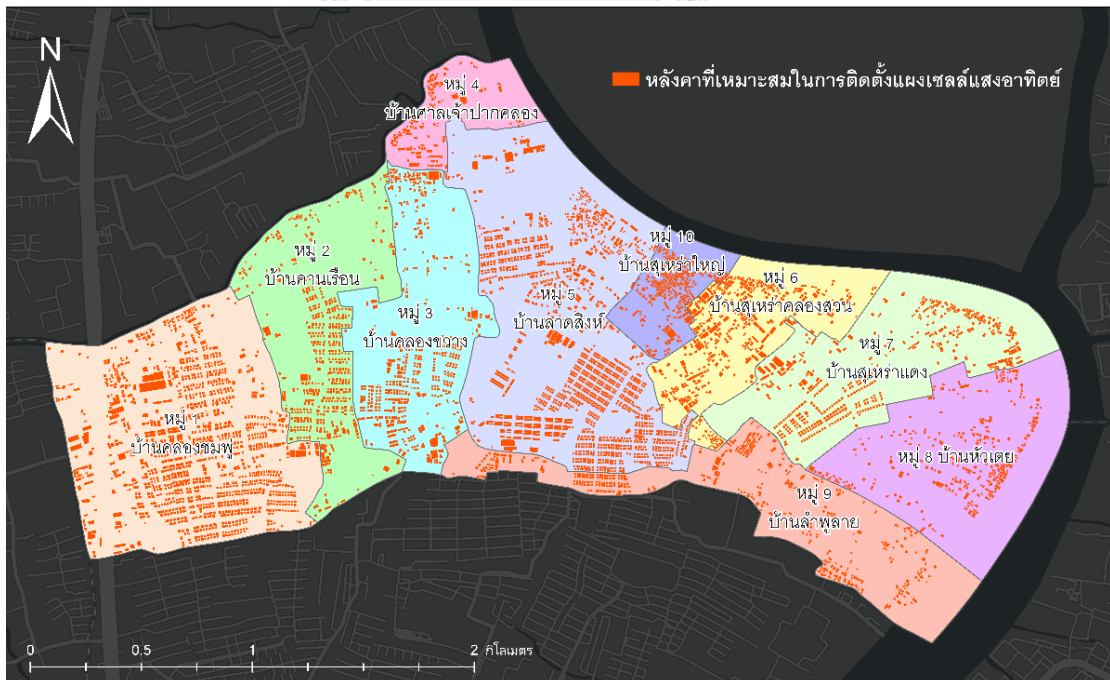
ตารางที่ 12 จำนวนหลังคาและพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมต่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมู่บ้าน	จำนวนหลังคา		พื้นที่หลังคา		
	ทั้งหมด (หลังคา)	ที่มีความ เหมาะสม (หลังคา)	ทั้งหมด (ตร.ม.)	ที่มีความ เหมาะสม (ตร.ม.)	ร้อยละ
หมู่ 1 บ้านคลองขมพุ่ม	1,304	1,262	182,049.68	59,086.90	32.46
หมู่ 2 บ้านคานเรือ	567	516	61,967.98	30,411.53	49.08
หมู่ 3 บ้านคลองขวาง	563	510	66,600.51	32,725.69	49.14
หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปากคลอง	157	126	18,681.32	8,896.97	47.62
หมู่ 5 บ้านลาดสิงห์	1,441	1,381	179,464.23	89,547.28	49.90
หมู่ 6 บ้านสุเหร่าคลองสวน	533	491	65,262.96	32,065.42	49.13
หมู่ 7 บ้านสุเหร่าแดง	458	442	56,318.57	28,162.85	50.01
หมู่ 8 บ้านหัวเตย	396	332	38,664.58	18,361.73	47.49
หมู่ 9 บ้านลำพูลาย	504	442	45,894.82	21,990.89	47.92
หมู่ 10 บ้านสุเหร่าใหญ่	349	307	34,658.60	16,702.60	48.19



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบพื้นที่หลังคารวมและพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมรายหมู่บ้าน

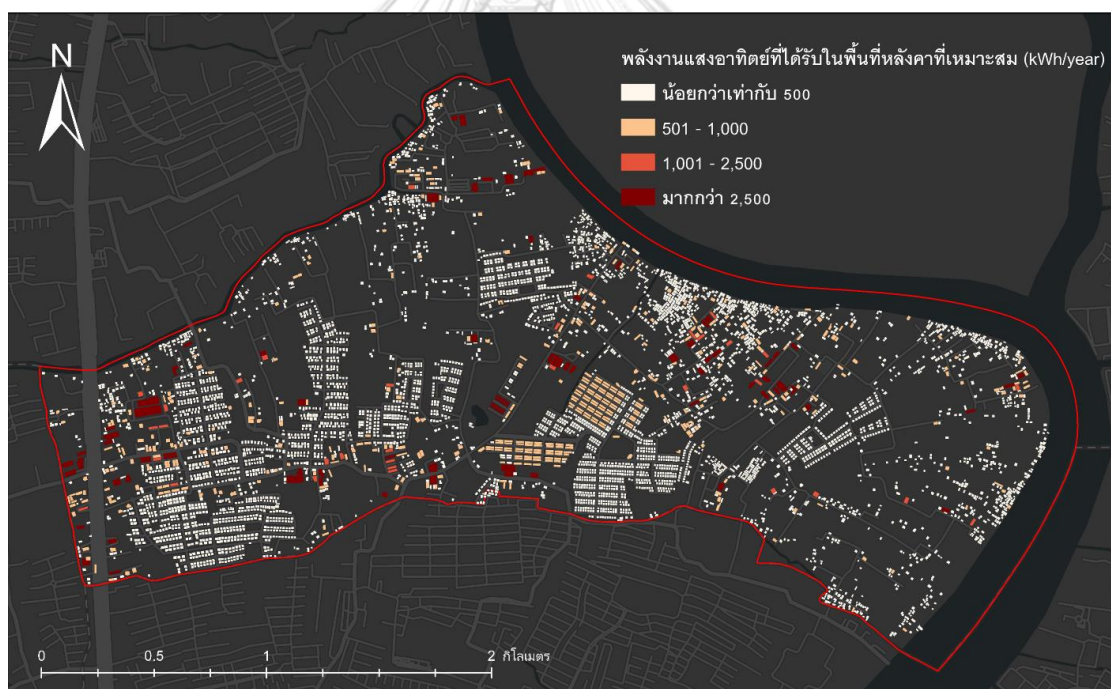
โดยค่าเฉลี่ยขนาดพื้นที่หลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 125.87 ตารางเมตร แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยขนาดพื้นที่ของหลังคาอาคารประเภทแบนราบ (หลังคาอาคารขนาดใหญ่) มีค่าเท่ากับ 847.66 ตารางเมตร ค่าเฉลี่ยขนาดพื้นที่ของหลังคาอาคารประเภทมีมุม (หลังคาอาคารขนาดเล็ก/ที่อยู่อาศัยปกติ) มีค่าเท่ากับ 115.79 ตารางเมตร



ภาพที่ 23 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5.2.2 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่หลังคาเฉลี่ยต่อวัน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)

เมื่อนำค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ตำบลท่าอิฐ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 kWh/m²-day คูณกับขนาดพื้นที่หลังคาสำหรับหลังคาประเภทแบนราบ และนำค่าข้างต้นคูณเพิ่มกับค่าลดทอน (f_0) สำหรับหลังคาประเภทมีมุม จะได้ผลลัพธ์เป็นพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของพื้นที่ที่เหมาะสมในพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 24) จากตารางที่ 13 ได้มีการแบ่งช่วงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนหลังคาที่เหมาะสมในพื้นที่ศึกษาและแบ่งตามประเภทของหลังคา พบว่าหลังคาประเภทมีมุม จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอยู่ในช่วงน้อยกว่าเท่ากับ 500 ถึง 2,500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน โดยหลังคาประเภทมีมุม ส่วนใหญ่จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่าเท่ากับ 500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (จำนวน 5,257 อาคาร คิดเป็นร้อยละ 90.50) สำหรับหลังคาประเภทแบนราบจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคามากกว่า 2,500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาในพื้นที่ศึกษามีผลรวมเท่ากับ 1,850,953.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน



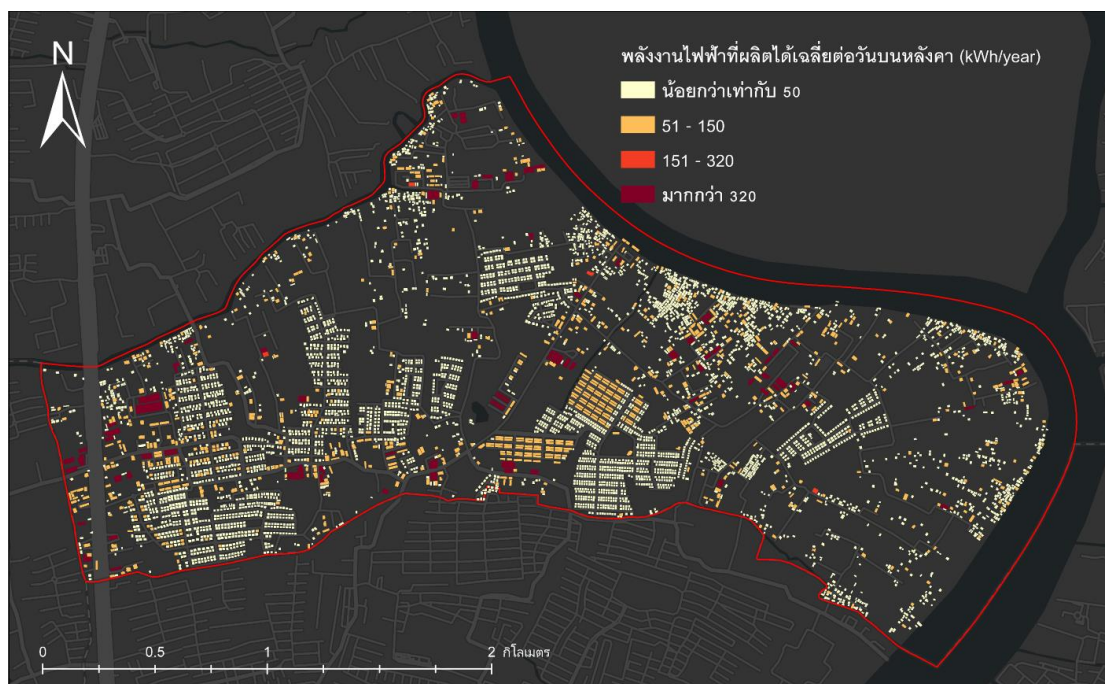
ภาพที่ 24 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)

ตารางที่ 13 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)

ประเภทหลังคา	พลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/day)	จำนวนหลังคา	ร้อยละ
หลังคาประเภทมีมุง	≤ 500	5,257	90.50
	501 – 1,000	439	7.56
	1,001 – 2,500	33	0.57
หลังคาประเภทแบน	> 2,500	80	1.38

5.2.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)

เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาคูณกับค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Panel Efficiency) และค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) จะได้เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 25) จากตารางที่ 14 ได้มีการแบ่งช่วงพลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาและแบ่งตามประเภทของหลังคา พบว่าหลังคาประเภทมีมุงจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาอยู่ในช่วงน้อยกว่าเท่ากับ 50 ถึง 320 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน โดยหลังคาส่วนใหญ่จะสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันบนหลังคาอยู่ในช่วงน้อยกว่าเท่ากับ 50 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (จำนวน 4,932 อาคาร คิดเป็นร้อยละ 84.90) สำหรับหลังคาประเภทแบนราบ สามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคามากกว่า 320 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน โดยที่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาในพื้นที่ศึกษามีผลรวมเท่ากับ 235,996.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

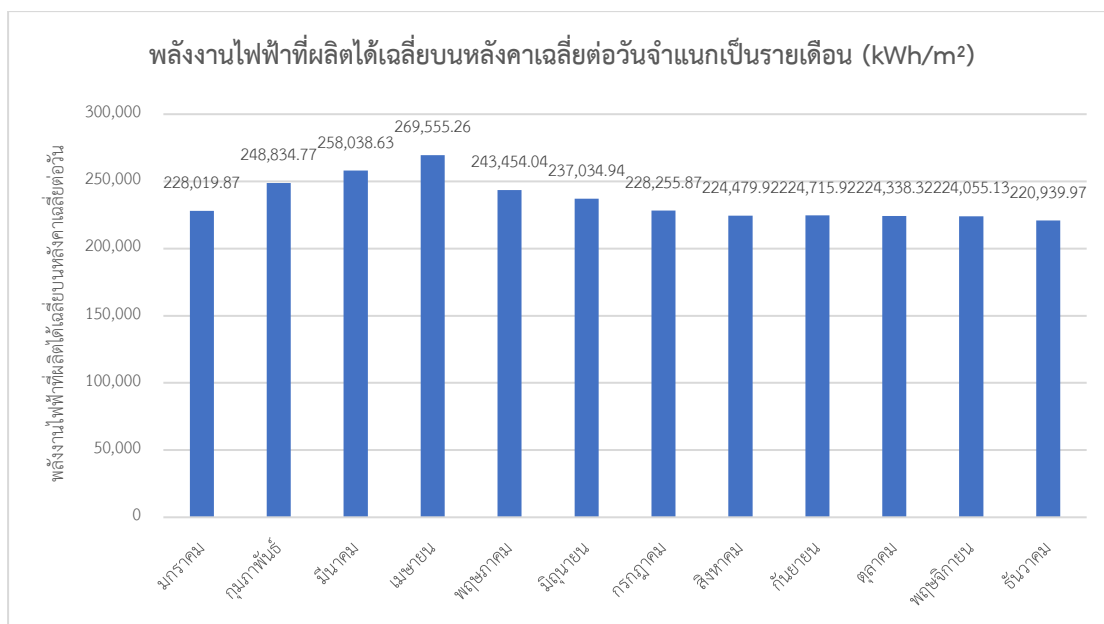


ภาพที่ 25 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

ตารางที่ 14 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day)

ประเภทหลังคา	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)	จำนวนหลังคา	ร้อยละ
หลังคาประเภทมีมุม	≤ 50	4,932	84.90
	51 - 150	793	13.65
	151 - 320	4	0.07
หลังคาประเภทแบนราบ	> 320	80	1.38

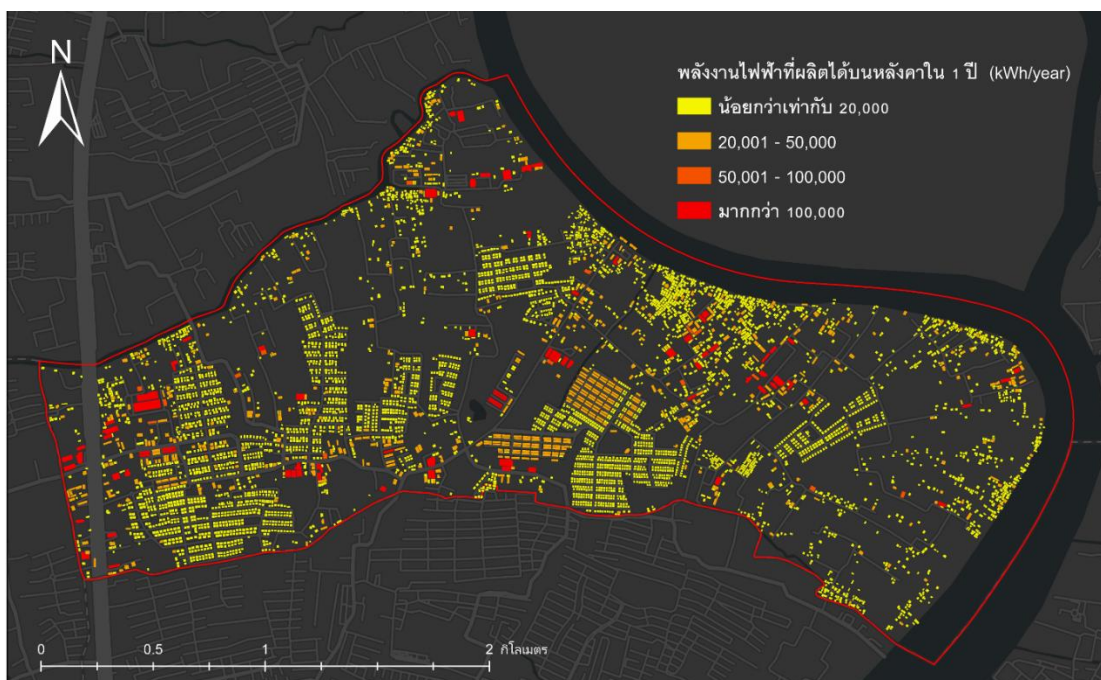
เมื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวันบนหลังคาโดยจำแนกเป็นรายเดือน (ภาพที่ 26) พบว่า เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายนเป็นช่วงที่ผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันได้มาก โดยเดือนที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันบนหลังคาในพื้นที่ศึกษาได้มากที่สุด คือ เดือนเมษายน ผลิตไฟฟ้าได้ 269,555.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมง



ภาพที่ 26 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาจำแนกเป็นรายเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)

5.2.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี)

คำนวณโดยการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา คูณกับจำนวนวันในหนึ่งปี (365 วัน) จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (ภาพที่ 27) ตารางที่ 15 ได้มีการแบ่งช่วงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี และแบ่งตามประเภทของหลังคา พบว่าหลังคาประเภทมีมม มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี อยู่ในช่วงน้อยกว่าเท่ากับ 20,000 ถึง 100,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน โดยหลังคาส่วนใหญ่จะสามารถผลิตไฟฟ้ารวมใน 1 ปี อยู่ในช่วงน้อยกว่าเท่ากับ 20,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (จำนวน 5,103 อาคาร คิดเป็นร้อยละ 87.85) สำหรับหลังคาประเภทแบนราบ สามารถผลิตไฟฟ้ารวมใน 1 ปี อยู่ในช่วงมากกว่า 100,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อปีบนหลังคาในพื้นที่ศึกษามีผลรวมเท่ากับ 86,138,742.05 MWh/year หรือ 86.14 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี (GWh/year) ข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาในระยะเวลา 1 ปี เมื่อจำแนกผลรวมเป็นรายหมู่บ้าน พบว่าหมู่บ้านที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้ปริมาณมาก ได้แก่ บ้านคลองชมพู่ และบ้านลาดสิงห์ (ตารางที่ 16)



ภาพที่ 27 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เหมาะสมใน 1 ปี (kWh/year)

ตารางที่ 15 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เหมาะสมใน 1 ปี (kWh/year)

ประเภทหลังคา	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี (kWh/year)	จำนวนหลังคา	ร้อยละ
หลังคาประเภทมีมุม	$\leq 20,000$	5,103	87.85
	20,001 - 50,000	611	10.52
	50,001 - 100,000	15	0.26
หลังคาประเภทแบนราบ	$> 100,000$	80	1.38

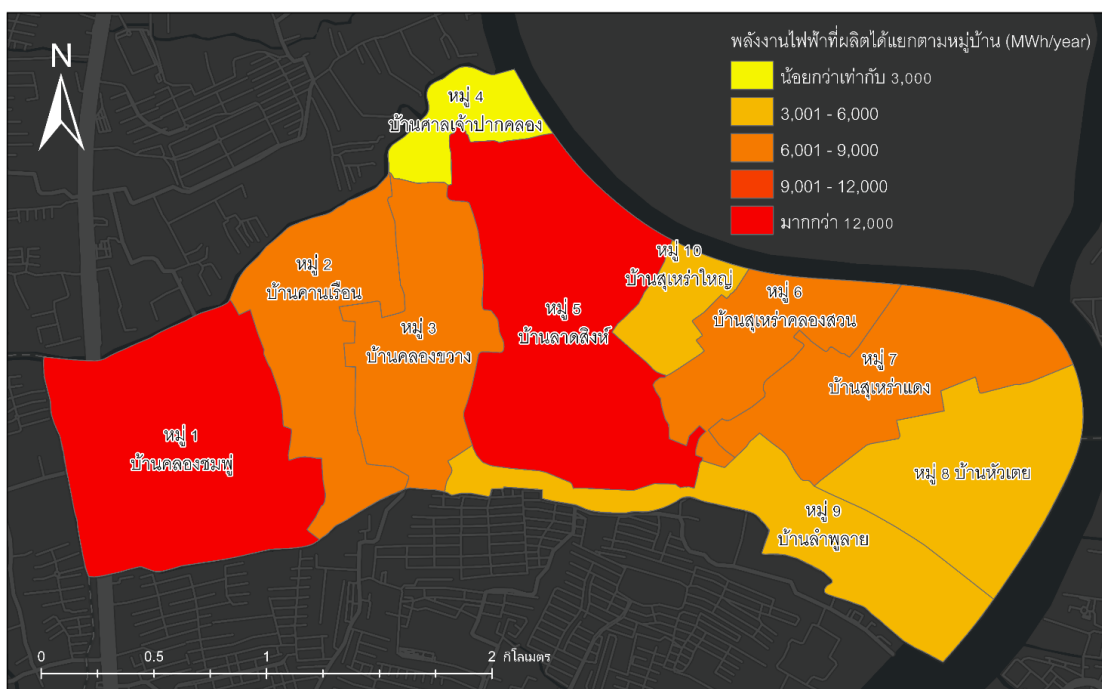
โดยค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี ในพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 16,002.44 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร-ปี แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปีของหลังคาอาคารประเภทแบนราบ (หลังคาอาคารขนาดใหญ่) มีค่าเท่ากับ 197,240.80 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร-ปี ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปีของหลังคาอาคารประเภทมีมุม (หลังคาอาคารขนาดเล็ก) มีค่าเท่ากับ 13,471.62 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร-ปี

