การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

Energy Management in Office Buildings to Achieve Carbon Neutrality In Bang Rak Phatthana Municipality

นายเอกนัด กองรัมย์

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

พุทธศักราช 2569

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสยาม

ใบรับรองสารนิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

เรื่อง การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

Energy Management in Office Buildings to Achieve Carbon Neutrality In Bang Rak Phatthana Municipality

ผู้วิจัย นายเอกนัด กองรัมย์

Mr. Eakkanut Kongrum

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาทิตย์ โสตรโยม

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสตรโยม)

.....

(รองศาสตรตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเทิงจิตร)

ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

วันที่ 23 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2569

บทคัดย่อ

เรื่อง : การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

โดย : นายเอกนัด กองรัมย์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : การจัดการงานวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาทิตย์ โสตรโยม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสตรโยม)

23 / 8 / 69

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารสำนักงานและโดมเอนกประสงค์ และวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (2) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี โดยใช้โปรแกรมพีวีซิสต์ รุ่น 7.3.1 ในการจำลองระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและระบบแบบแยกเดี่ยว การศึกษาแบ่งเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงาน ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 234 แผง กำลังรวม 143 กิโลวัตต์พีค ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 450 แผง กำลังรวม 275 กิโลวัตต์พีค และระบบแบบแยกเดี่ยวสำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 540 แผง กำลังรวม 329 กิโลวัตต์พีค ผลการวิจัยพบว่า ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงานผลิตพลังงานได้ 206,209 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี อัตราส่วนประสิทธิภาพร้อยละ 84.19 อาคารโดมเอนกประสงค์แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผลิตพลังงานได้ 383,381 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี อัตราส่วนประสิทธิภาพร้อยละ 81.39 และระบบแบบแยกเดี่ยวผลิตพลังงานได้ 457,593 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี อัตราส่วนประสิทธิภาพร้อยละ 80.95 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์มีความคุ้มค่าสูงสุด โดยมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 10.99 และระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน ด้านสิ่งแวดล้อม ระบบแบบแยกเดี่ยวมีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกสูงสุด 273.91 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ความเป็นกลางทางคาร์บอน เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

ABSTRACT

Tittle : Energy Management in Office Buildings to Achieve Carbon Neutrality In BangRak Phatthana Municipality

By : Mr. Eakkanut Kongrum

Degree : Master of Engineering

Major Field : Engineering Management

Advisor : Athit Sode-Yome

(Asst. Prof. Dr. Athit Sode-Yome)

23 / 8 / 26

This research aimed to (1) simulate solar photovoltaic electricity generation systems for office buildings and multipurpose dome buildings and analyze carbon dioxide emissions reduction, and (2) evaluate the costs and financial returns of installing solar PV systems in Bang Rak Phatthana Municipality, Nonthaburi Province. The study utilized PVsyst software version 7.3.1 to simulate both grid-connected and off-grid solar photovoltaic systems. The study examined three distinct systems: a grid-connected system for the office building utilizing 234 solar panels with a total capacity of 143 kWp, a grid-connected system for the multipurpose dome building employing 450 solar panels with a combined capacity of 275 kWp, and an off-grid system for the multipurpose dome building using 540 solar panels with a total capacity of 329 kWp. The research findings demonstrated that the grid-connected system for the office building achieved an annual energy production of 206,209 kWh with a performance ratio of 84.19%. The grid-connected system for the multipurpose dome building generated 383,381 kWh annually with a performance ratio of 81.39%. The off-grid system produced 457,593 kWh per year with a performance ratio of 80.95%. Economic analysis revealed that the grid-connected system for the multipurpose dome building exhibited the highest economic viability with an internal rate of return of 10.99% and a payback period of 7 years and 3 months. From an environmental perspective, the off-grid system demonstrated the greatest potential for greenhouse gas emission reduction, achieving 273.91 tCO2e/year.

Keywords: solar photovoltaic energy, carbon neutrality, Bang Rak Phatthana Municipality

Approve by

.....