ตารางที่ 16 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี จำแนกตามหมู่บ้าน (เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี)

ชื่อหมู่บ้าน	พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตร.ม.)	พื้นที่หลังคาที่เหมาะสม (ตร.ม.)	ค่าพลังงานที่ผลิตได้ใน 1 ปี (MWh/ปี)
หมู่ 1 บ้านคลองชมพู	182,049.68	59,086.90	21,250.35
หมู่ 2 บ้านคานเรือ	61,967.98	30,411.53	7,076.38
หมู่ 3 บ้านคลองขวาง	66,600.51	32,725.69	7,614.86
หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปากคลอง	18,681.32	8,896.97	2,070.21
หมู่ 5 บ้านลาดสิงห์	179,464.23	89,547.28	20,836.53
หมู่ 6 บ้านสุเหร่าคลองสวน	65,262.96	32,065.42	7,461.22
หมู่ 7 บ้านสุเหร่าแดง	56,318.57	28,162.85	6,553.14
หมู่ 8 บ้านหัวเตย	38,664.58	18,361.73	4,272.54
หมู่ 9 บ้านลำพุลาย	45,894.82	21,990.89	5,117.01
หมู่ 10 บ้านสุเหร่าใหญ่	34,658.60	16,702.60	3,886.49

5.2.5 ศักยภาพของพื้นที่หมู่บ้านในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

การวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี แบบแบ่งตามรายหมู่บ้าน ได้ผลลัพธ์ดังนี้ หมู่บ้านที่มีศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี อยู่ในช่วงน้อยกว่า 3,000 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มี 1 หมู่บ้าน คือ บ้านศาลเจ้าปากคลอง ศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี อยู่ในช่วง 3,001 – 6,000 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มี 3 หมู่บ้าน คือ บ้านหัวเตย บ้านลำพุลาย และบ้านสุเหร่าใหญ่ ศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี อยู่ในช่วง 6,001 – 9,000 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มี 4 หมู่บ้าน คือ บ้านคานเรือ บ้านคลองขวาง บ้านสุเหร่าคลองสวน และ บ้านสุเหร่าแดง และศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี อยู่ในช่วงมากกว่า 12,000 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี มี 2 หมู่บ้าน คือ บ้านคลองชมพู และ บ้านลาดสิงห์

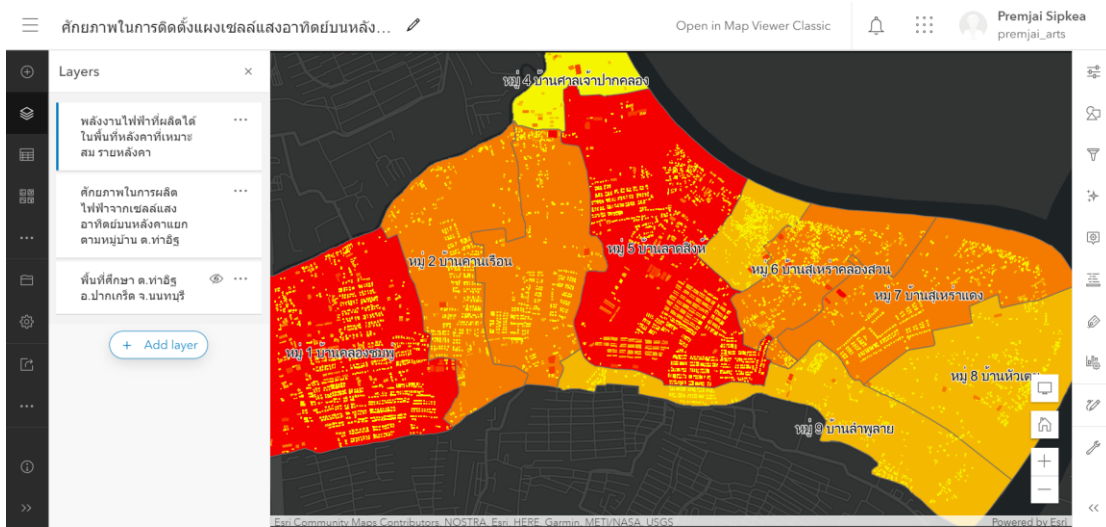


ภาพที่ 28 ศักยภาพของพื้นที่หมู่บ้านในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

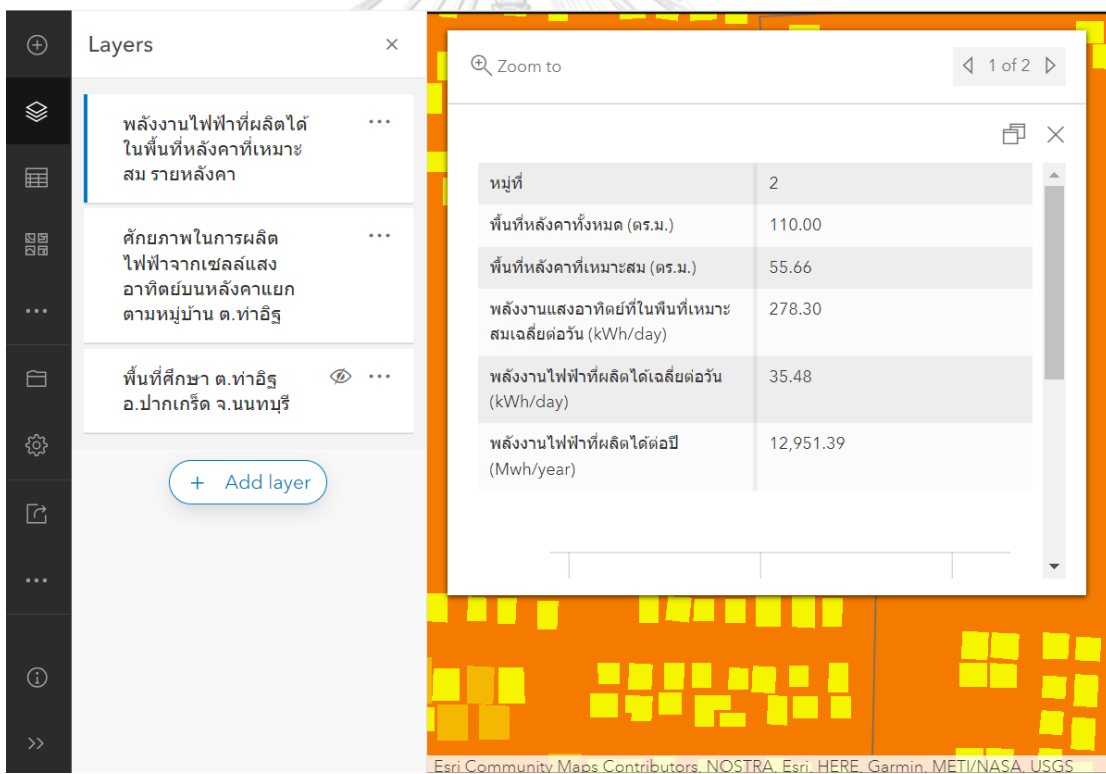
5.3 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ ArcGIS Online

เมื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (kWh/year) และแสดงระดับศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาจำแนกตามรายหมู่บ้านในพื้นที่ศึกษาจากการตั้งค่าการแสดงผลของแผนที่และปรับแต่งการแสดงผล Pop up ของข้อมูลใน ArcGIS online แล้ว จะได้แผนที่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 29

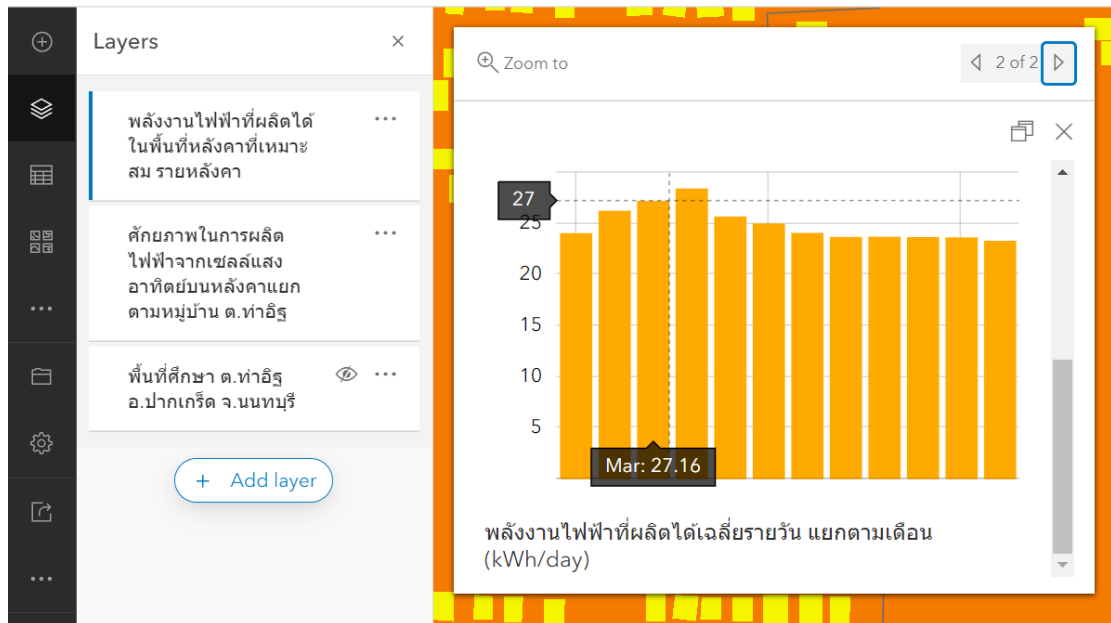
ในชั้นข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมรายหลังคา ประกอบด้วย คำอธิบายข้อมูล ได้แก่ ที่ตั้งอาคาร พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตารางเมตร) พื้นที่หลังคาอาคารที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ (ตารางเมตร) ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่หลังคาที่ได้รับเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในพื้นที่หลังคาที่เฉลี่ยต่อวัน (kWh/day) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีของอาคาร (MWh/year) ดังแสดงในภาพที่ 30 นอกจากนี้ ยังสามารถเรียกดูแผนภูมิค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (kWh/day) ที่แตกต่างกันไปในแต่ละเดือนได้ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 29 เว็บไซต์พลิเคชัน แสดงชั้นข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคา



ภาพที่ 30 คำอธิบายข้อมูลสำหรับชั้นข้อมูลหลังคาอาคาร



ภาพที่ 31 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยโดยแยกรายเดือน

ในชั้นข้อมูลศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยจำแนกตามหมู่บ้านสามารถเรียกดูข้อมูลได้ดังนี้ จังหวัดของพื้นที่ศึกษา (องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี) อำเภอที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา (อำเภอ ปากเกร็ด) ตำบลที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา (องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี) หมู่ที่ ชื่อหมู่บ้าน ศักยภาพพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคารวมทั้งหมู่บ้านใน 1 ปี (MWh/year) ดังภาพที่ 32

Zoom to

หมู่ 1 บ้านคลองชมพู

จังหวัด	นนทบุรี
อำเภอ	ปากเกร็ด
ตำบล	ท่าอิฐ
หมู่ที่	1
ชื่อหมู่บ้าน	บ้านคลองชมพู
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี (MWh/Year)	21,250.35

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในพื้นที่หลังคาที่เหมาะสม รายหลังคา

ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแยกตามหมู่บ้าน ด.ท่าอิฐ

พื้นที่ศึกษา ด.ท่าอิฐ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

+ Add layer

หมู่ 1 บ้านคลองชมพู

ภาพที่ 32 คำอธิบายข้อมูลชั้นข้อมูลศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

5.4 อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาและศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในพื้นที่ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี พบว่า ในพื้นที่ศึกษามีขนาดพื้นที่หลังคาทั้งหมดรวม 749,563.23 ตารางเมตร พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมรวม 337,951.86 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 45.09 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด หมู่บ้านที่มีสัดส่วนของพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมมากที่สุดคือ บ้านสุเหร่าแดง และหมู่บ้านที่มีสัดส่วนพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมต่อพื้นที่ทั้งหมดน้อยที่สุดคือ บ้านคลองชมพู ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาประมาณ 1,850,953.361 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี สามารถนำมาคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาในพื้นที่ศึกษาได้ 235,996.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

หากพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคาในพื้นที่ศึกษาแบบแบ่งตามรายเดือน พบว่าในช่วงเดือนเมษายนมีปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันมากที่สุด 269,555.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวันเนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อน ท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆน้อยและมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงวันในพื้นที่เกือบจะเป็นมุมฉาก ส่งผลให้มีระยะเวลากลางวันที่ยาวนาน ทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีมาก และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลงในช่วงฤดูฝนคือช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม เนื่องจากมีเมฆปกคลุมบนท้องฟ้าและมีปริมาณไอน้ำในชั้นบรรยากาศมาก รังสีจากดวงอาทิตย์ถูกบดบัง ส่งผลให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อย ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมมีค่าต่ำเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำกับพื้นที่ศึกษาในช่วงเที่ยงส่งผลให้ระยะเวลากลางวันสั้นจึงทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อย ซึ่งผลการศึกษางานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pholnak et al. (2017) และงานวิจัยของบัญชา (2562) ซึ่งมีการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แยกตามรายเดือน แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลมีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

ผลการวิจัยพบว่า ในพื้นที่ศึกษามีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาใน 1 ปี มีค่ารวม 86,138.74 เมกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าและศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในงานวิจัยนี้สัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่หลังคา เนื่องจากมีการใช้พื้นที่หลังคาเป็นปัจจัยทางกายภาพในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ หมู่บ้านที่มีระดับศักยภาพของพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงคือ บ้านคลองชมพู และบ้านลาดสิงห์ โดยบ้านคลองชมพู ถึงแม้จะมีสัดส่วนของพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมน้อย (ร้อยละ 32.46) แต่มีจำนวนหลังคาจำนวนมาก จึงทำให้มีศักยภาพในการผลิตพลังงาน

ไฟฟ้ามาก ส่วน บ้านลาดสิงห์ เนื่องจากเป็นหมู่บ้านที่มีเส้นทางติดต่อกับถนนรัตนวิเบศร์ซึ่งเป็นสายหลักของจังหวัดนนทบุรี ทำให้มีประชาชนอาศัยค่อนข้างหนาแน่น เป็นหมู่บ้านที่มีพื้นที่ของหมู่บ้านจัดสรรมากที่สุด จึงมีผลรวมของพื้นที่หลังคามาก ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของทั้งสองหมู่บ้าน มีค่ามากตามไปด้วย



บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ศักยภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงาน 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค และการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ ดังนี้

การพัฒนาฐานข้อมูลหลังคาอาคารเพื่อการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ในพื้นที่ศึกษา ตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-3 และเทคนิควิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ในการจำแนกหลังคาอาคารจากภาพถ่ายดาวเทียม เริ่มจากการสร้างแบบจำลองในการจำแนกหลังคาอาคารจำนวน 10 แบบจำลอง แตกต่างกันตามจำนวนรอบของการเรียนรู้ ได้แก่ 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 รอบการเรียนรู้ จากนั้นจึงทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยความแม่นยำพบว่า แบบจำลองที่ 100 รอบการเรียนรู้เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในขั้นตอนการจำแนกโดยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก และเนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้อาจมีการทำนายขอบเขตหลังคาบางตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องจึงใช้วิธีการแก้ไขข้อมูลด้วยมนุษย์ เพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้อมูลหลังคาอาคารที่ได้จะถูกนำมาปรับขอบให้เรียบตรง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาพื้นที่รวมของหลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษา โดยค่าเฉลี่ยขนาดพื้นที่หลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 125.87 ตารางเมตร แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยขนาดพื้นที่ของหลังคาอาคารประเภทแบนราบ (หลังคาอาคารขนาดใหญ่) มีค่าเท่ากับ 847.66 ตารางเมตร ค่าเฉลี่ยขนาดพื้นที่ของหลังคาอาคารประเภทมีมุม (หลังคาอาคารขนาดเล็ก/ที่อยู่อาศัยปกติ) มีค่าเท่ากับ 115.79 ตารางเมตร เมื่อจำแนกข้อมูลผลรวมของพื้นที่หลังคาออกเป็นรายหมู่บ้าน พบว่า บ้านคลองชมพูมีพื้นที่หลังคาอาคารรวมมากที่สุด รองลงมาคือ บ้านลาดสิงห์

การวิเคราะห์ระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเทคนิค เริ่มจากการแบ่งประเภทหลังคาอาคารในพื้นที่ศึกษาเป็น

หลังคาอาคารประเภทแบนราบ (หลังคาอาคารขนาดใหญ่) และหลังคาอาคารประเภทมีมูม (หลังคาอาคารขนาดเล็ก) จากนั้นคำนวณหาค่าการลดทอนของหลังคาประเภทมีมูม ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา หลังคาแบบมีมูมจะมีข้อจำกัดในเรื่องของทิศทางในการติดตั้ง ในงานวิจัยนี้หลังคาที่หันไปทางทิศใต้จะสามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด และหลังคาที่หันหน้าไปทางทิศเหนือจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด ถือเป็นตำแหน่งการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นหลังคาแบบมีมูมจึงมีพื้นที่ติดตั้งประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่หลังคาทั้งหมด ค่าการลดทอนของหลังคาประเภทมีมูมจึงมีค่าเท่ากับ 0.5 จากนั้นจึงคำนวณพื้นที่หลังคาขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และคัดเลือกหลังคาที่มีพื้นที่เพียงพอ โดยประเมินจากความต้องการใช้ไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัยและขนาดพื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า

การวิเคราะห์ศักยภาพโดยจำแนกเป็นรายหมู่บ้าน พบว่า บ้านลาดสิงห์ เป็นหมู่บ้านที่มีพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด (89,547 ตารางเมตร) รองลงมาคือ บ้านคลองขุมพู่ (59,086 ตารางเมตร) และหมู่บ้านที่มีพื้นที่หลังคาเหมาะสมสำหรับการติดตั้งน้อยที่สุดคือ บ้านศาลเจ้าปากคลอง (8,896 ตารางเมตร) จากนั้นจึงนำข้อมูลพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมไปคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่หลังคาและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา ได้ผลรวมเท่ากับ 235,996.55 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน เมื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อวันบนหลังคาโดยจำแนกเป็นรายเดือน พบว่า เดือนเมษายนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันได้มากที่สุด (269,555.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน) และเดือนธันวาคมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันได้น้อยที่สุด (220,939.97 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน) จากนั้นจึงคำนวณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 ปี ซึ่งมีผลรวมเท่ากับ 86.14 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี ในพื้นที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 16,002.44 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร-ปี แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปีของหลังคาอาคารประเภทแบนราบ (หลังคาอาคารขนาดใหญ่) มีค่าเท่ากับ 197,240.80 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร-ปี ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปีของหลังคาอาคารประเภทมีมูม (หลังคาอาคารขนาดเล็ก) มีค่าเท่ากับ 13,471.62 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร-ปี จากนั้นจึงวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่โดยใช้ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี จำแนกเป็นรายหมู่บ้าน

ผลการศึกษาจากงานวิจัยได้นำเสนอผ่านการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่ง

สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจได้ เช่น ขนาดพื้นที่ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีของแต่ละอาคาร โดยหลังจากจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเรียบร้อยแล้ว มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น การไฟฟ้านครหลวงให้ความสนใจและเห็นถึงประโยชน์ของเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงผลข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และระดับศักยภาพของพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เนื่องจากสามารถนำไปใช้งานได้จริง และมีประโยชน์ต่อทั้งประชาชนผู้สนใจติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและหน่วยงานที่ต้องใช้ข้อมูลในการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ



1) ในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงและใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในการจำแนกหลังคาด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม ข้อมูลที่ได้คือขอบเขตหลังคาอาคาร ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์พื้นที่หลังคาอาคารเพื่อนำไปคำนวณพลังงานไฟฟ้าและวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ต่อไปได้ แต่ในการวิเคราะห์หาคุณลักษณะของหลังคาหากใช้ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อมูล 3 มิติที่มีความละเอียดสูง เช่น ข้อมูล LiDAR จะช่วยให้ได้ข้อมูลคุณลักษณะของหลังคาที่มีรายละเอียดเพิ่มเติม เช่น ความลาดเอียงของหลังคา และทิศทางการวางตัวของหลังคา ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้อาจช่วยให้การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาที่มีความละเอียดและถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

2) ควรมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เช่น มูลค่าการลงทุน ระยะเวลาการคืนทุน ความคุ้มค่าในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

3) ควรมีการพัฒนาความสามารถของเว็บแอปพลิเคชันให้รับค่าตัวแปรจากผู้ใช้ และสามารถคำนวณค่ากลับมาแสดงได้ เช่น ให้ผู้ใช้สามารถระบุค่ากำลังความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้แอปพลิเคชันคำนวณขนาดพื้นที่ที่เหมาะสม และระยะเวลาการคืนทุน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ประโยชน์ต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กรมประชาสัมพันธ์. (2564). เซลล์แสงอาทิตย์.

<https://www.prd.go.th/th/file/get/file/202103082fff21210bb97eb2ea51c14d30624891133438.pdf>

กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). การใช้ที่ดินรายจังหวัด.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). แผนและการปรับค่าเป้าหมายตามแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศ | กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/149>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579.

<http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). ศักยภาพรังสีรวม ปี 2560. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน.

https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=index

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2564). คู่มือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2564). ภูมิภาคสนนทบุรี. <http://climate.tmd.go.th/data/province/กลาง/ภูมิภาคสนนทบุรี.pdf>

การไฟฟ้านครหลวง. (2564). หน่วยจำหน่ายไฟฟ้า.

การไฟฟ้านครหลวง. (2565). โครงการ *Solar Rooftop* ภาคประชาชน.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2564). สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2564.

https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2455&temid=116

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2565). *Power Producer Information Management System (PPIM)*.

<https://ppim.pea.co.th/project/solar/detail/5ce68a82de1e5f00634179ae>

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2565). ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง

ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภท บ้านอยู่อาศัย.

จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2564). การพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ควบคู่กับการทำเกษตรกรรมในโรงเรือน (Greenhouse) จากแนวคิดนโยบายของสาธารณรัฐประชาชนจีน | กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/3151>

จุฬาลักษณ์ สุทธิรอด. (2558). คู่มือการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมส สำหรับการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน.

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์. (2558). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วารสารวิจัยพลังงาน.

ณัฐวดี หงษ์บุญมี. (2564). การวิเคราะห์ปัญหาสุขภาพจากภาพถ่ายเล็ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก. วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ.

ถิรไทย. (2562). Go /No Go to Solar Rooftop.

เทศบาลนครปากเกร็ด. (2565). ประเภทอาคารที่ขออนุญาตก่อสร้าง.

<https://www.pakkretcity.go.th/index.php/2017-07-22-09-08-48/2017-07-24-09-04-03.html>

นพดล ชวนไชยะกุล. (2555). แบบจำลองและการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ประสิทธิ์ นางทิน. (2562). ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.

พีระวุฒิ ชินวรรังสี, ศศิวิมล ทรงไตร, ณัฐกานต์ อุดมเดชาณัติ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, อัศวิน หงษ์สิงห์ทอง, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์, จรรย์ ศรีธาราธิคุณ, & กอบศักดิ์ ศรีประภา. (2558). การประเมินสมรรถนะ และความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคา ในประเทศไทย. วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 32(ฉบับที่ 2), 19-24.

ศูนย์ประสานงานออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน. (2565). การประเมินพื้นที่ในการติดตั้งและศักยภาพในการใช้แสงอาทิตย์.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2015). ดาวเทียม WorldView-3.

<http://www2.gistda.or.th/main/th/node/784>

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2560). กระบวนการก่อนการประมวลผลภาพ (Pre-Processing).

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2564). สถานการณ์พลังงาน.

องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี. (2564). ข้อมูลสภาพทั่วไป.

- Adb Latif, Z., Zaki, N. A. M., & Salleh, S. A. (2012). GIS-based estimation of rooftop solar photovoltaic potential using LiDAR. 2012 IEEE 8th international colloquium on signal processing and its applications,
- Anwar, A. (2022). What is Average Precision in Object Detection & Localization Algorithms and how to calculate it? <https://towardsdatascience.com/what-is-average-precision-in-object-detection-localization-algorithms-and-how-to-calculate-it-3f330efe697b>
- ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. (2014).
Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.
- Barreira, A., Patierno, M., & Bautista, C. R. (2017). Impacts of pollution on our health and the planet: The case of coal power plants. *Perspect*, 28, 1-10.
- Bódis, K., Kougias, I., Jäger-Waldau, A., Taylor, N., & Szabó, S. (2019). A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109309.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109309>
- Chengz. (2019). วัดประสิทธิภาพ Model จาก Confusion Matrix.
- DigitalGlobe. (2014). *WorldView-3*. <http://worldview3.digitalglobe.com/>
- Eastern Power Group. (2022). พลังงานแสงอาทิตย์อีกหนึ่งทางเลือกของพลังงานทดแทน.
<http://www.epco.co.th/departmentofenergybusiness.php>
- ESRI. (2022). *What is ArcGIS Online—ArcGIS Online Help | Documentation*.
<https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/get-started/what-is-agol.htm>
- Fei-Fei L., J. J., and Serena Y. . (2019). Detection and Segmentation. *Stanford University*.
- Gagnon, P., Margolis, R., Melius, J., Phillips, C., & Elmore, R. (2018). Estimating rooftop solar technical potential across the US using a combination of GIS-based methods, lidar data, and statistical modeling. *Environmental Research Letters*, 13(2), 024027.
- International Energy Agency. (2019). *Solar Energy : Mapping the road ahead*.
- Law, D. (2018). Portal for ArcGIS 101.
<https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/portal-for-arcgis-101/>
- MacDonald, S. W. (2014). Quantifying rooftop solar power for the city of Waterloo,

Ontario.

- Margolis, R., Gagnon, P., Melius, J., Phillips, C., & Elmore, R. (2017). Using GIS-based methods and lidar data to estimate rooftop solar technical potential in US cities. *Environmental Research Letters*, 12(7), 074013.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7225>
- Natthawat P. (2019). Convolutional Neural Network (CNN) คืออะไร.
- Ninsawat, S., & Hossain, M. D. (2016). Identifying potential area and financial prospects of rooftop solar photovoltaics (PV). *Sustainability*, 8(10), 1068.
- Pisit. (2018). What is mAP Evaluation? <https://medium.com/boobeejung/what-is-map-evaluation-8d7a4adc67da>
- Sampath, A., Bijapur, P., Karanam, A., Umadevi, V., & Parathodiyil, M. (2019). Estimation of rooftop solar energy generation using Satellite Image Segmentation. 2019 IEEE 9th International Conference on Advanced Computing (IACC),
- TDRI. (2021). Air pollution continues to kill: does Thailand's National Energy Plan offer hope? <https://tdri.or.th/fixing-thailands-killer-air-pollution>
- Tiede, D., Schwendemann, G., Alobaidi, A., Wendt, L., & Lang, S. (2021). Mask R-CNN-based building extraction from VHR satellite data in operational humanitarian action: An example related to Covid-19 response in Khartoum, Sudan. *Transactions in GIS*, 25(3), 1213-1227.
- Wiginton, L., Nguyen, H. T., & Pearce, J. M. (2010). Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 345-357.
- Xing, W., & Du, D. (2019). Dropout prediction in MOOCs: Using deep learning for personalized intervention. *Journal of Educational Computing Research*, 57(3), 547-570.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

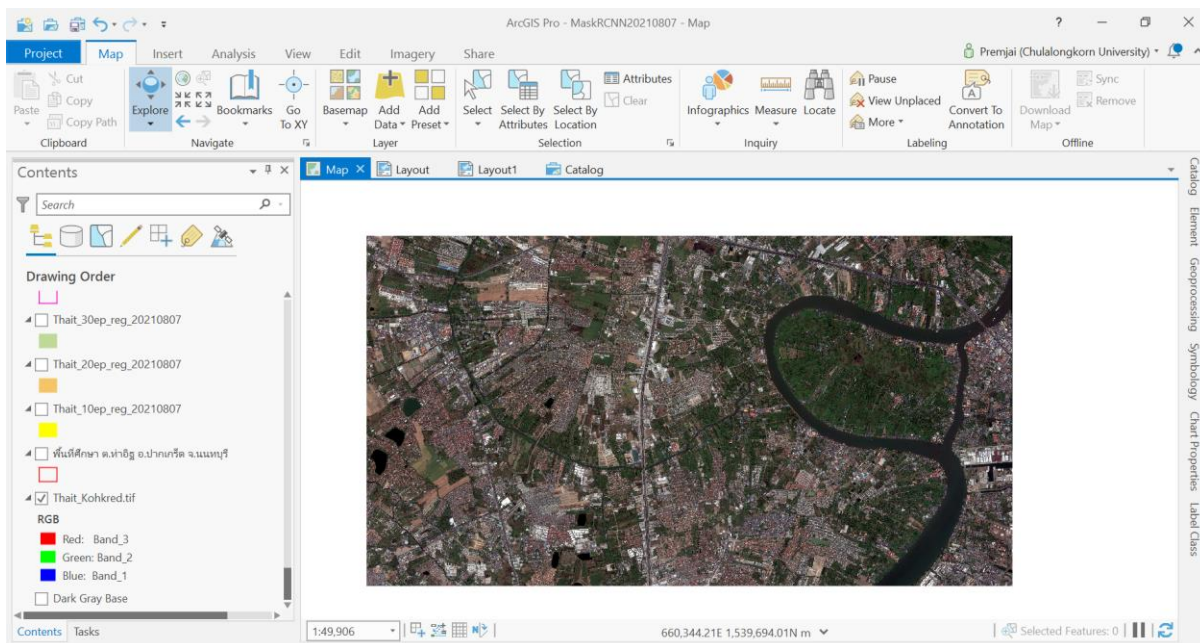


ภาคผนวก ก.

การจำแนกหลังคาอาคารด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกด้วย ArcGIS Pro และ Jupyter Notebook

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

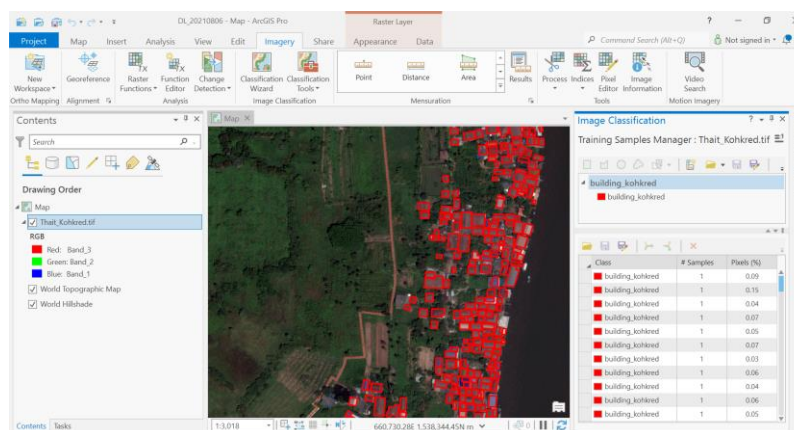
ก.1 โปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.8 และภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-3 ในบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ ก.1 โปรแกรม ArcGIS Pro และภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ศึกษา

ก.2 การสร้างชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน (Training Sample)

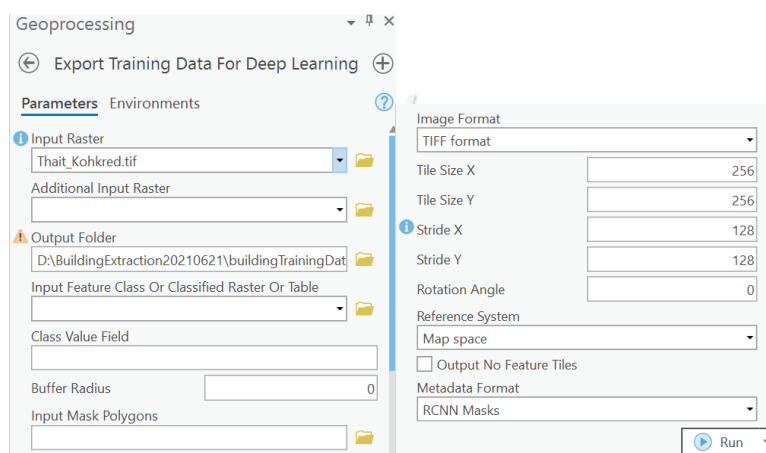
การสร้างชุดข้อมูลสำหรับสอนด้วยโปรแกรม ArcGIS Pro โดยใช้เครื่องมือ Training Sample Manager ในเครื่องมือ Classification กำหนดชุดกลุ่มตัวอย่าง และขึ้นรูปกลุ่มตัวอย่างหลังคอาคาร ในที่นี้กำหนดคลาสของกลุ่มตัวอย่างชื่อ “building_kohkred” และทำการดิจิทัล (Digitize) กลุ่มตัวอย่างหลังคอาคารตามภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.2 สร้างชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน (Training Sample) ในโปรแกรม ArcGIS Pro

ก.3 การส่งออกชุดข้อมูลสำหรับสอน (Training Data)

ส่งออกข้อมูล Training Data จากข้อ ก.2 โดยการใช้เครื่องมือ Export Training Data For Deep Learning โดยกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ Input Raster ให้เลือกภาพที่เครื่องมือจะนำไปตัดเพื่อใช้เป็นภาพสำหรับการ Train โมเดล ที่ Output Folder เลือกโฟลเดอร์สำหรับเก็บเก็บข้อมูล Training ที่ Image Format เลือกเป็น TIFF format ใส่ขนาด Tile Size ต่าง ๆ และที่ Metadata Format สำหรับในงานวิจัยนี้จะเลือกเป็น RCNN Masks สำหรับใช้เทรนโมเดล MaskRCNN



ภาพที่ ก.3.1 การส่งออกชุดข้อมูลสำหรับสอน (Training Data)

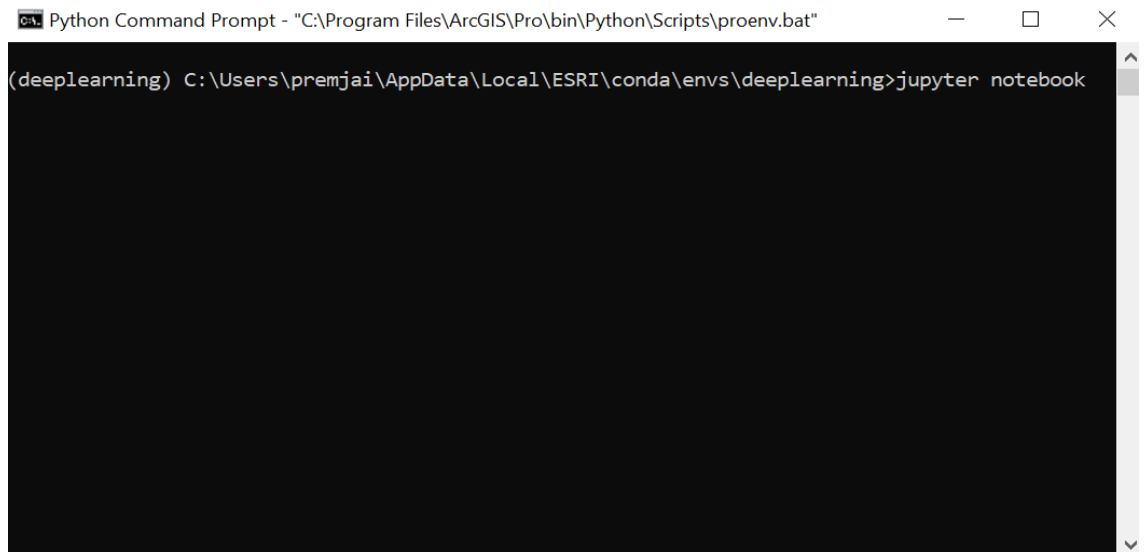
เมื่อส่งออกข้อมูลสอนเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลตัวอย่างสำหรับให้แบบจำลองเรียนรู้จะอยู่ในโฟลเดอร์เดียวกัน และมีโครงสร้างของข้อมูลที่สำคัญ ดังแสดงในภาพที่ ก.3.2 ประกอบด้วย โฟลเดอร์ images สำหรับจัดเก็บข้อมูลรูปภาพของวัตถุที่เกิดขึ้นในขั้นตอนสร้างชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับสอน โฟลเดอร์ labels สำหรับจัดเก็บประเภทของข้อมูลที่ใช้สร้างชุดข้อมูลตัวอย่าง และไฟล์นามสกุล .emd (Esri model definition) ซึ่งเก็บข้อมูลการตั้งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ในการนำแบบจำลองไปใช้ต่อไปจะเรียกใช้งานผ่านไฟล์นามสกุล .emd นี้

Name	Date modified	Type	Size
images	24/7/2564 20:11	File folder	
labels	24/7/2564 20:10	File folder	
esri_accumulated_stats.json	24/7/2564 20:11	JSON File	3 KB
esri_model_definition.emd	24/7/2564 20:11	EMD File	3 KB
map	24/7/2564 20:11	Text Document	58 KB
stats	24/7/2564 20:11	Text Document	1 KB

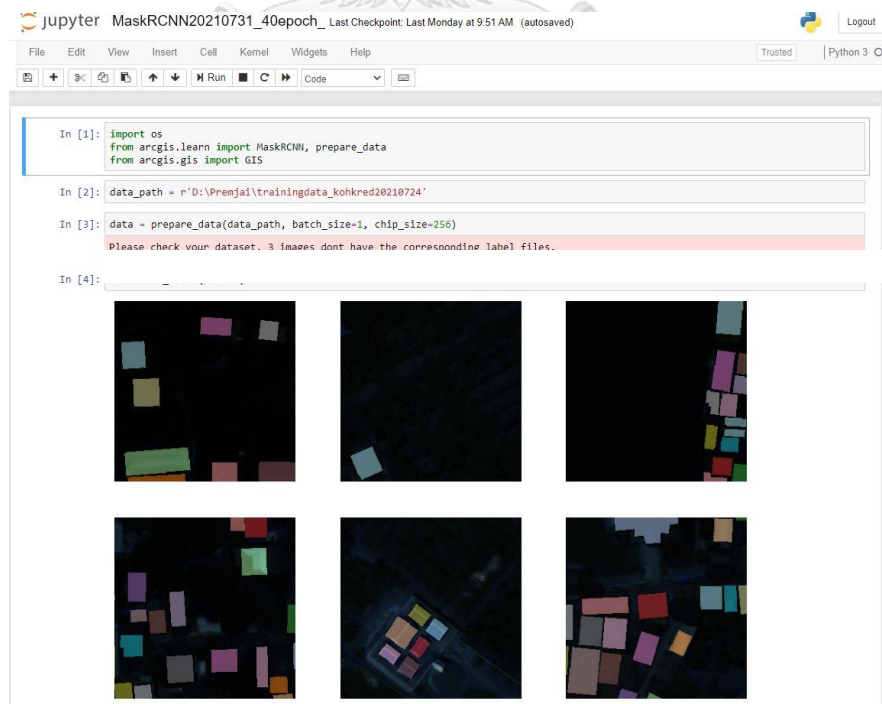
ภาพที่ ก.3.2 ตัวอย่างโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง

ก.4 การสร้างแบบจำลอง (Train Model)

การสร้างแบบจำลอง จะทำการเรียก Jupyter Notebook ผ่าน Python Command Prompt ที่ทำการสร้าง Environment ต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการใช้ Deep Learning เรียบร้อยแล้ว

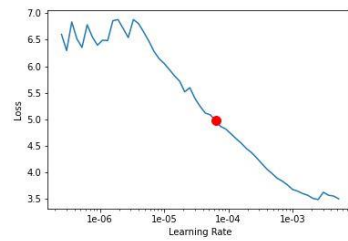


ภาพที่ ก.4.1 Python Command Prompt



ภาพที่ ก.4.2 การเทรนโมเดลใน Jupyter Notebook (1)

```
In [6]: lr = model.lr_find()
lr
```



```
Out[6]: 6.309573444801929e-05
```

```
In [7]: model.fit(40,lr=lr)
```

epoch	train_loss	valid_loss	time
0	1.177545	1.165762	02:39
1	1.003869	0.976703	02:43
2	0.988538	0.940716	02:45
3	0.855890	0.858109	02:46
4	0.893745	0.829973	02:46
5	0.801388	0.822387	02:47
6	0.859928	0.828482	02:47
7	0.804769	0.796957	02:47
8	0.786329	0.786309	02:47
9	0.782993	0.801658	02:50
10	0.724450	0.779701	02:57
11	0.746065	0.737495	02:57
12	0.699711	0.714688	02:58
13	0.715515	0.731574	03:00
14	0.707106	0.717464	02:47

ภาพที่ ก.4.3 การเทรนโมเดลใน Jupyter Notebook (2)

```
In [8]: model.save('modelBuilding_20210731_40epoch_')
```

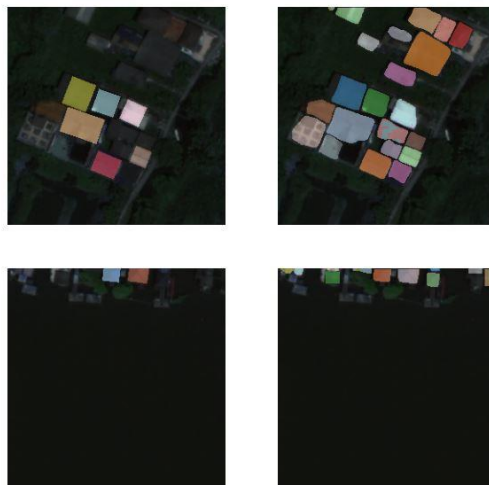
Computing model metrics...