Director

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยการได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดรโสตรโยม อาทิตย์. อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ และ ดร เชื้อวงศ์ ทินกร.รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร .ยุทธชัย บันเทิงจิตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศ์พัฒน์ เพ็ชรรุ่งเรือง และ คณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ทุก ๆ ท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ ให้ประโยชน์ ให้ความรู้รวมไปถึงการติดตามดูแลมาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติ พี่น้อง มิตรสหาย รวมถึงผู้แต่งหนังสือหรือเอกสารทางวิชาการ ที่ข้าพเจ้าได้ใช้เป็นเอกสารอ้างอิง รวมทั้งหัวหน้างาน เพื่อนร่วมงานทุกคน ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ จนช่วยให้สามารถทำสารนิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกนัด กองรัมย์
ผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญภาพ.....ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นกลางทางคาร์บอนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....4
2.2 สมดุลพลังงานโลก.....14
2.3 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....17
2.4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....49
2.5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2).....52
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....52

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....56
3.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน.....58
3.3 การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทน.....63
3.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์.....63
3.5 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e).....65

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง หน้าที่

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 อาคารกรณีศึกษา....66
4.2 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ On-grid....67
4.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid....70
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบทั้งสาม....72
4.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์....72
4.6 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) 74

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย....77
5.2 อภิปรายผลการวิจัย....78
5.3 ข้อเสนอแนะ....79

บรรณานุกรม....81

ภาคผนวก....83

ประวัติผู้วิจัย....101

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้าที่

2-1 แนวทางการจัดการเพื่อเดินหน้าสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน.....7
2-2 ข้อมูลจำเพาะของดวงอาทิตย์.....17
2-3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณลักษณะของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดต่าง ๆ.....49
3-1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567.....60
3-2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (บาท) พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567.....61
4-1 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารสำนักงานเทศบาลเมือง บางรักพัฒนา ระบบ On-grid.....68
4-2 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมเอนกประสงค์เทศบาลเมือง บางรักพัฒนา ระบบ On-grid.....69
4-3 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมเอนกประสงค์เทศบาลเมือง บางรักพัฒนา ระบบ Off-grid.....70
4-4 การวิเคราะห์การลงทุนการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....73
4-5 ผลตอบแทนการลงทุนการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....74
4-6 การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการ ปี 25.....76

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้าที่

1-1 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย), 2567).....1
2-1 แนวทางการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน.....5
2-2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแต่ละภาคส่วนของประเทศไทย.....6
2-3 แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติประเด็นการเติบโตอย่างยั่งยืน.....9
2-4 กลไกสำคัญในการขับเคลื่อนให้อุปสงค์มาพบกับอุปทาน.....11
2-5 ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี การสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม.....13
2-6 สมดุลพลังงานโลก.....15
2-7 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของโลกปี 2561.....16
2-8 แกนของโลกเอียง 23.5° ทำให้เกิดเขตภูมิอากาศ.....18
2-9 ความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์.....21
2-10 การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์โดยบรรยากาศของโลก.....21
2-11 การส่งผ่าน การดูดกลืน การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลก.....24
2-12 การกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์.....25
2-13 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....26
2-14 เตาพลังงานแสงอาทิตย์.....27
2-15 การติดตั้งแผงเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัย.....27
2-16 การประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปรับอากาศ.....30
2-17 ระบบทำความเย็นแบบดูดซับร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์.....30
2-18 ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์ร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์.....31
2-19 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....32
2-20 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....34
2-21 ผลกระทบของความเข้มแสงต่อการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....35
2-22 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ.....36
2-23 ผลกระทบของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....37
2-24 ประเภทและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ.....37
2-25 ผลึกเดี่ยวของซิลิคอนบริสุทธิ์.....38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้าที่

2-26 แนวเลื่อยแท่งผลึก....39

2-27 เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์....39

2-28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์....40

2-29 ก้อนโพลีคริสตัลไลน์และการเลื่อยเป็นบล็อกสี่เหลี่ยม....42

2-30 การหั่นก้อนโพลีคริสตัลไลน์เป็นเวเฟอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัส และการสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์....42

2-31 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์....42

2-32 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง....43

2-33 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์....45

2-34 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลูไรด์....46

2-35 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดชนิดไฮบริดจ์....46

2-36 ชั้นของสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multijunction....47

2-37 แผงโมโนแบบ Half-cut cell....48

3-1 กรอบแนวคิดของการวิจัย....57

3-2 พิกัดตำแหน่งอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา....58

3-3 ภาพหลังคาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา....59

3-4 ภาพหลังคาที่อยู่ในพื้นที่ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา....59

3-5 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ปี พ .ศ.2562 ถึง พ .ศ.2567....62

4-1 ภาพและแบบแปลนหลังคาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา....67