100.00% [94/94 00:09<00:00]

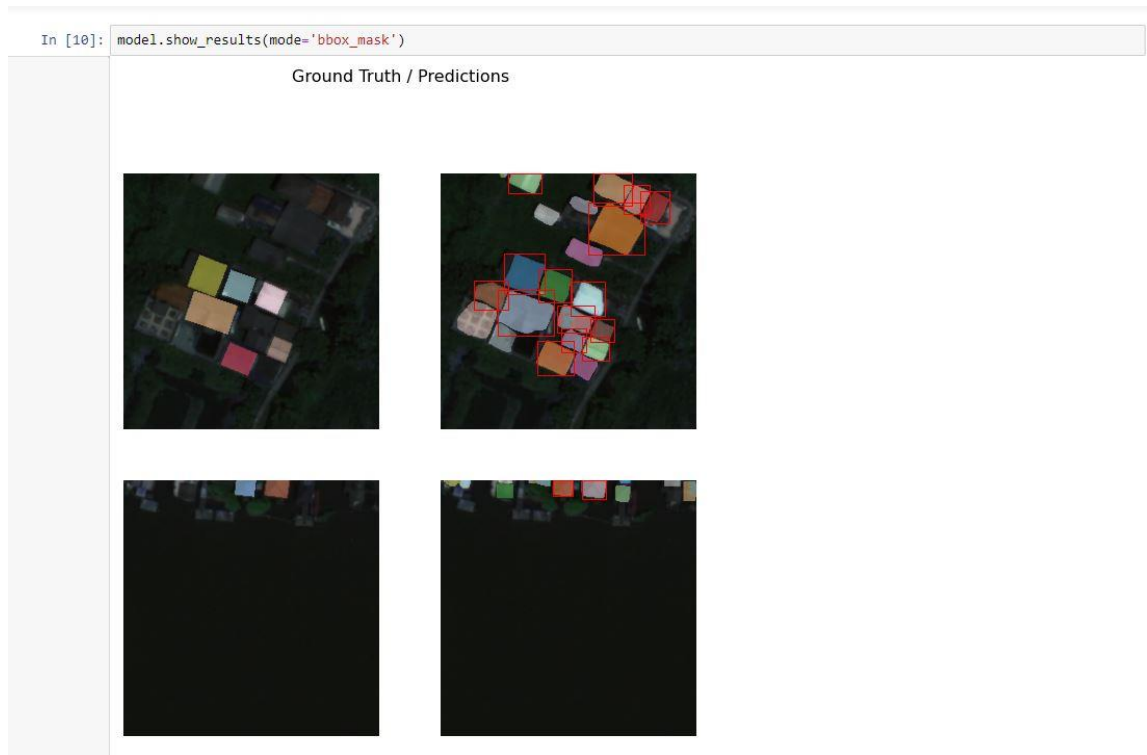
```
Out[8]: WindowsPath('D:/Premjai/trainingdata_kohkred20210724/models/modelBuilding_20210731_40epoch_')
```

```
In [9]: model.show_results()
```

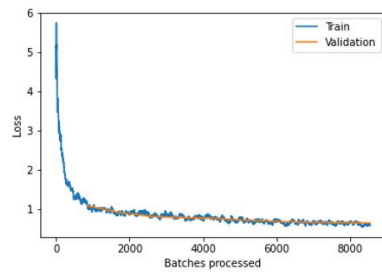
Ground Truth / Predictions



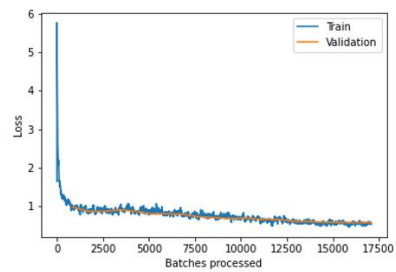
ภาพที่ ก.4.4 การเทรนโมเดลใน Jupyter Notebook (3)



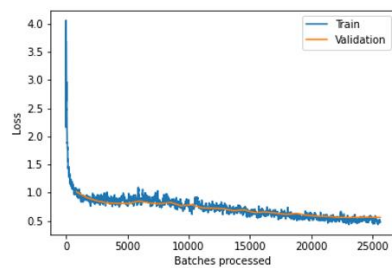
ภาพที่ ก.4.5 การเทรนโมเดลใน Jupyter Notebook (4)



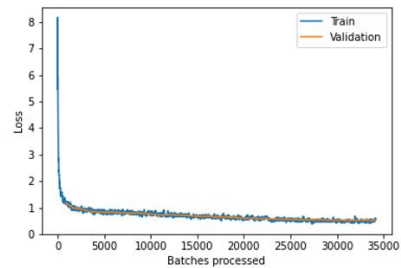
(a) Model Characteristics ของโมเดล 10 epoch



(b) Model Characteristics ของโมเดล 20 epoch



(c) Model Characteristics ของโมเดล 30 epoch



(d) Model Characteristics ของโมเดล 40 epoch

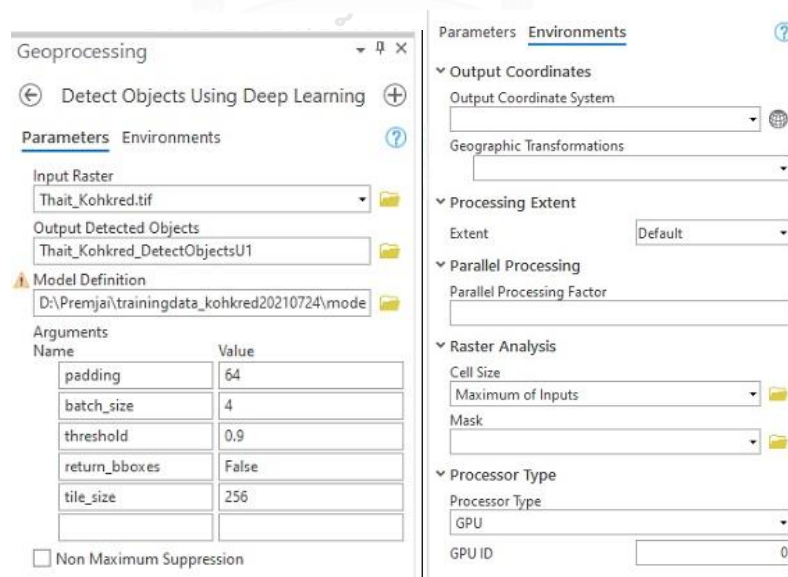
ภาพที่ ก.4.6 แสดง Model Characteristics

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง (Train Model) ใน Jupyter Notebook จะมีการเรียกโมดูล `arcgis.learn` และเรียกใช้แบบจำลอง `MaskRCNN` มาใช้ในการเทรนข้อมูล กำหนดค่า `batch size = 1`, `Chip size = 256` (การกำหนด `Batch size` จะขึ้นอยู่กับขนาดของ GPU ของคอมพิวเตอร์ที่ใช้สร้างโมเดล ในที่นี้ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดจอรุ่น `NVIDIA Geforce RTX 2060 VRAM 6 GB`) มีการคำนวณหาค่า `Learning Rate (LR)` ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักในการใช้เทรนแบบจำลองในแต่ละ epoch และมีการกำหนดจำนวน epoch

ในงานวิจัยนี้มีการทดลองสร้างแบบจำลอง จำนวน 5 แบบจำลอง กำหนดค่า epoch แตกต่างกัน 4 ค่าเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ คือ 10 epoch, 20 epoch, 30 epoch, 40 epoch และ 50 epoch เมื่อทำการเทรนแบบจำลอง ครบจำนวน epoch ที่กำหนดแล้ว จะทำการบันทึกโมเดล และกวดูผลลัพธ์ของโมเดลได้ดัง ภาพที่ ก.4.3 และ ภาพที่ ก.4.4

ก.5 การนำแบบจำลองมาใช้ในการจำแนกวัตถุในภาพ (Detect Object)

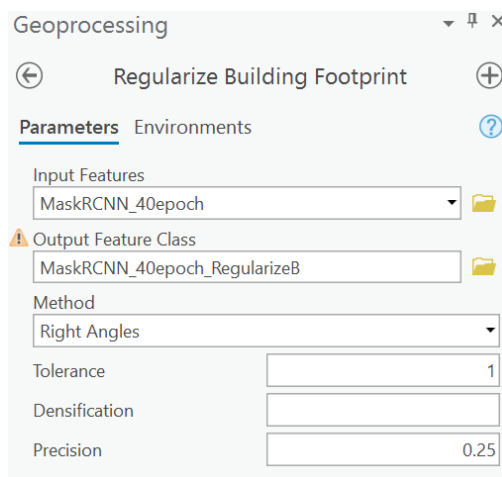
ใช้เครื่องมือ `Detect Object Using Deep Learning` กำหนด `Input Raster` เป็นภาพถ่ายที่ต้องการให้แบบจำลองทำงาน `Output Detected Objects` เป็นไฟล์เตอร์ที่ใช้เก็บ `Shape File` หลังคาอาคารที่แบบจำลองตรวจจับได้ `Model Definition` เลือกไฟล์ `.emd` หรือ `.dlpk` ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เทรนสำเร็จแล้ว ที่แท็บ `Environment` หัวข้อ `Processor Type` เลือกเป็น `GPU` ตามภาพที่ ก.5



ภาพที่ ก.5 เครื่องมือ Detect Object Using Deep Learning

ก.6 Regularize Building Footprint

ผลลัพธ์ของหลังคาที่ได้จากโมเดลจะไม่ได้มีความเหลี่ยมมุมของหลังคา 90 องศาเหมือนกับหลังคาจริงในพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องทำการ Regularize Building Footprint เพื่อให้หลังคามีความเป็นเหลี่ยมเหมือนกับหลังคาจริงในพื้นที่ ทำได้โดยการใช้เครื่องมือ Regularize Building Footprint



ภาพที่ 6.3.1 การทำ Regularize Building Footprint



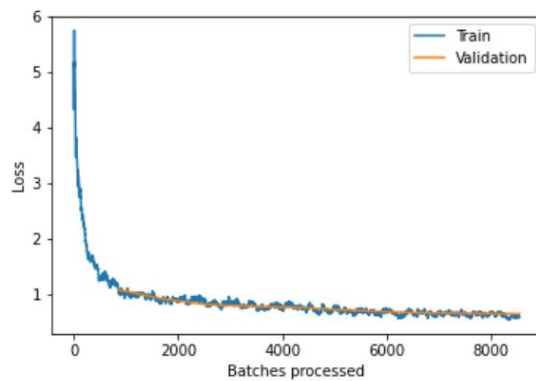
ก.7 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 10 รอบการเรียนรู้ (10 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 4.3652e-05

Training and Validation loss

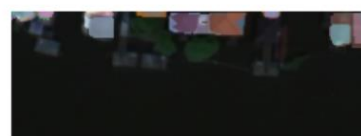
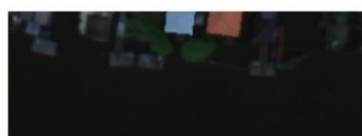


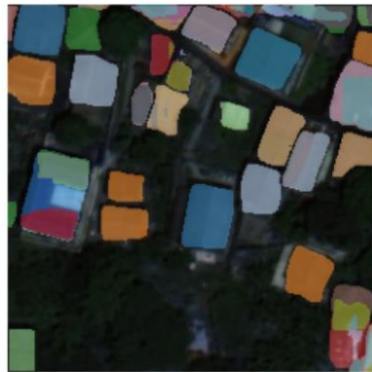
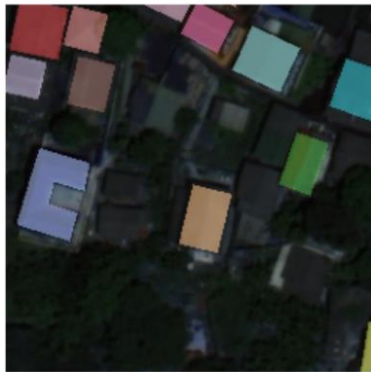
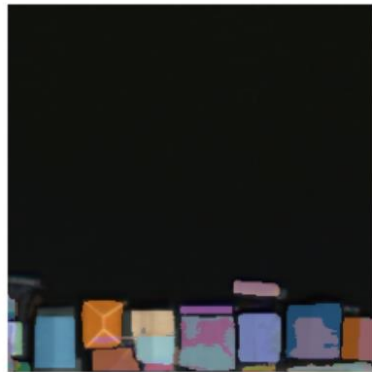
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.7484294547698062}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





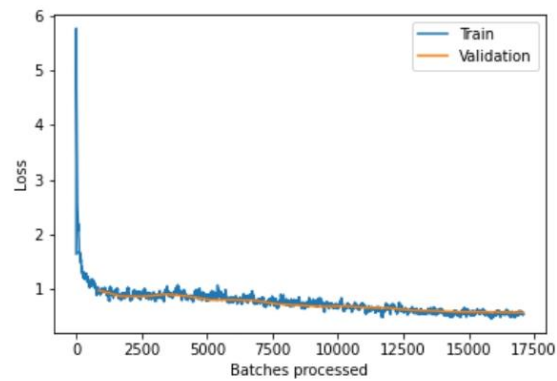
ก.8 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 20 รอบการเรียนรู้ (20 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 1.3183e-04

Training and Validation loss

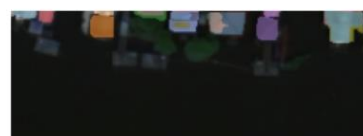
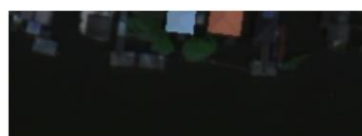
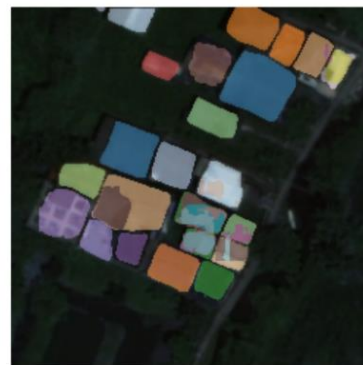


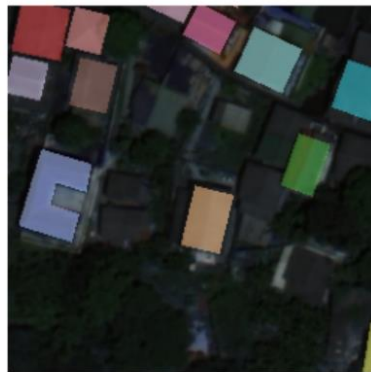
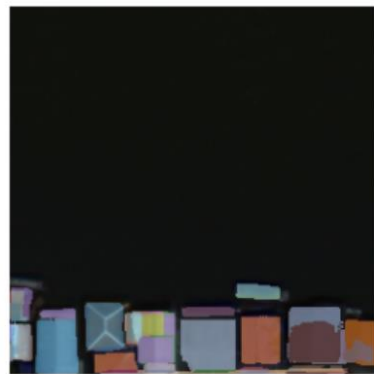
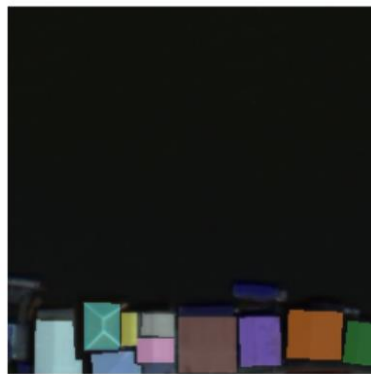
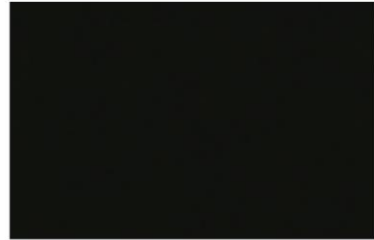
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.7712155329487068}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





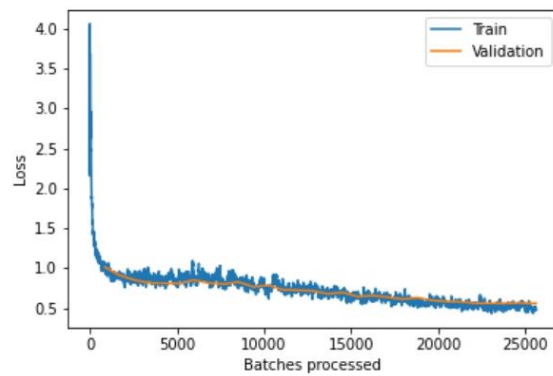
ก.9 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 30 รอบการเรียนรู้ (30 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 1.3183e-04

Training and Validation loss

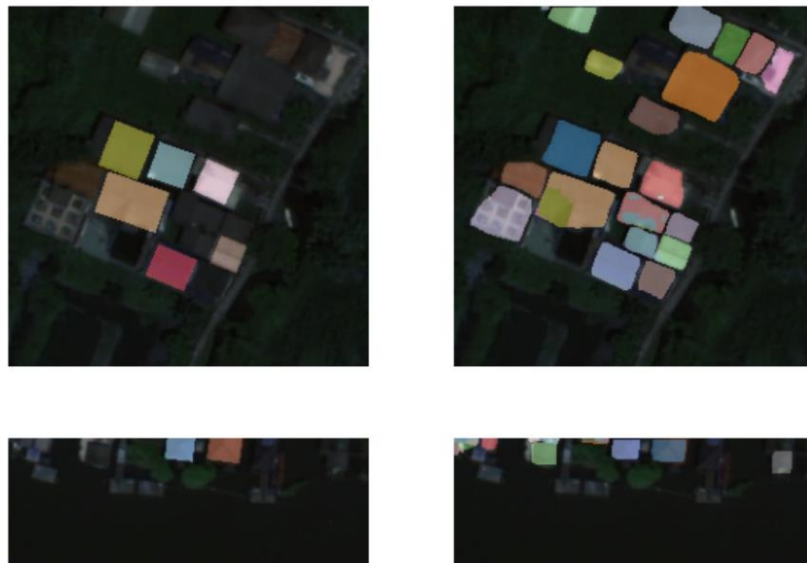


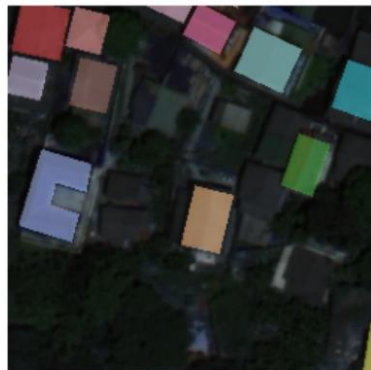
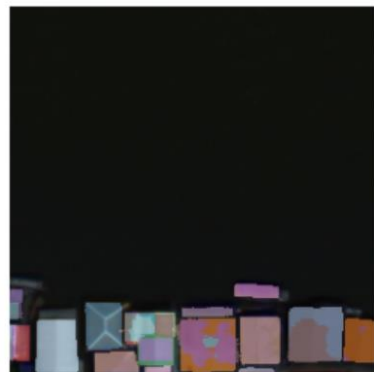
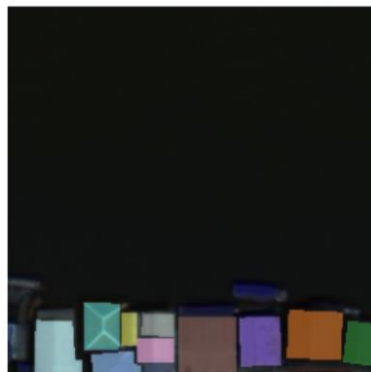
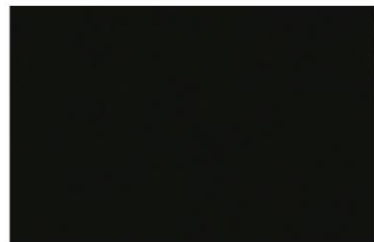
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.7871777680386561}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





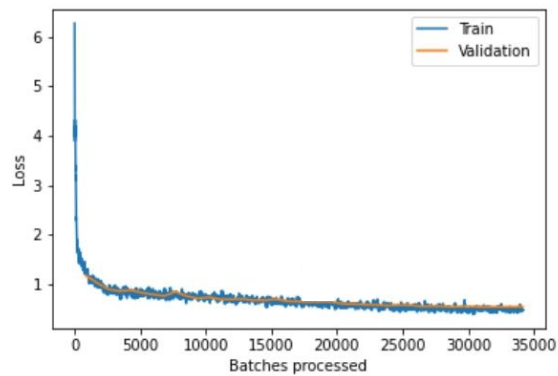
ก.10 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 40 รอบการเรียนรู้ (40 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 5.2481e-05

Training and Validation loss

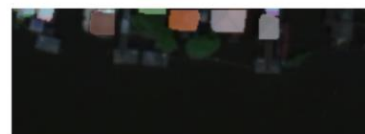
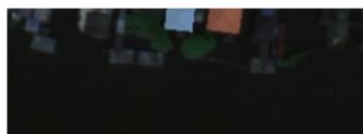


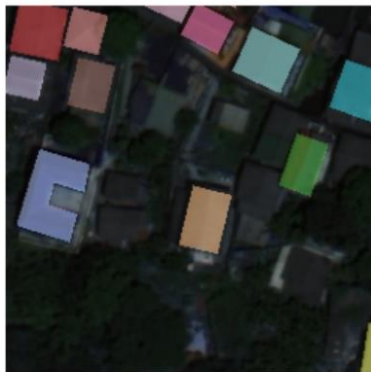
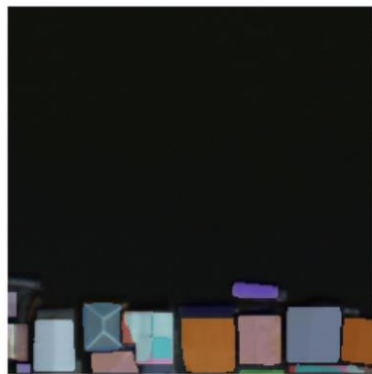
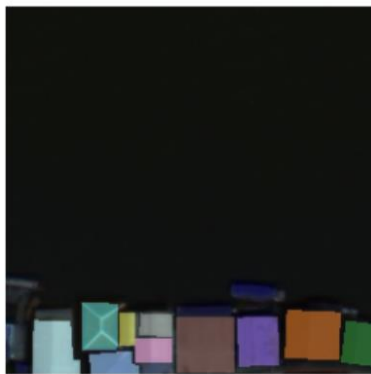
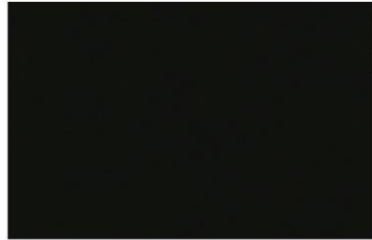
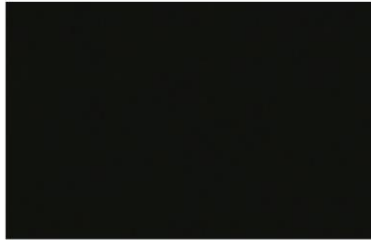
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.7993547463341264}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





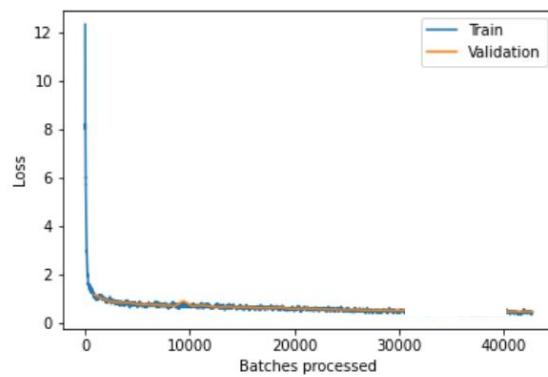
ก.11 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 50 รอบการเรียนรู้ (50 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 5.2481e-05

Training and Validation loss



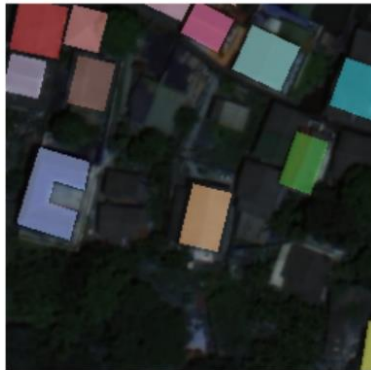
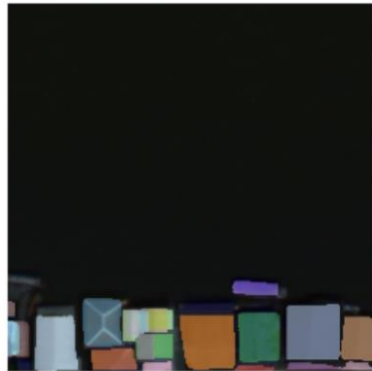
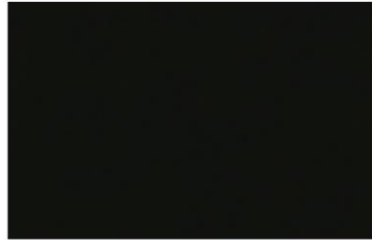
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.8293876301835138}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





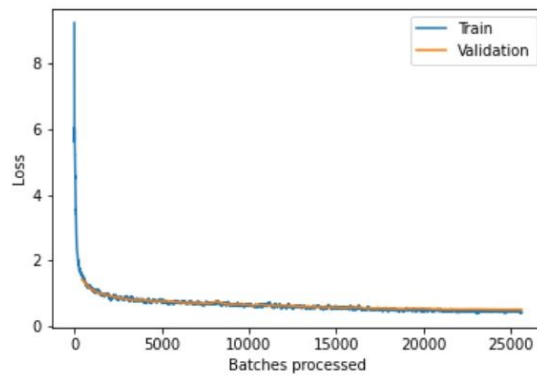
ก.12 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 60 รอบการเรียนรู้ (60 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 4.3652e-05

Training and Validation loss

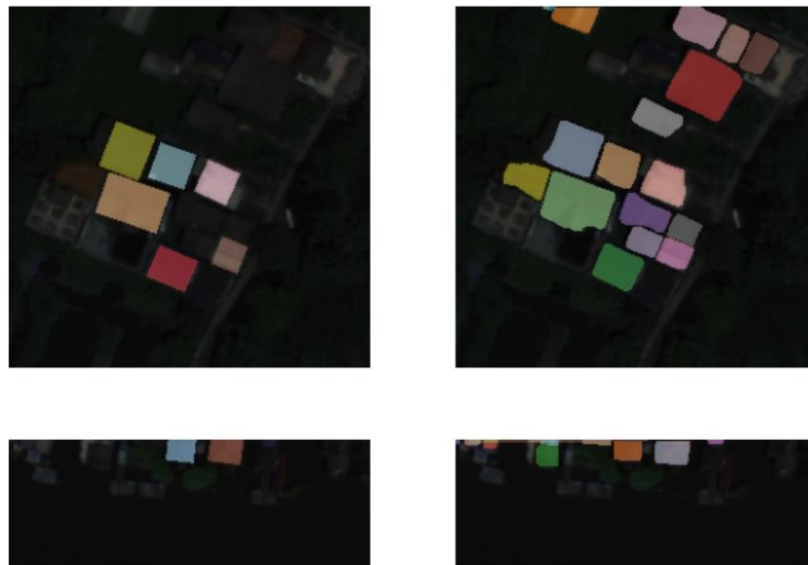


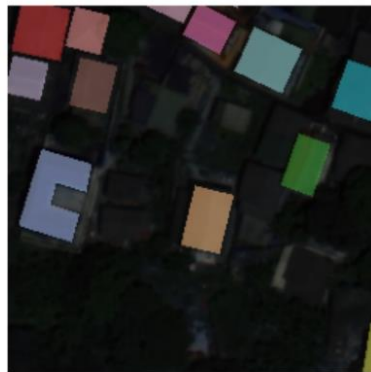
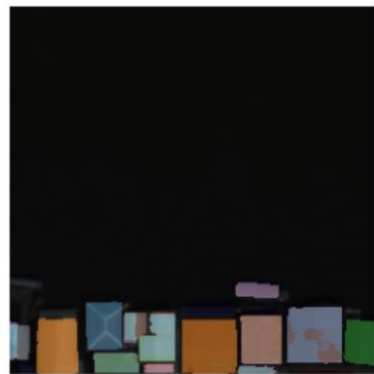
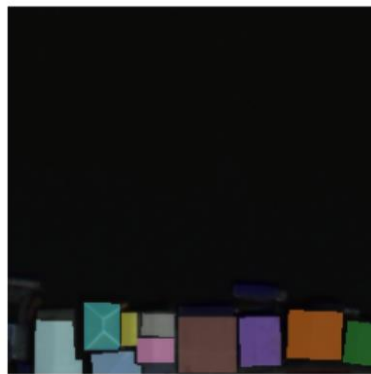
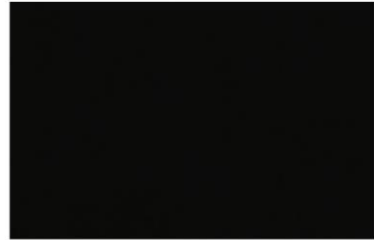
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.827001575289337}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





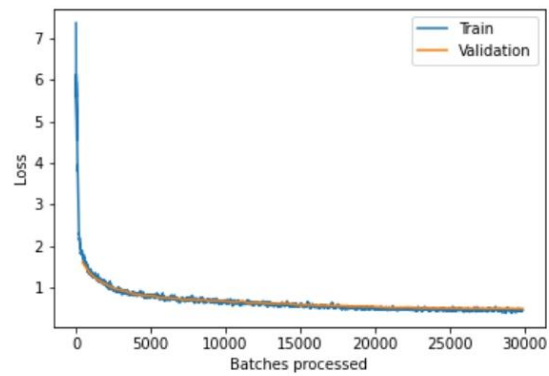
ก.13 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 70 รอบการเรียนรู้ (70 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 2.5119e-05

Training and Validation loss

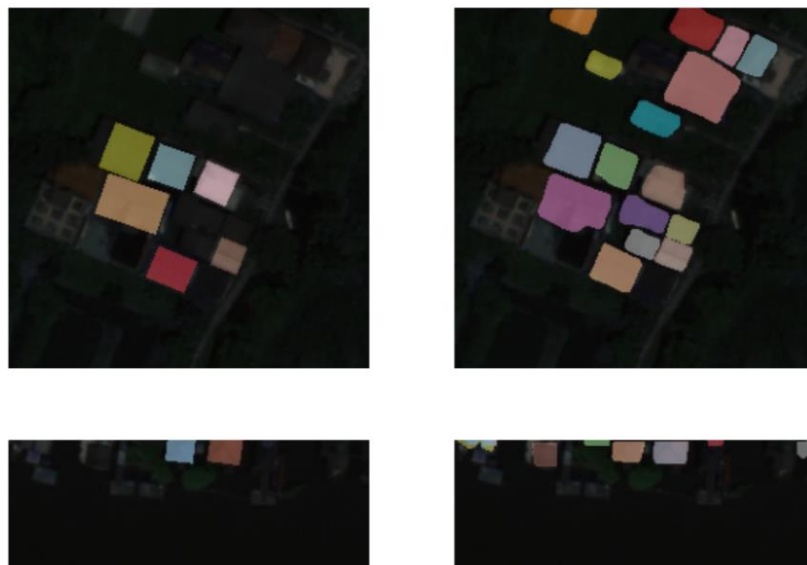


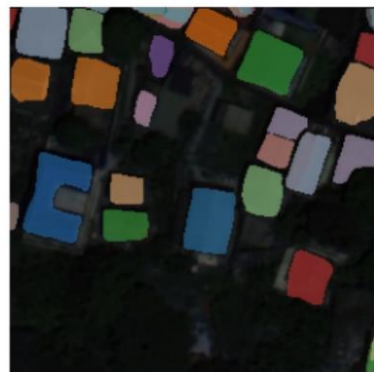
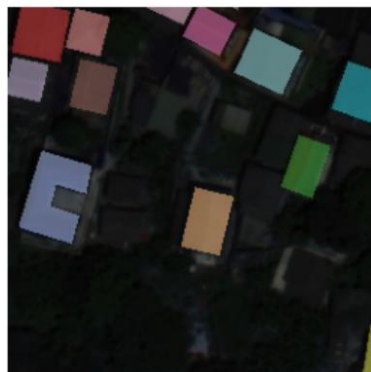
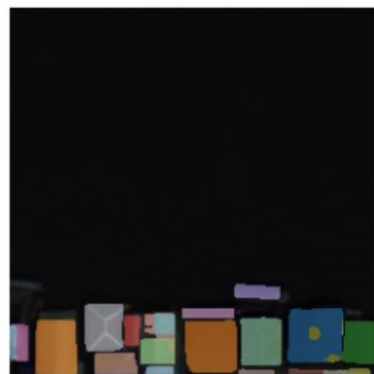
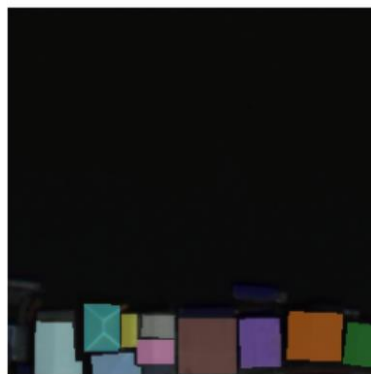
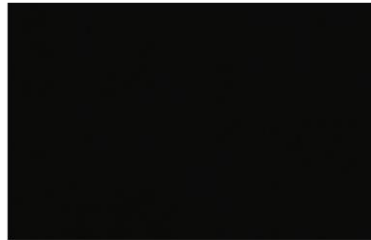
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.8295978926347386}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





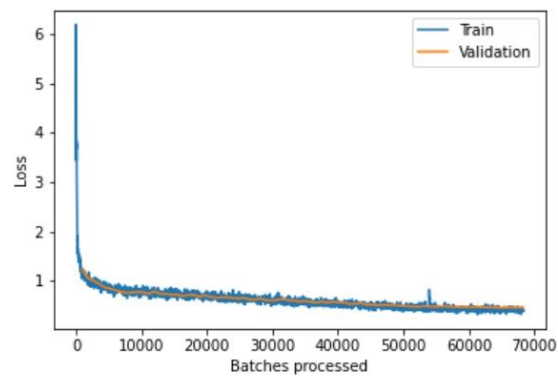
ก.14 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 80 รอบการเรียนรู้ (80 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 6.3096e-05

Training and Validation loss



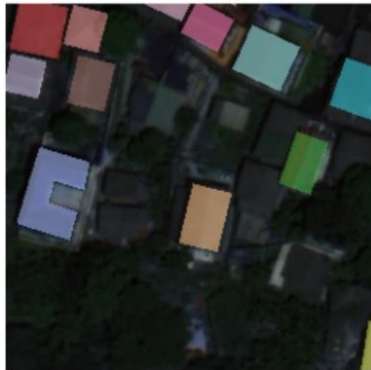
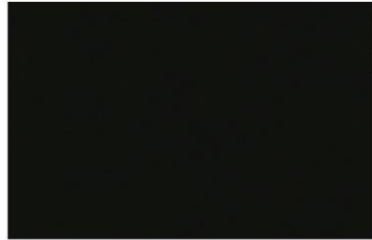
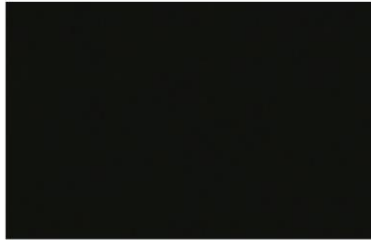
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.8635404992801593}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





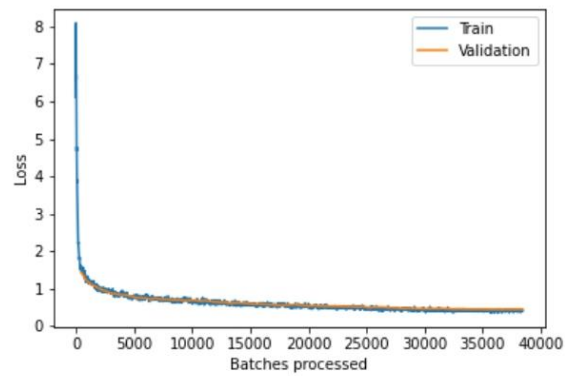
ก.15 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 90 รอบการเรียนรู้ (90 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 3.6308e-05

Training and Validation loss

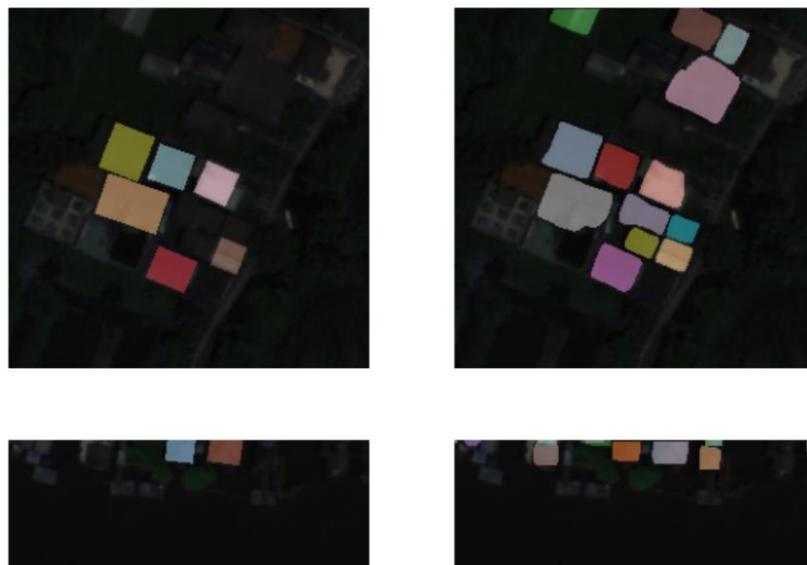


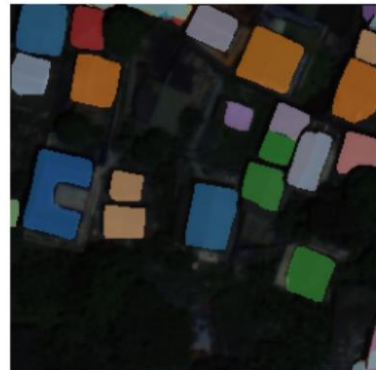
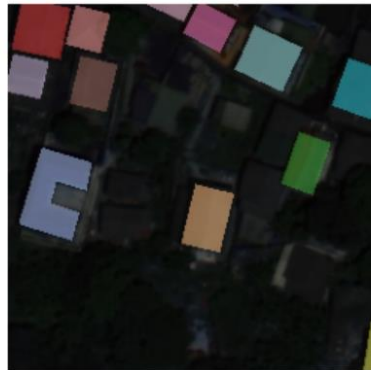
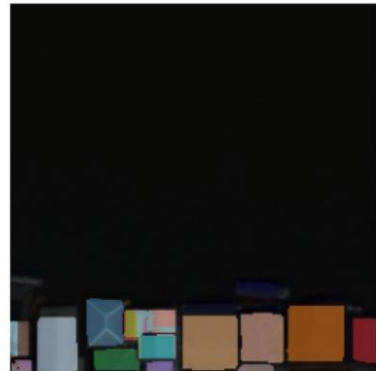
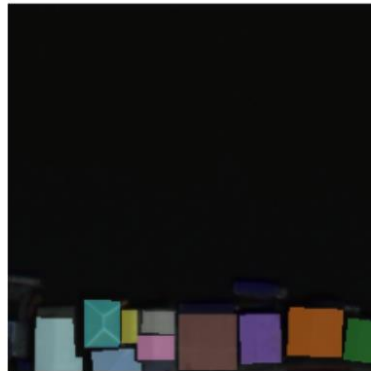
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.8606074117054012}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





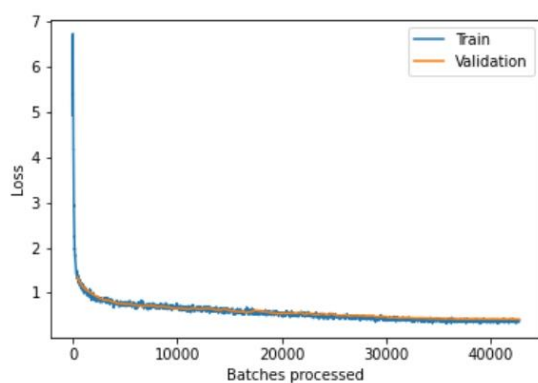
ก.16 Model metrics แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของแบบจำลอง 100 รอบการเรียนรู้ (100 epoch)

MaskRCNN

Backbone: resnet50

Learning Rate: 6.3096e-05

Training and Validation loss

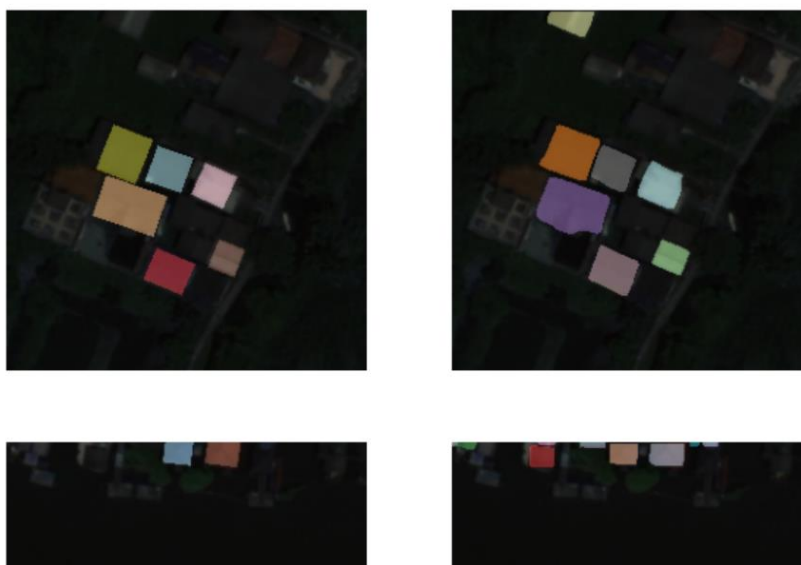


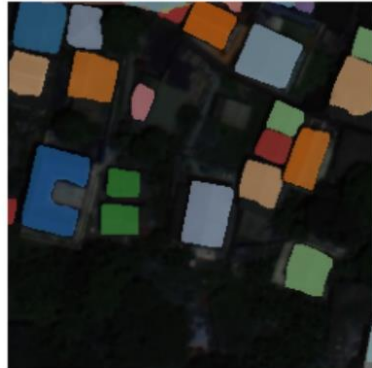
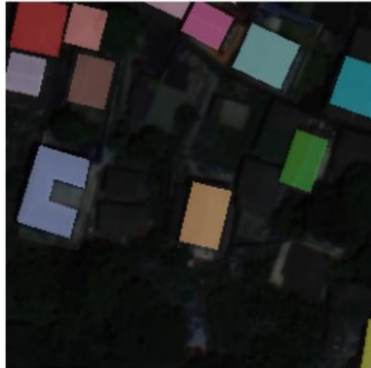
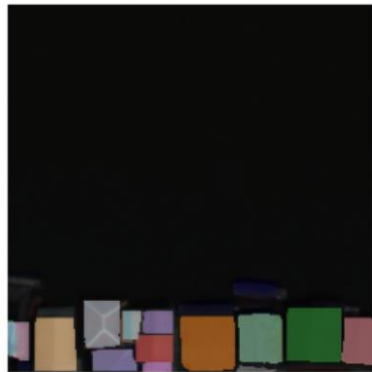
Analysis of the model

Average Precision Score: {'building_kohkred': 0.8737445402291357}

Sample Results

Ground Truth / Predictions





ก.17 การสร้างแบบจำลองใน Jupyter Notebook แบบจำลอง 100 รอบการเรียนรู้ (100 epoch)