4-2 ภาพอาคารและภาพหลังคาอาคารโดมเอนกประสงค์....70

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต้องการมากขึ้นทั่วโลก เนื่องจากความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติ นอกจากนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมมูลค่าการพัฒนาที่ยั่งยืนอีกด้วย ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นไม่เพียงแต่ในการนำไปใช้ในงานที่มีขอบเขตขนาดใหญ่ เช่นภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ ภาครัฐและเอกชน แต่ยังสามารถนำไปใช้กับงานที่มีขอบเขตขนาดเล็ก เช่นภาคครัวเรือน ได้อีกด้วย (ณัฐหทัย จุมรี และคณะ, 2567) ปัจจุบันแนวคิดเรื่องความยั่งยืนขององค์กรมีพื้นฐานมาจากเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ซึ่งประกอบด้วยเป้าหมาย 17 ประการ (ชิสา กันยาวิริยะ และสิรินทร์ กันยาวิริยะ, 2567)



ภาพที่ 1-1 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

ความสำคัญของพลังงานไฟฟ้ามีผลและเป็นรากฐานสำคัญใน การพัฒนาพื้นฐานต่าง ๆ ของประเทศ ทั้งทางด้านสังคม และเศรษฐกิจเป็นพลังงานที่ช่วย สนับสนุนให้มีการพัฒนาการเศรษฐกิจในทุกภาคส่วนของประเทศไม่ว่า จะเป็นภาครัฐ หรือ ภาคเอกชน จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าในประเทศไทยความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ เดือนสิงหาคม เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2567 เวลา 19.33 น. มีค่าเท่ากับ 31,201.00 เมกะวัตต์ เพิ่มขึ้นจากเดือนที่ผ่านมา 972.40 เมกะวัตต์ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.22 ดังภาพที่ 1-1 แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่า ความต้องการใช้ ไฟฟ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง

จากเหตุผลข้างต้นและจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการบูรณาการระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบพลังงานแบบดั้งเดิมที่รับไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าและการเพิ่มสมรรถนะทางพลังงานของกรอบอาคารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) จากอาคารได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีการลงทุนสูง (อิทธิเดช ภู่นันทพงษ์, 2562) ดังนั้นการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยประกอบการตัดสินใจเป็นวิธีการที่ยอมรับทั้งในภาควิชาการและอุตสาหกรรม (บัญชา งามชื่น, 2562) ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการจำลองการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานเพื่อมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา โดยจำลองออกแบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาได้ ใช้โปรแกรม PVSYST เพื่อหาค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของอาคารและทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การจัดการความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารและวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมือง บางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี

2. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษา สำรวจและจัดเก็บข้อมูลอาคารของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี ศึกษาการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) ของอาคารในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา และนำเสนอมาตรการ จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าและผลตอบแทนทางการเงินในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Potential)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารสำนักงาน และอาคารโดมเอนกประสงค์ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี ที่นักวิจัยและผู้ที่สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ศึกษาต่อยอดกับอาคารประเภทเดียวกันหรืออาคารที่ใกล้เคียงกันได้

2. เจ้าของอาคารได้ข้อมูลของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนไว้ประกอบการตัดสินใจ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยศึกษาการจัดหาพลังงานในอาคาร เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคาร และวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมือง บางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารต่าง ๆ รวมทั้งแนวความคิดทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ความเป็นกลางทางคาร์บอนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.2 สมดุลพลังงานโลก

2.3 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

2.5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e)

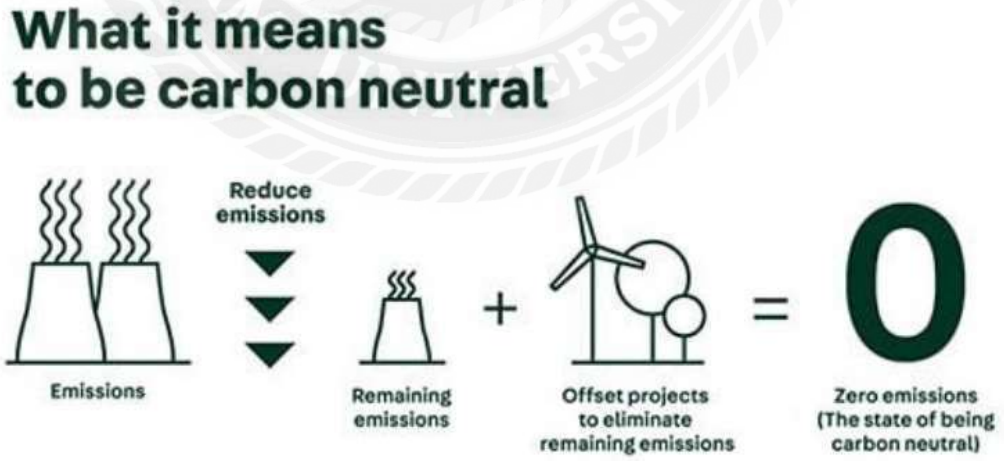
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นกลางทางคาร์บอนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.1.1 ความเป็นกลางทางคาร์บอน