7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

In [1]:

```
import os
from arcgis.learn import MaskRCNN, prepare_data
from arcgis.gis import GIS
```

In [2]:

```
data_path = r'D:\Premjai\trainingdata_kohkred20210724'
```

In [3]:

```
data = prepare_data(data_path, batch_size=2, chip_size=256)
```

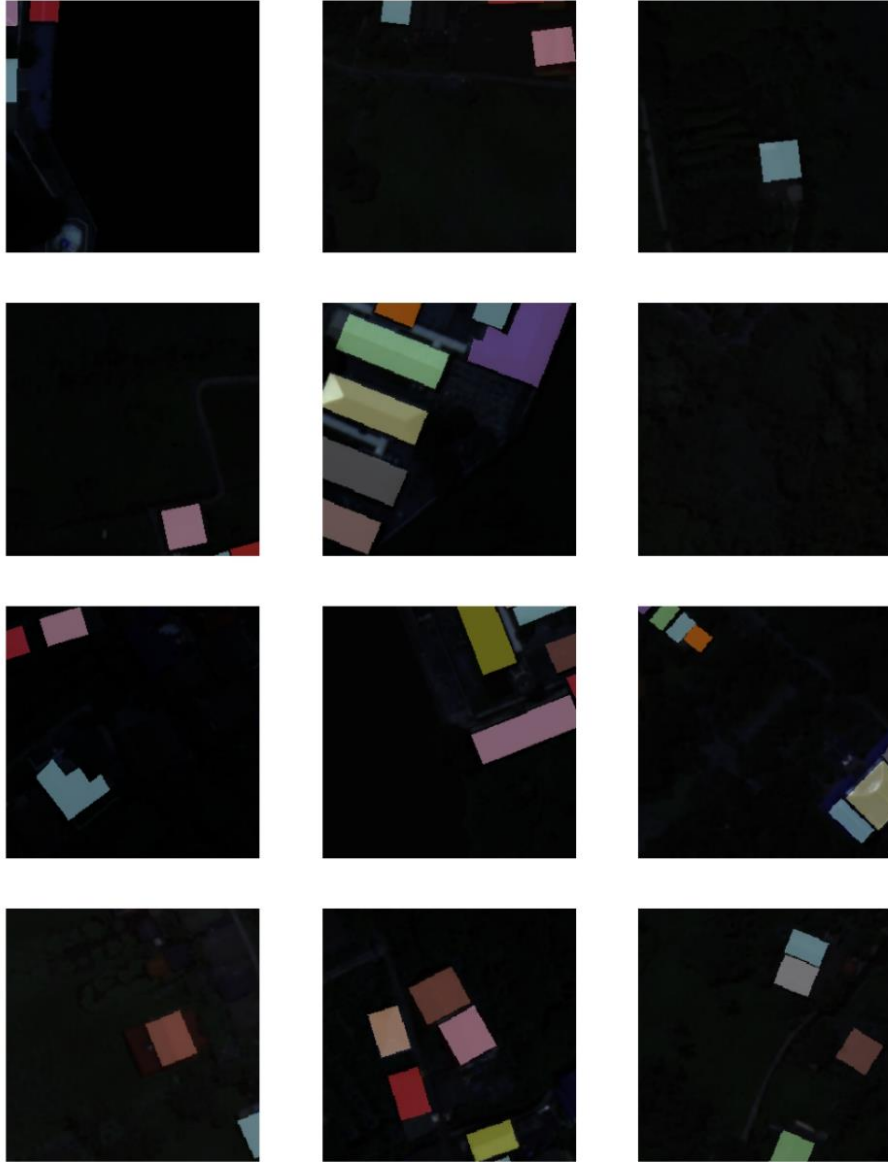
Please check your dataset. 3 images dont have the corresponding label files.

7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

In [4]:

```
data.show_batch(rows=4)
```



7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

In [5]:

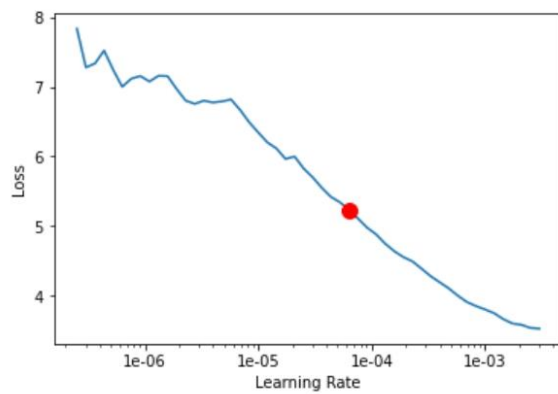
```
model = MaskRCNN(data)
```

7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

In [6]:

```
lr = model.lr_find()  
lr
```



Out[6]:

```
6.309573444801929e-05
```

7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

In [7]:

```
model.fit(100, lr=lr)
```

epoch	train_loss	valid_loss	time
0	1.412054	1.347443	02:02
1	1.113827	1.157355	02:07
2	1.071536	1.062189	02:09
3	0.933167	1.000280	02:09
4	0.865374	0.942538	02:09
5	0.844397	0.878697	02:10
6	0.849592	0.842605	02:10
7	0.847002	0.838034	02:10
8	0.771761	0.799578	02:10
9	0.764829	0.771010	02:11
10	0.793409	0.766461	02:10
11	0.747087	0.756147	02:11
12	0.749656	0.753987	02:11
13	0.686659	0.725032	02:12
14	0.740564	0.720169	02:12
15	0.706154	0.712022	02:12
16	0.710538	0.719408	02:12
17	0.748919	0.720691	02:12
18	0.692124	0.692349	02:11
19	0.685255	0.707733	02:12
20	0.676180	0.684661	02:11
21	0.677376	0.672045	02:12
22	0.691716	0.650886	02:12
23	0.676333	0.663776	02:11
24	0.657075	0.649079	02:12
25	0.654949	0.641682	02:11
26	0.682642	0.665949	02:14
27	0.679295	0.644552	02:14
28	0.644431	0.648226	02:11
29	0.651043	0.657613	02:11
30	0.680671	0.658401	02:10
31	0.620674	0.623820	02:11
32	0.646382	0.622424	02:13
33	0.620597	0.647611	02:13
34	0.589617	0.613274	02:13
35	0.572571	0.598284	02:13

7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

epoch	train_loss	valid_loss	time
36	0.602561	0.583679	02:12
37	0.570703	0.588268	02:12
38	0.649110	0.570983	02:13
39	0.555854	0.583443	02:13
40	0.557207	0.620694	02:13
41	0.591994	0.595803	02:12
42	0.528725	0.588769	02:13
43	0.573939	0.571293	02:13
44	0.516130	0.557073	02:13
45	0.520036	0.540666	02:12
46	0.539942	0.550276	02:12
47	0.587818	0.549625	02:12
48	0.554279	0.559572	02:12
49	0.518561	0.550592	02:13
50	0.546060	0.573348	02:13
51	0.491177	0.522555	02:13
52	0.513539	0.557144	02:13
53	0.493039	0.519622	02:13
54	0.466042	0.520736	02:13
55	0.515843	0.546667	02:13
56	0.449446	0.511707	02:13
57	0.499036	0.544223	02:13
58	0.472324	0.505723	02:13
59	0.456109	0.504044	02:13
60	0.455495	0.508417	02:13
61	0.439037	0.494145	02:13
62	0.499863	0.503746	02:13
63	0.462110	0.500065	02:13
64	0.451187	0.502844	02:13
65	0.450796	0.490836	02:12
66	0.438181	0.498746	02:12
67	0.450788	0.473072	02:13
68	0.478735	0.476887	02:13
69	0.415197	0.478027	02:13
70	0.415455	0.452094	02:14
71	0.431857	0.462485	02:14
72	0.415915	0.450390	02:13
73	0.438521	0.451580	02:13
74	0.425168	0.458097	02:13

localhost:8888/notebooks/Untitled13.ipynb?kernel_name=python3

6/9

7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

epoch	train_loss	valid_loss	time
75	0.366772	0.447562	02:13
76	0.397236	0.443459	02:13
77	0.376719	0.447092	02:13
78	0.399486	0.444067	02:13
79	0.372524	0.439288	02:13
80	0.401382	0.438215	02:13
81	0.396733	0.434015	02:14
82	0.389593	0.434726	02:14
83	0.383025	0.436902	02:13
84	0.401064	0.433414	02:14
85	0.386209	0.425387	02:13
86	0.384968	0.425346	02:14
87	0.383567	0.424326	02:14
88	0.391280	0.422697	02:14
89	0.368453	0.427123	02:13
90	0.365470	0.429039	02:13
91	0.393804	0.424258	02:14
92	0.394620	0.422961	02:14
93	0.375102	0.427054	02:14
94	0.383206	0.425697	02:14
95	0.395043	0.422112	02:14
96	0.366308	0.422676	02:14
97	0.392170	0.424065	02:14
98	0.389151	0.422563	02:14
99	0.401422	0.419550	02:14

In [8]:

```
model.save('modelBuilding_20210731_100epoch_2')
```

Computing model metrics...

100.00% [47/47 00:07<00:00]

Out[8]:

```
WindowsPath('D:/Premjai/trainingdata_kohkred20210724/models/modelBuilding_20210731_100epoch_2')
```

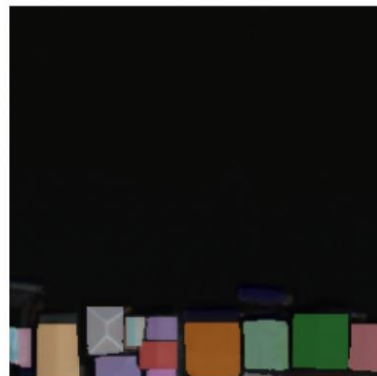
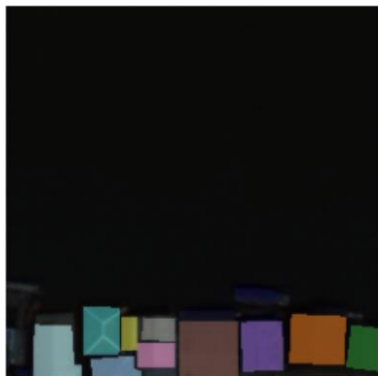
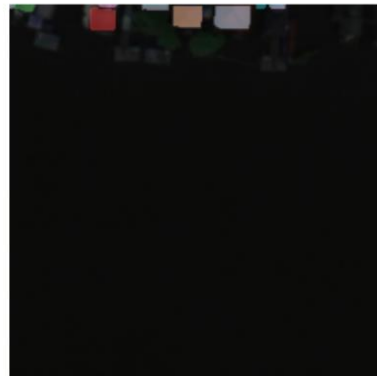
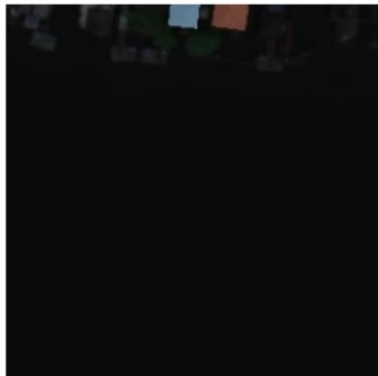
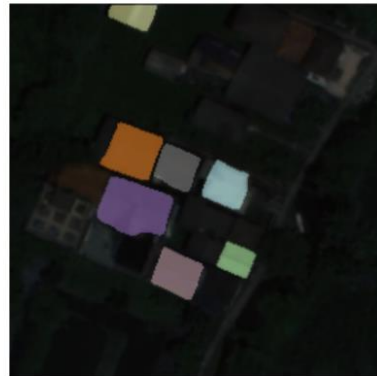
7/12/22, 11:48 AM

Untitled13

In [9]:

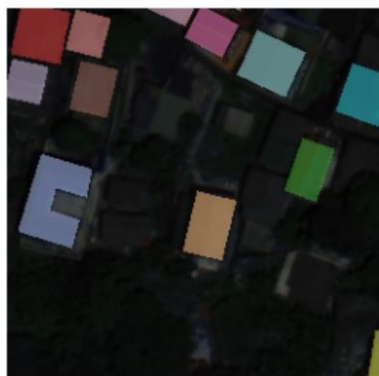
```
model.show_results()
```

Ground Truth / Predictions



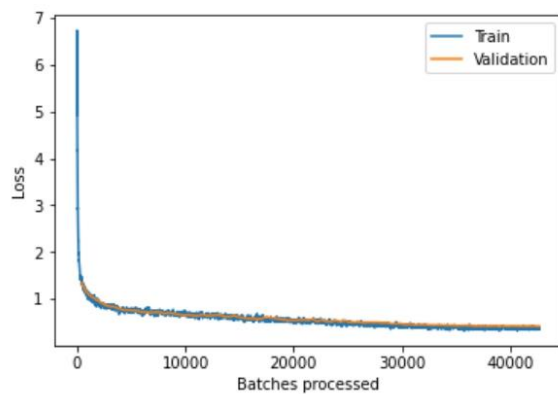
7/12/22, 11:48 AM

Untitled13



In [10]:

```
model.plot_losses()
```



In [11]:

```
model.average_precision_score()
```

100.00% [47/47 00:07<00:00]

Out[11]:

```
{'building_kohkred': 0.8737445402291357}
```

In []:



พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 1 บ้านคลองชมพู



ภาพที่ ข.1 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 1 บ้านคลองชมพู

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 2 บ้านคานเรือ



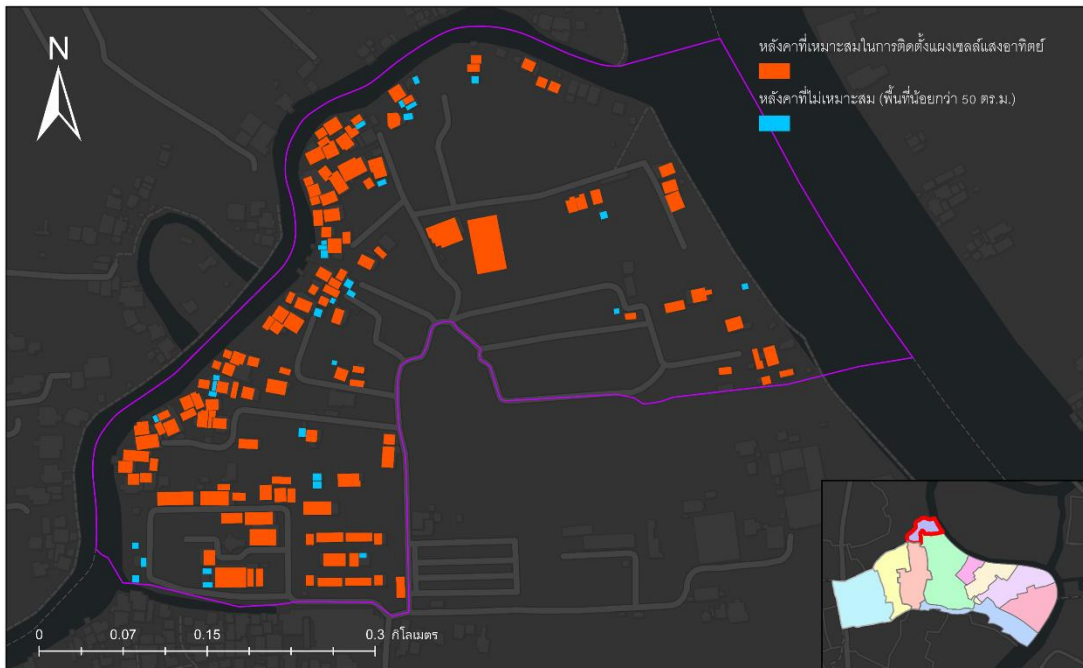
ภาพที่ ข.2 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 2 บ้านคานเรือ

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 3 บ้านคลองขวาง



ภาพที่ ข.3 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ หมู่ 3 บ้านคลองขวาง

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปากคลอง



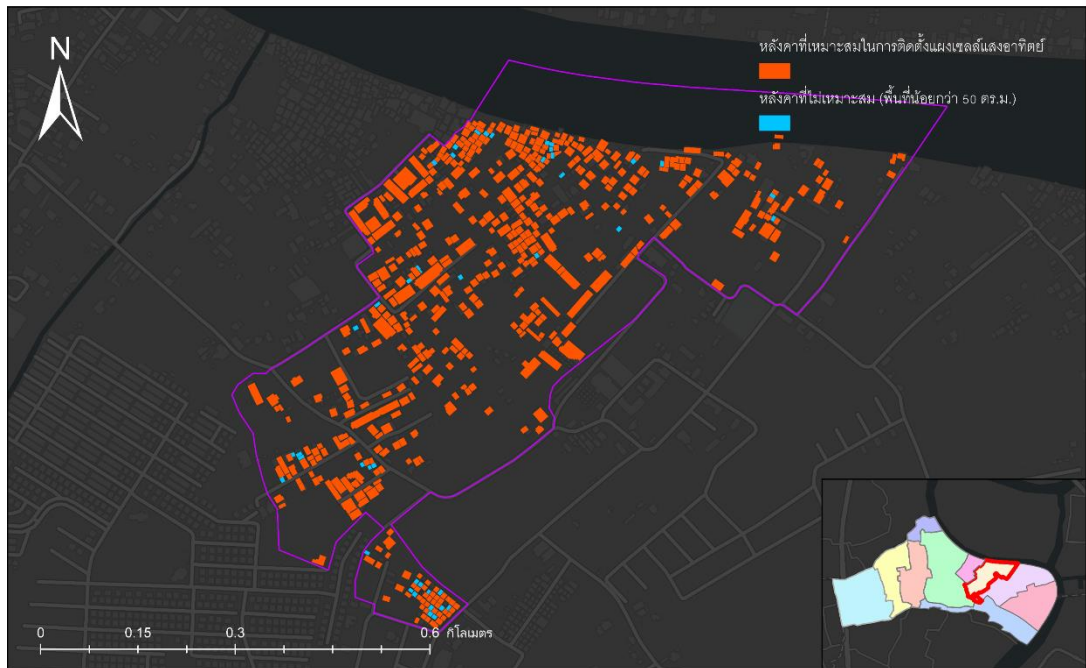
ภาพที่ ข.4 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปากคลอง

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 5 บ้านลาดสิงห์



ภาพที่ ข.5 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 5 บ้านลาดสิงห์

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 6 บ้านสุเหร่าคลองสวน



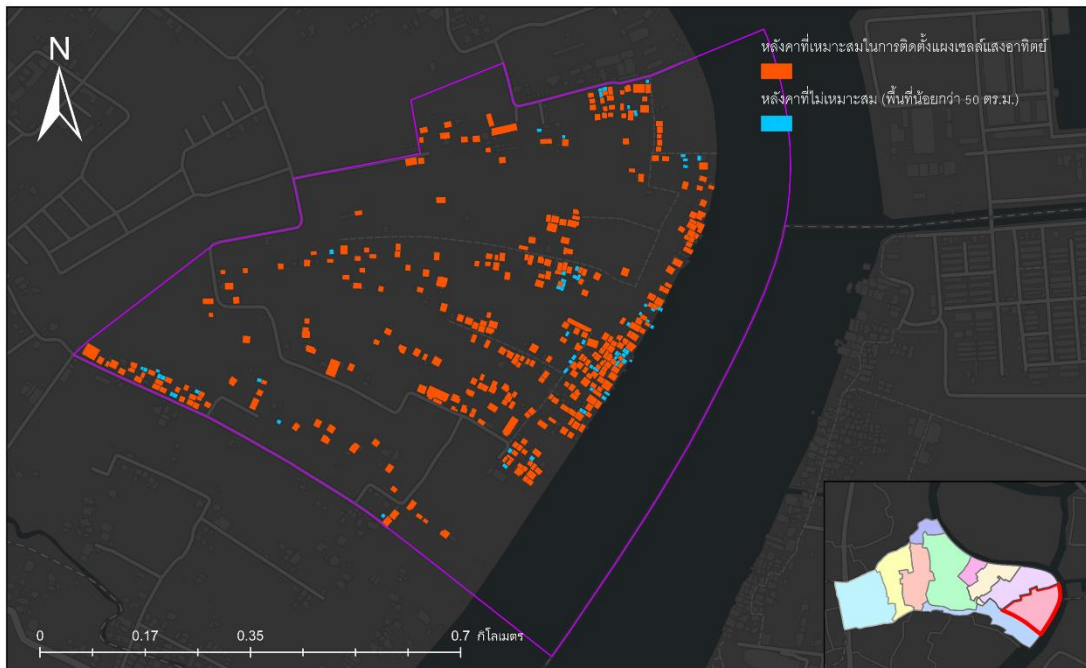
ภาพที่ ข.6 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 6 บ้านสุเหร่าคลองสวน

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 7 บ้านสุหร้าแดง



ภาพที่ ข.7 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 7 บ้านสุหร้าแดง

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 8 บ้านหัวเตย



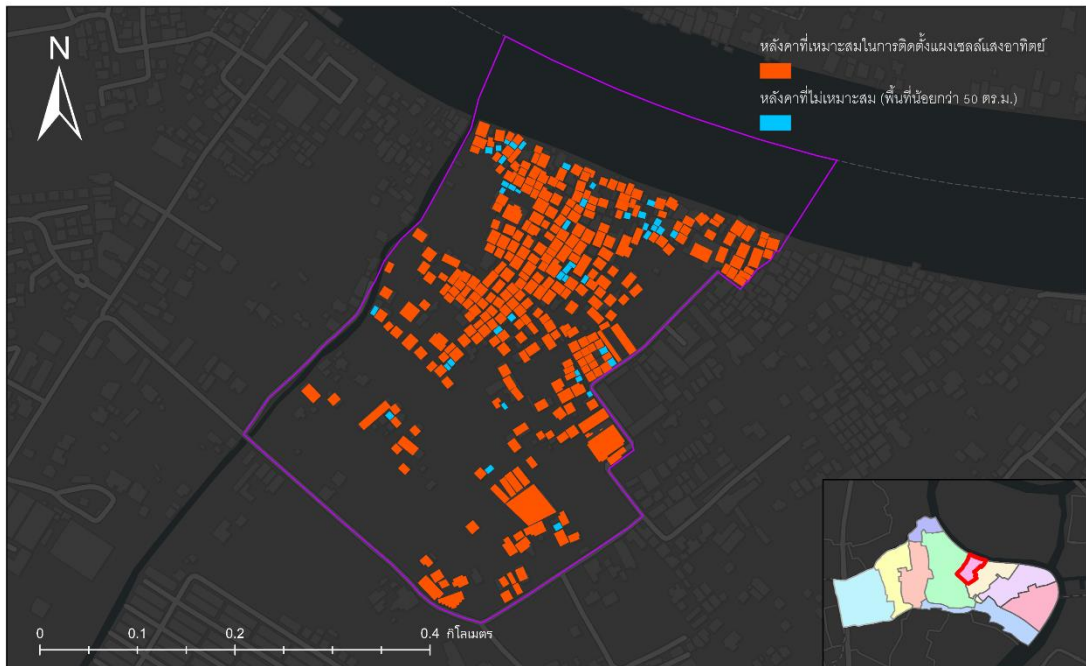
ภาพที่ ข.8 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 8 บ้านหัวเตย

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 9 บ้านลำพูลาย



ภาพที่ ข.9 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 9 บ้านลำพูลาย

พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 10 บ้านสุหระาใหญ่



ภาพที่ ข.10 พื้นที่หลังคาที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมู่ 10 บ้านสุหระาใหญ่

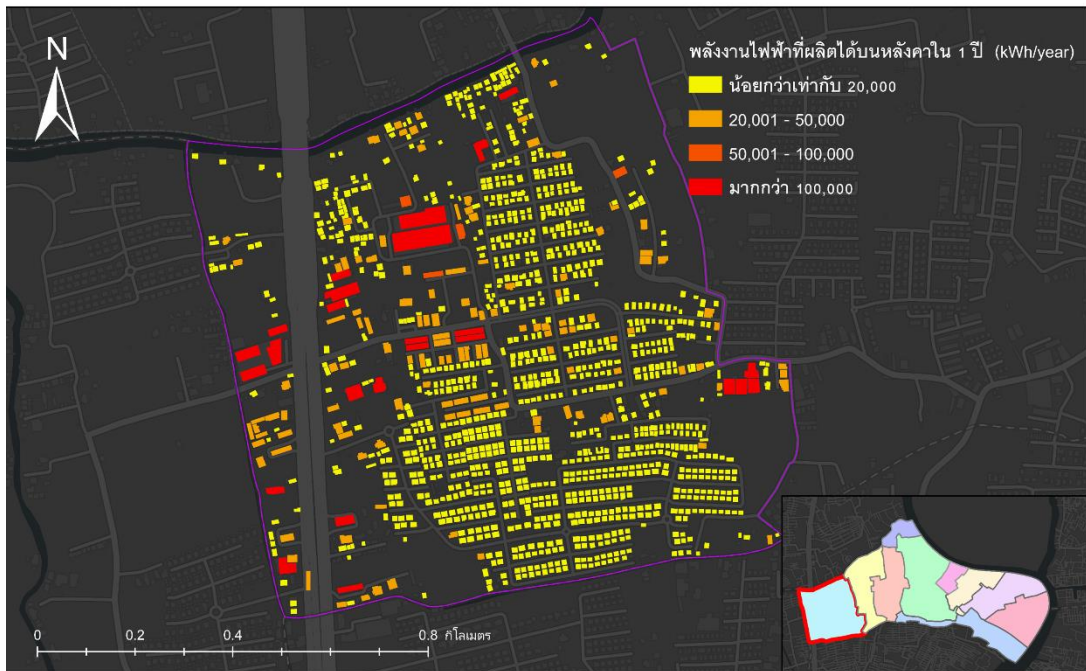


ภาคผนวก ค

แผนที่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี

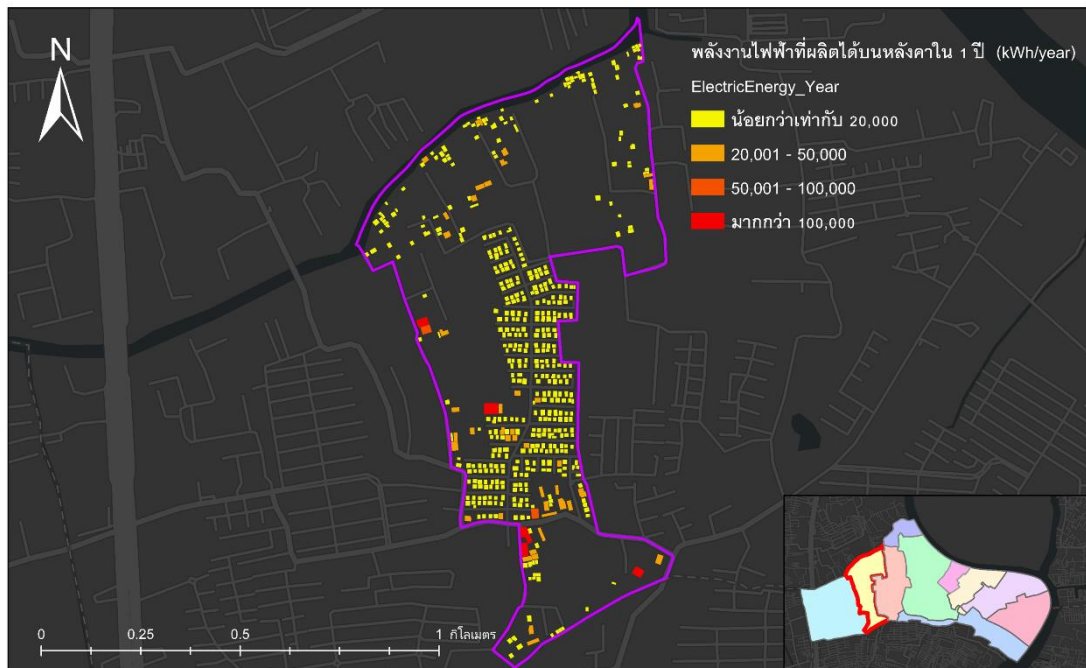
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 1 บ้านคลองชมพู



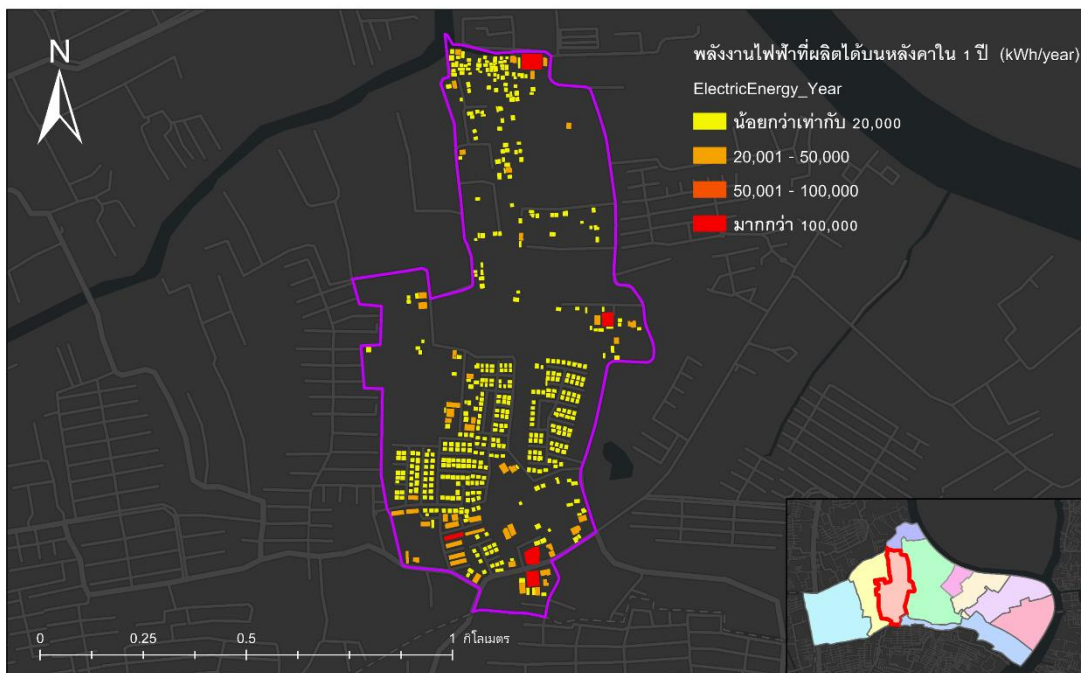
ภาพที่ ค.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 1 บ้านคลองชมพู

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 2 บ้านคานเรือ



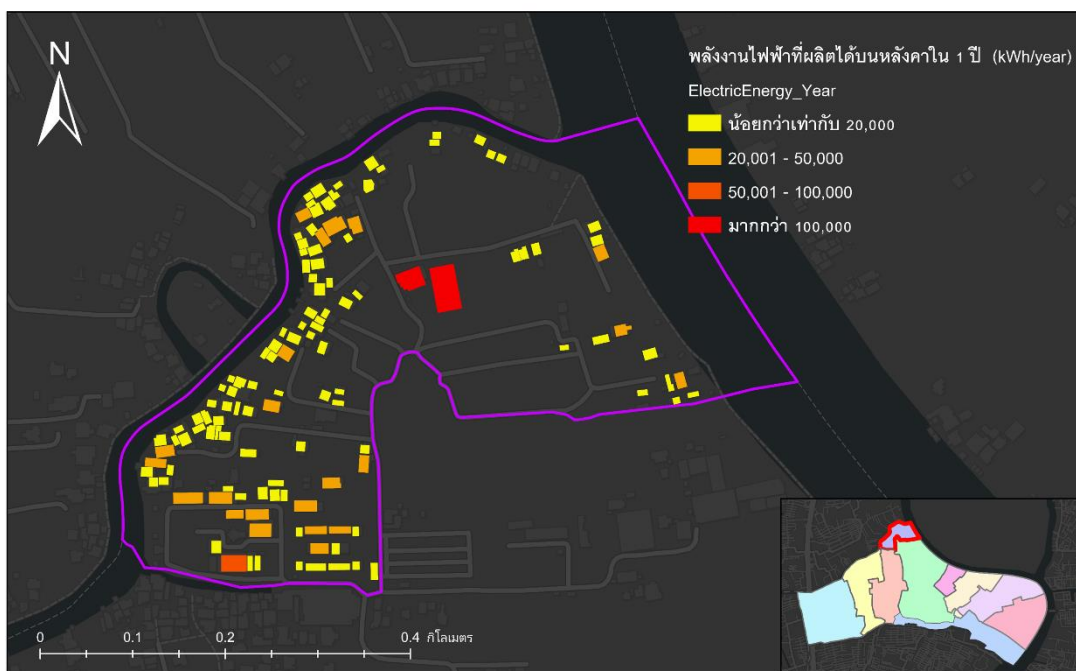
ภาพที่ ค.2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 2 บ้านคานเรือ

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 3 บ้านคลองขวาง



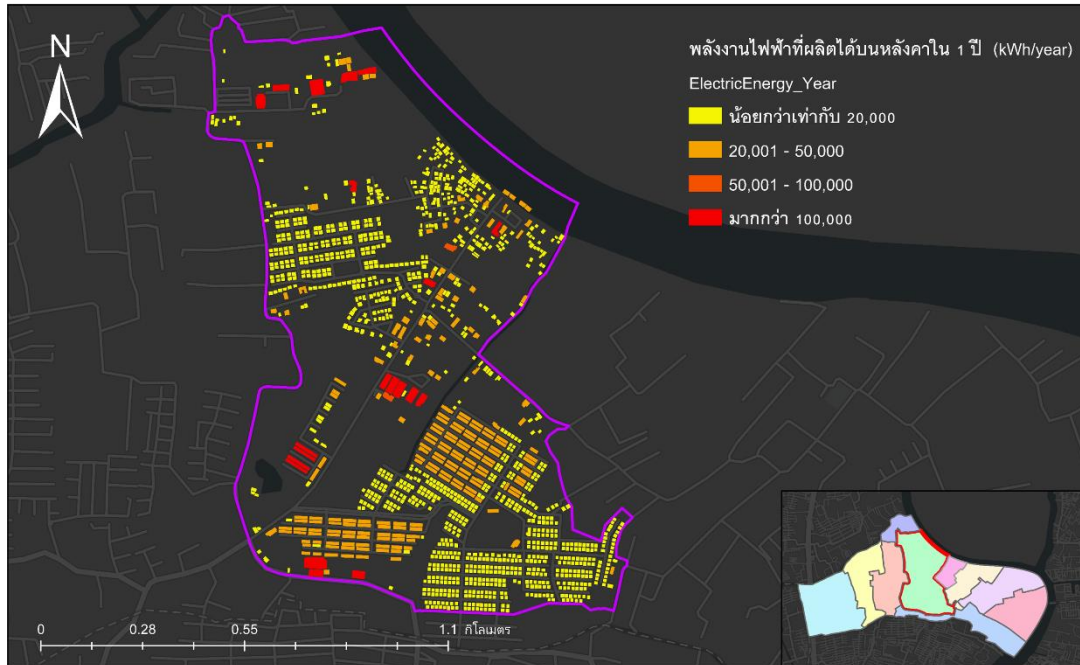
ภาพที่ ค.3 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 3 บ้านคลองขวาง

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปากคลอง



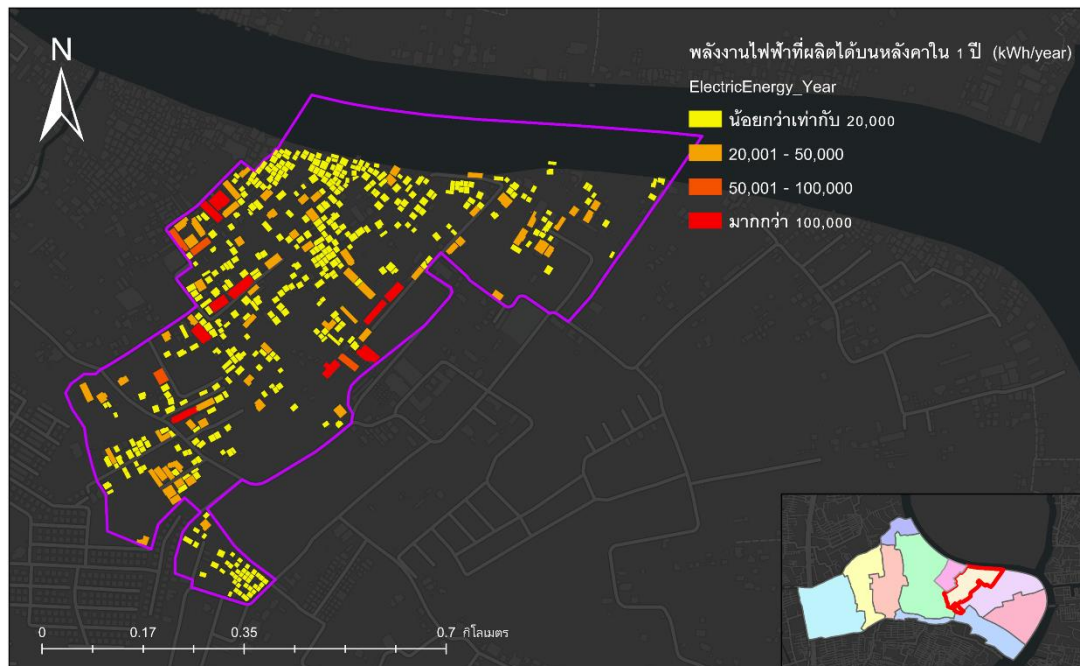
ภาพที่ ค.4 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 4 บ้านศาลเจ้าปาก
คลอง

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 5 บ้านลาดสิงห์



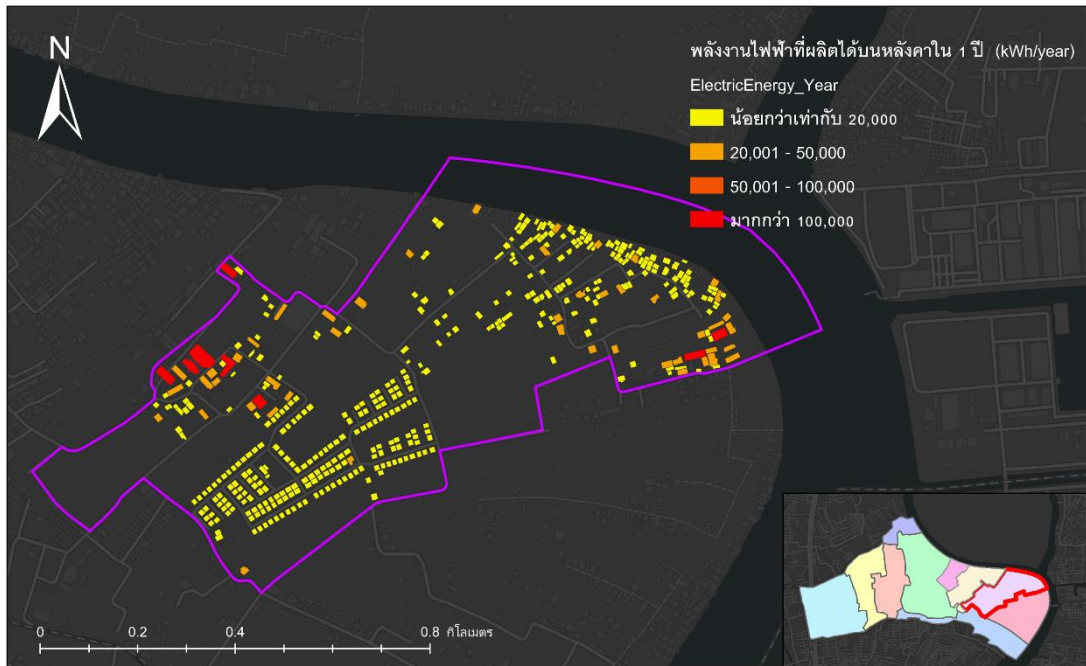
ภาพที่ ค.5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 5 บ้านลาดสิงห์

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 6 บ้านสุหระาคลองสวน



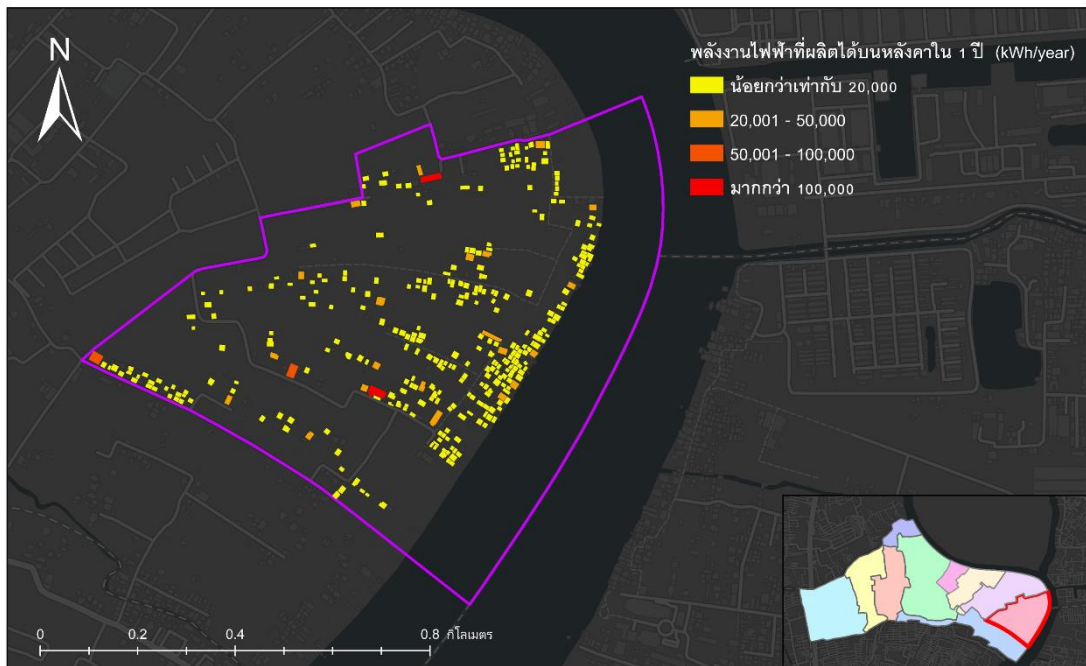
ภาพที่ ค.6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 6 บ้านสุหระาคลองสวน