ความเป็นกลางทางคาร์บอน หรือ Carbon Neutral เป็นการดำเนินกิจกรรม โครงการ หรือกิจกรรมขององค์กร หน่วยงานหรือประเทศ ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นศูนย์ โดยมีแนวทางคือ 1) การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ต้นทาง เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) แทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) 2) การชดเชยคาร์บอนเครดิต (Carbon Offsets) โดยการลงทุนในโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อสภาพภูมิอากาศ เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (ประยุทธ์ ฤทธิเดช, 2566) แสดงดังภาพที่ 2-1

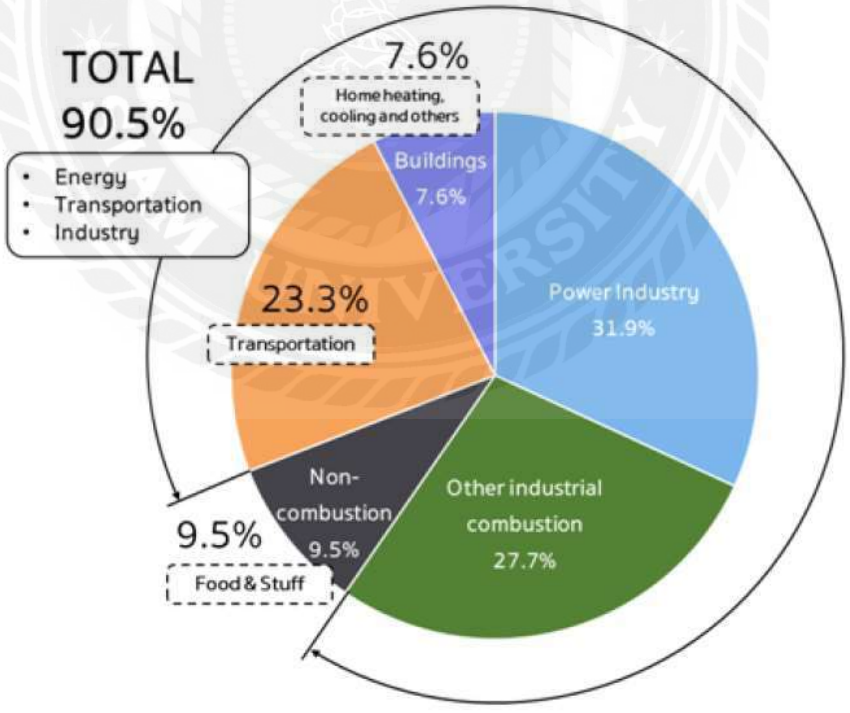
ในการดำเนินการเพื่อมุ่งสู่การเป็น Carbon Neutral ต้องมีการรวบรวมข้อมูลซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อาทิ การใช้พลังงาน (Energy Consumption) ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) การเผาไหม้เชื้อเพลิง ยานพาหนะ ข้อมูลสถิติประชากร เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด สามารถใช้วิธีการคำนวณตามคู่มือของคณะกรรมาธิการระหว่างรัฐบาลด้านสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) โดยใช้ข้อมูลของกิจกรรม (Activity Data) และค่าการปลดปล่อย (Emisstion Factor) ในการคำนวณ รวมถึงการกำหนดเป้าหมายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือก๊าซเรือนกระจกในแต่ละปีที่ต้องการลด เพื่อการวางแผนแนวทางในการชดเชยคาร์บอนหรือลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจำเป็นต้องมีการคาดการณ์ (Forecast) ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ปัจจุบันการคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-based Simulation) หรือแบบจำลองการเติบโต (Growth Model) เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นปัจจัยสำคัญเพื่อประกอบการตัดสินใจ การวางนโยบาย และแนวทางการดำเนินการที่เป็นไปได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2-1 แนวทางการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน

สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่ 21 ของโลก และเป็นอันดับที่ 2 ของอาเซียน รองจากประเทศอินโดนีเซีย โดยมีสัดส่วนอยู่ที่ 0.9% ของโลก หรือ