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 7 บ้านสุหระแดง



ภาพที่ ค.7 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 7 บ้านสุหระแดง

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 8 บ้านหัวเตย



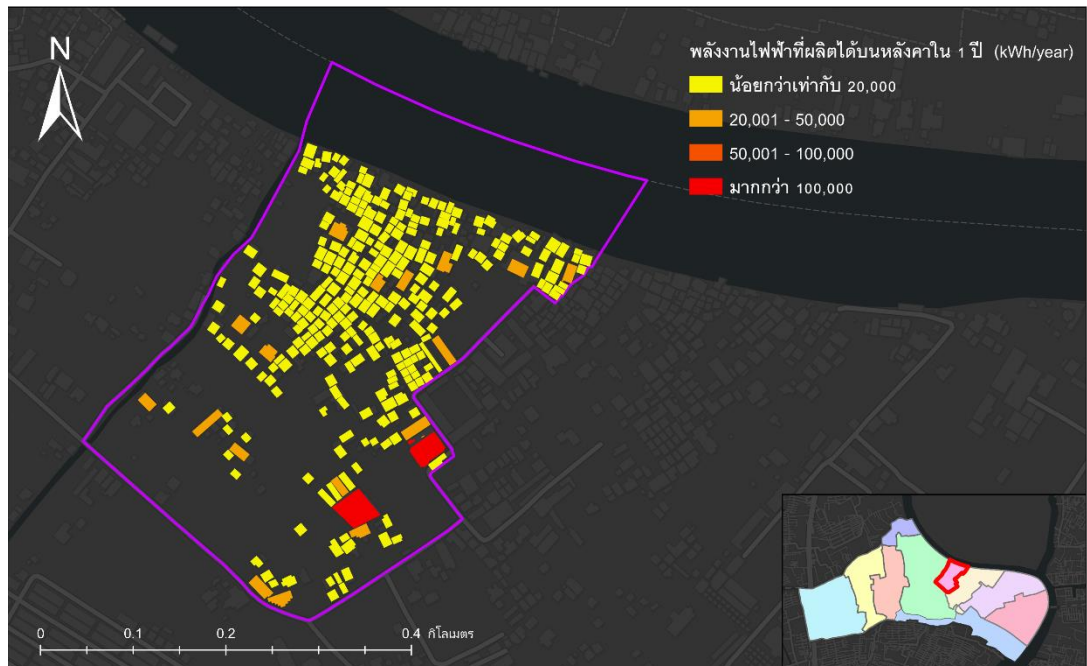
ภาพที่ ค.8 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 8 บ้านหัวเตย

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 9 บ้านลำพูลาย



ภาพที่ ค.9 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 9 บ้านลำพูลาย

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 10 บ้านสุเหร่าใหญ่



ภาพที่ ค.10 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี หมู่ 10 บ้านสุเหร่าใหญ่



ตาราง ง.1 ชั้นข้อมูล พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมและรายหลังคาใน
เว็บแอปพลิเคชัน

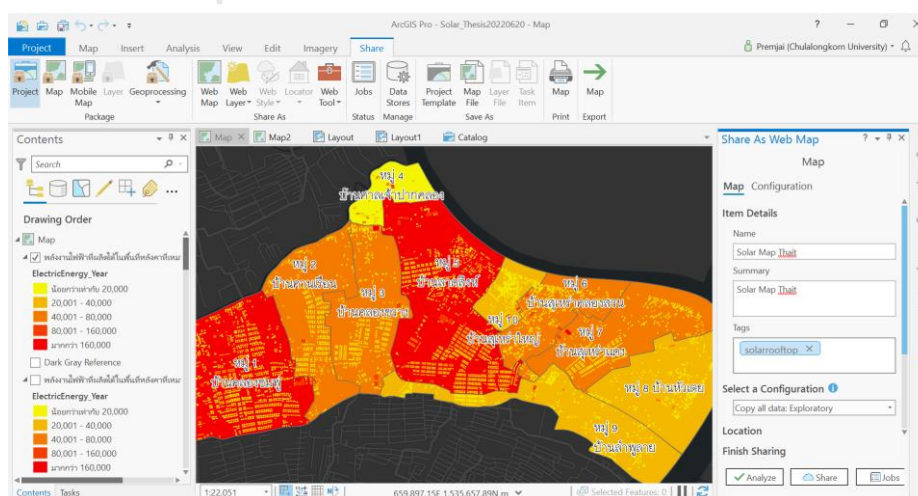
ชื่อฟิลด์ข้อมูล	คำอธิบาย
หมู่ที่	เลขที่หมู่ ที่อาคารตั้งอยู่
พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ตร.ม.)	พื้นที่หลังคาอาคารทั้งหมด (ตร.ม.) ที่ได้จากการขึ้นรูปจากการเรียนรู้เชิงลึก และมีการปรับแก้ขอบเขตอาคารให้เรียบร้อยแล้ว
พื้นที่หลังคาที่เหมาะสม (ตร.ม.)	พื้นที่หลังคาอาคารที่เหมาะสม สำหรับหลังคาประเภทมีมุมจากการนำพื้นที่หลังคาอาคาร มาคูณกับค่าการลดทอน (f_0) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5
พลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)	พลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อวัน คำนวณจากพื้นที่หลังคาที่เหมาะสมและค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย (5 kWh/ตารางเมตร/วัน) (kWh/day)
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันบนหลังคา (kWh/day) คำนวณจากค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อวัน และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ร้อยละ 15) และค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (0.85)
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (MWh/year)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (MWh/year) คำนวณโดยการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันคูณจำนวนวันใน 1 ปี (365)

ตาราง ง.2 ชั้นข้อมูลศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา แยกตามหมู่บ้าน

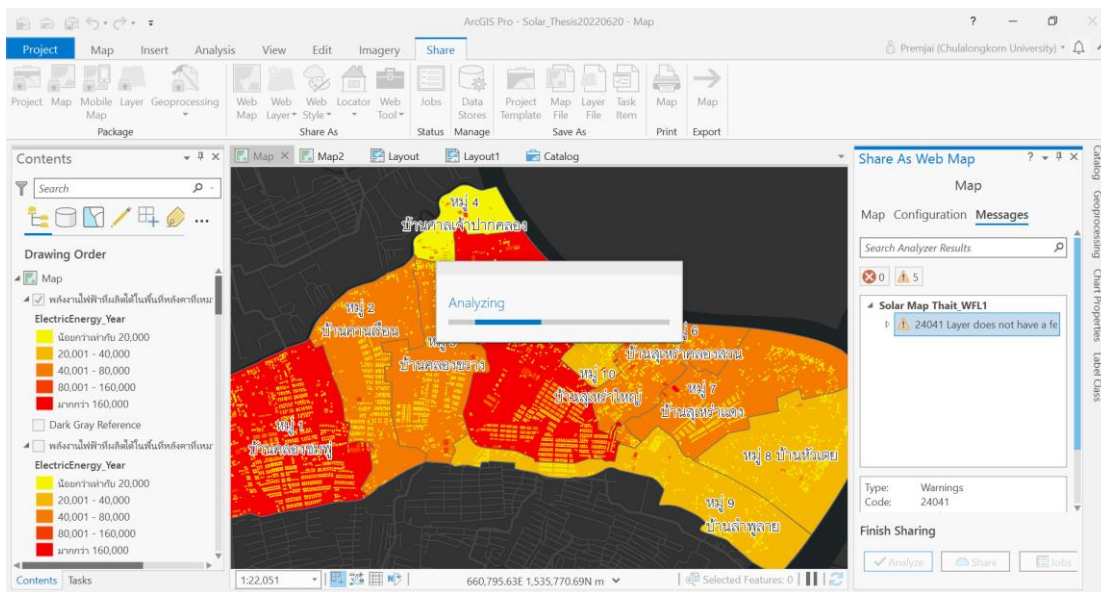
ชื่อฟิลด์ข้อมูล	คำอธิบาย
จังหวัด	จังหวัดของพื้นที่ศึกษา (องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี)
อำเภอ	อำเภอที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา (องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี)
ตำบล	ตำบลที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา (องค์การบริหารส่วนตำบลท่าอิฐ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี)
หมู่ที่	หมู่ที่ของหมู่บ้าน
ชื่อหมู่บ้าน	ชื่อของหมู่บ้าน
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาใน 1 ปี (MWh/year)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา รวมทั้งหมู่บ้านใน 1 ปี

ง.1 เผยแพร่แผนที่จากโปรแกรม ArcGIS Pro ขึ้นสู่เว็บไซต์ ArcGIS Portal

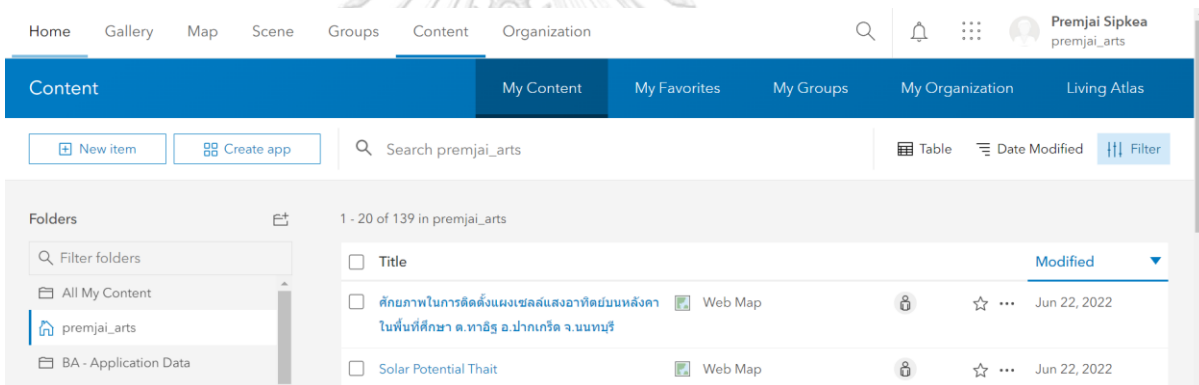
ทำการตั้งค่าสีและสัญลักษณ์ตามระดับศักยภาพของพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้บนหลังคาใน 1 ปี (kWh/year) จากนั้นทำการเผยแพร่แผนที่ที่ตั้งค่าสำเร็จแล้ว โดยไปที่แท็บเครื่องมือ Share เลือก Web Map ใส่ชื่อแผนที่ ใส่ Tags และคลิกที่ Analyze เมื่อทำการ Analyze และไม่พบข้อผิดพลาด จะสามารถกดแชร์แผนที่ได้ทันที



ภาพที่ ง.1 แสดงการตั้งค่าชื่อแผนที่ ใส่ Tags ก่อนทำการ Analyze แผนที่ก่อนจะเผยแพร่แผนที่ขึ้นเว็บ



ภาพที่ ง.2 การ Analyze แผนที่ก่อนเผยแพร่แผนที่ขึ้นเว็บ



ภาพที่ ง.3 แผนที่ที่เผยแพร่ ปรากฏอยู่บนเว็บ ArcGIS Portal

ง.2 ตั้งค่าการแสดงผลข้อมูล Pop-up ในแผนที่

ที่หน้าเว็บแผนที่ คลิก More Options และเลือก Configure Pop-up ตั้งชื่อที่ Pop-up Titles ที่ Configure Attributes สามารถตั้งค่าการแสดงผล, ตั้งชื่อข้อมูลที่แสดงผลและการอนุญาตให้แก้ไขข้อมูลใน Attribute table ได้

Configure Attributes

Check the fields you want to display. Select a field to change its alias, order it, and format it.

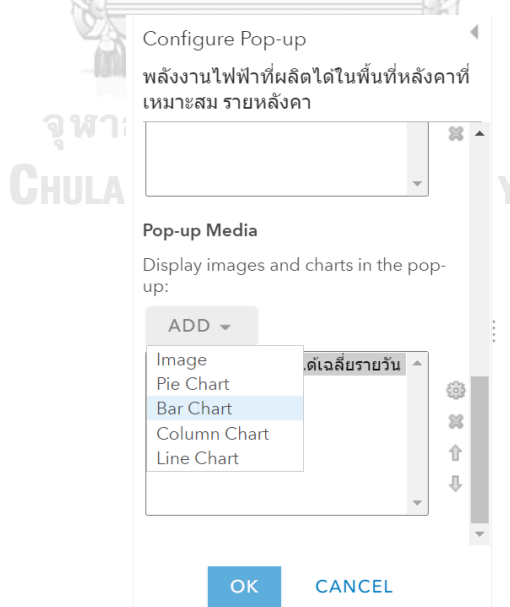
<input type="checkbox"/> Display	Field Name	Field Alias
<input type="checkbox"/>	{RoofType}	RoofType
<input type="checkbox"/>	{f0}	f0
<input checked="" type="checkbox"/>	{Suitable_Area}	พื้นที่หลังคาที่เหมาะสม (ตร.ม.)
<input checked="" type="checkbox"/>	{SolarEnergy}	พลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ ที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อวัน (kWh/day)

OK

CANCEL

ภาพที่ ง.4 การตั้งค่า Pop-up

ที่ Pop-up Media สามารถสร้างแผนภูมิแสดงผลข้อมูลได้ ในที่นี่จะทำการสร้างแผนภูมิชนิดแท่ง (Column Chart) แสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันในเดือนต่าง ๆ (kWh)



ภาพที่ ง.5 แสดงการตั้งค่า Pop-up Media แสดงแผนภูมิค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยต่อวันในเดือนต่าง ๆ

ภาคผนวก จ

สถิติจำนวนหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าและจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าแยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จ.1 สถิติจำนวนหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าแยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า (การไฟฟ้านครหลวง, 2564)

สถิติจำนวนหน่วยจำหน่าย (ล้านหน่วย) แยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

ปี	บ้านอยู่อาศัย	กิจการขนาดเล็ก	กิจการขนาดกลาง	กิจการขนาดใหญ่	กิจการเฉพาะอย่าง	องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร	ผู้นำเพื่อการบริหาร	ไฟฟ้าชั่วคราว	สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า*	หน่วยขายไม่รวมไฟฟ้าสาธารณะ	ไฟฟ้าสาธารณะ	หน่วยขายรวมไฟฟ้าสาธารณะ
2559	12,998.23	8,010.43	8,742.72	18,452.04	2,154.66	124.79	-	418.84		50,901.71	473.77	51,375.48
2560	13,041.40	7,927.37	8,696.59	18,343.40	2,156.41	131.40	-	404.02		50,700.59	482.32	51,182.91
2561	13,133.86	7,956.33	8,795.22	18,507.70	2,174.84	130.37	-	410.52	0.03	51,108.87	491.34	51,600.21
2562	14,296.35	8,266.84	8,975.31	18,431.79	2,261.33	134.36	-	438.91	0.02	52,804.91	499.46	53,304.37
2563	15,693.74	7,203.38	8,240.53	16,799.16	1,655.36	132.99	-	427.96	0.12	50,153.24	508.60	50,661.84
2564	15,772.08	6,743.34	7,886.62	16,675.81	1,489.03	129.92	-	352.15	0.99	49,049.97	510.78	49,560.75
2565(น.ค. มี.ค.)	3,772.36	1,696.12	2,037.21	4,296.63	413.78	33.81	-	86.10	1.80	12,337.81	126.38	12,464.19
2564(น.ค. มี.ค.)	3,470.74	1,607.27	1,975.17	4,146.53	367.27	30.53	-	86.30	0.05	11,683.88	125.66	11,809.54
2564												
ม.ค.	1,005.12	485.99	587.09	1,303.15	107.28	9.30	-	27.55	0.01	3,525.51	43.27	3,568.78
ก.พ.	1,135.61	525.13	627.53	1,302.78	113.37	9.48	-	27.65	0.02	3,741.57	39.10	3,780.67
มี.ค.	1,330.01	596.15	760.55	1,540.60	146.62	11.75	-	31.10	0.02	4,416.80	43.29	4,460.09
เม.ย.	1,423.99	590.31	654.61	1,358.24	134.66	10.77	-	29.25	0.03	4,201.86	41.90	4,243.76
พ.ค.	1,593.30	615.73	696.08	1,451.45	132.88	11.23	-	32.14	0.03	4,532.84	43.30	4,576.14
มิ.ย.	1,579.94	633.93	693.68	1,440.26	128.93	12.87	-	31.43	0.09	4,521.13	41.94	4,563.07
ก.ค.	1,439.98	573.67	644.32	1,334.88	122.83	9.65	-	27.57	0.11	4,153.01	43.35	4,196.36
ส.ค.	1,431.31	558.69	622.80	1,274.35	122.18	11.22	-	29.88	0.10	4,050.54	43.36	4,093.90
ก.ย.	1,289.97	539.74	629.19	1,375.98	114.47	10.92	-	29.51	0.09	3,989.87	42.10	4,031.97
ต.ค.	1,263.17	555.40	660.93	1,469.79	121.35	11.30	-	30.14	0.08	4,112.15	43.52	4,155.67
พ.ย.	1,217.31	555.96	676.87	1,448.26	123.89	11.03	-	29.07	0.10	4,062.49	42.12	4,104.61
ธ.ค.	1,062.37	512.64	632.97	1,376.07	120.57	10.40	-	26.86	0.32	3,742.20	43.53	3,785.73
รวม	15,772.08	6,743.34	7,886.62	16,675.81	1,489.03	129.92	-	352.15	0.99	49,049.97	510.78	49,560.75
2565												
ม.ค.	1,198.64	548.77	650.54	1,395.62	131.51	11.05	-	27.77	0.46	3,964.36	43.51	4,007.87
ก.พ.	1,210.13	548.48	633.63	1,342.35	124.86	10.46	-	27.80	0.63	3,898.34	39.33	3,937.67
มี.ค.	1,363.59	598.87	753.04	1,558.66	157.41	12.30	-	30.53	0.71	4,475.11	43.54	4,518.65
รวม	3,772.36	1,696.12	2,037.21	4,296.63	413.78	33.81	-	86.10	1.80	12,337.81	126.38	12,464.19

หมายเหตุ: * ตามประกาศการไฟฟ้านครหลวง ที่ 54/2559 และ 46/2560 เรื่อง อัตราค่าบริการสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าใน ระยะแรก และ เรื่อง อัตราค่าบริการสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเป็นการชั่วคราว ตามลำดับ
** ค่าไฟฟ้าสถานีอัดประจุไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เดือน มี.ค. 65 - 704,856 kWh



จ.2 จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าแยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า (การไฟฟ้านครหลวง, 2564)

สถิติจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า แยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

ปี	บ้านอยู่อาศัย (ราย)	กิจการขนาดเล็ก (ราย)	กิจการขนาดกลาง (ราย)	กิจการขนาดใหญ่ (ราย)	กิจการเฉพาะอย่าง (ราย)	องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร (ราย)	สูบน้ำเพื่อ การเกษตร (ราย)	ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว (ราย)	สถานีอัดประจุไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า *	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า (ราย)
2559	3,062,576	517,300	22,524	2,324	3,021	330	-	24,647		3,632,722
2560	3,149,375	500,229	22,771	2,353	3,089	322	-	25,173		3,703,312
2561	3,240,838	509,477	23,314	2,386	3,185	318	-	26,235	87	3,805,840
2562	3,341,727	516,535	23,856	2,470	3,439	323	-	27,115	148	3,915,613
2563	3,654,363	340,605	24,069	2,494	3,524	326	-	27,389	193	4,052,963
2564	3,702,796	348,349	23,765	2,521	3,266	331	-	28,209	242	4,109,479
2565 (มี.ค.)	3,715,442	346,088	23,748	2,530	3,265	330	-	28,535	248	4,120,186
2564 (ธ.ค.)	3,702,796	348,349	23,765	2,521	3,266	331	-	28,209	242	4,109,479
2564										
ม.ค.	3,657,968	341,375	24,058	2,494	3,522	324	-	27,354	196	4,057,291
ก.พ.	3,660,944	342,420	24,033	2,490	3,499	323	-	27,410	195	4,061,314
มี.ค.	3,663,223	343,346	23,996	2,492	3,485	323	-	27,474	195	4,064,534
เม.ย.	3,665,685	344,790	23,965	2,494	3,424	323	-	27,607	196	4,068,484
พ.ค.	3,669,326	346,447	23,883	2,500	3,391	323	-	27,748	197	4,073,815
มิ.ย.	3,671,403	347,934	23,812	2,502	3,343	325	-	27,999	202	4,077,520
ก.ค.	3,676,710	347,310	23,796	2,507	3,324	326	-	28,012	204	4,082,189
ส.ค.	3,683,524	348,940	23,739	2,511	3,315	324	-	28,152	207	4,090,712
ก.ย.	3,686,515	349,110	23,714	2,516	3,295	325	-	28,014	211	4,093,700
ต.ค.	3,690,473	349,167	23,692	2,515	3,282	327	-	28,060	216	4,097,732
พ.ย.	3,695,928	348,835	23,748	2,519	3,281	331	-	28,180	231	4,103,053
ธ.ค.	3,702,796	348,349	23,765	2,521	3,266	331	-	28,209	242	4,109,479
รวม	3,702,796	348,349	23,765	2,521	3,266	331	-	28,209	242	4,109,479
2565										
ม.ค.	3,705,014	347,748	23,735	2,529	3,264	331	-	28,275	248	4,111,144
ก.พ.	3,712,314	347,025	23,733	2,529	3,263	330	-	28,389	256	4,117,839
มี.ค.	3,715,442	346,088	23,748	2,530	3,265	330	-	28,535	248	4,120,186
รวม	3,715,442	346,088	23,748	2,530	3,265	330	-	28,535	248	4,120,186

หมายเหตุ: * ตามประกาศการไฟฟ้านครหลวง ที่ 54/2559 และ 46/2560 เรื่อง อัตราค่าบริการสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในระยะแรกๆ และ เรื่อง อัตราค่าบริการสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าเป็นการชั่วคราว ตามลำดับ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เปรมใจ ชิบเข
วัน เดือน ปี เกิด	4 ตุลาคม 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2561 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาภูมิศาสตร์ และภูมิสารสนเทศ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	98/8 หมู่ 1 หมู่บ้านเพลินราชพฤษ์ ต.บางเลน อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140
ผลงานตีพิมพ์	รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา แห่งชาติ ครั้งที่ 53
รางวัลที่ได้รับ	ได้รับรางวัลนำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายระดับดีเด่น