คิดเป็นปริมาณ 331 $MtCO_2e$ ในปี พ.ศ. 2562 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบโดยรวม (แสดงดังภาพที่ 2-2) จะประกอบด้วยสัดส่วนของภาคพลังงาน 31.9% การเผาไหม้ในภาคอุตสาหกรรมอื่น 27.7% ภาคการขนส่ง 23.3% ภาคอุตสาหกรรมที่ไม่มีการเผาไหม้ 9.5% และการใช้พลังงานภายในอาคาร 7.6% ทั้งนี้ภาคส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่ว่าจะเป็นจากภาคพลังงาน การใช้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมอื่น ภาคขนส่ง และภาคการใช้พลังงานภายในอาคาร ล้วนเกิดจากความต้องการใช้พลังงานทั้งสิ้น โดยคิดรวมกันเป็นสัดส่วนถึง 90.5% ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับการบริหารจัดการในภาคพลังงาน ภาคขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม จึงควรมีการจัดตั้งคณะทำงาน กระทรวงพลังงานและดำเนินการศึกษาเบื้องต้นเพื่อสนับสนุนการมุ่งสู่สังคมความเป็นกลางทางคาร์บอนของประเทศไทย โดยรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องแนวทางการจัดการที่เหมาะสม (แสดงดังตารางที่ 2-1) ในด้านพลังงาน อาทิ การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนหรือเชื้อเพลิงสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลดหรือยกเลิกการใช้โรงไฟฟ้าถ่านหินหรือฟอสซิล การจัดการระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ทกริด (Smart Grid) และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต เป็นต้น



ภาพที่ 2-2 สัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแต่ละภาคส่วนของประเทศไทย

ตารางที่ 2-1 แนวทางการจัดการเพื่อเดินหน้าสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน

แนวทางการจัดการของแต่ละภาคส่วนเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอน			
ภาคพลังงาน	**ภาคอุตสาหกรรม**	**ภาคขนส่ง**	**ภาคเกษตรกรรม**
- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า - ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้า - สนับสนุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาด เช่น พลังงานลม และแสงอาทิตย์ พลังงานไฮโดรเจน และพลังงานนิวเคลียร์	- ลดการใช้ถ่านหินในการเผาไหม้ - กำหนดงบประมาณคาร์บอน - บังคับใช้ภาษีคาร์บอน - สนับสนุน Carbon Captrue and Storage (CCS) - เพิ่มแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามธรรมชาติ - เพิ่มการปลูกป่า	- ลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล - สนับสนุนการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า - ลดหรือยกเว้นการเก็บภาษีรถยนต์พลังงานไฟฟ้า - ยกเว้นค่าอัดประจุไฟฟ้าและค่าบริการที่จอดรถสำหรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า - ยกเว้นภาษีสำหรับผู้ผลิตรถยนต์พลังงานไฟฟ้า - ส่งเสริมและเพิ่มประสิทธิภาพระบบขนส่งสาธารณะ - เพิ่มสมรรถนะของยานยนต์ที่ยังใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้	- ปรับปรุงการทำเกษตรเพื่อลดการเกิดก๊าซมีเทน - ลดการเผาวัสดุทางการเกษตร - สนับสนุนการใช้พลังงานชีวมวล - ประยุกต์ใช้หลักความสัมพันธ์ของพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy-Environment nexus) - ส่งเสริมการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน (Sustainable Consumption and Production; SCP) - ส่งเสริมการเกษตรอัจฉริยะ (Smart agriculture)

2.1.2 เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนกับความเป็นกลางทางคาร์บอน

ประเทศไทยได้มีการตั้งเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกไว้ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (แสดงดังภาพที่ 2-3) ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำหนดตัวชี้วัดไว้ 5 ด้าน โดยมีตัวชี้วัดหลักในการตั้งเป้าหมายลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคพลังงานและขนส่ง อุตสาหกรรม การใช้ผลิตภัณฑ์และการกำจัดของเสียลง โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy-Environment Nexus) ในการจัดการในสาขาพลังงานและขนส่ง กระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ และการจัดการของเสีย เช่น การเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนแต่ยังคงต้องรักษาระดับค่าความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity: EI) ของประเทศให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้หรือเพิ่มสูงขึ้น การพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานและการจัดการคมนาคม การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมแบบปล่อยคาร์บอนต่ำ ตลอดจนลดการก่อให้เกิดของเสีย

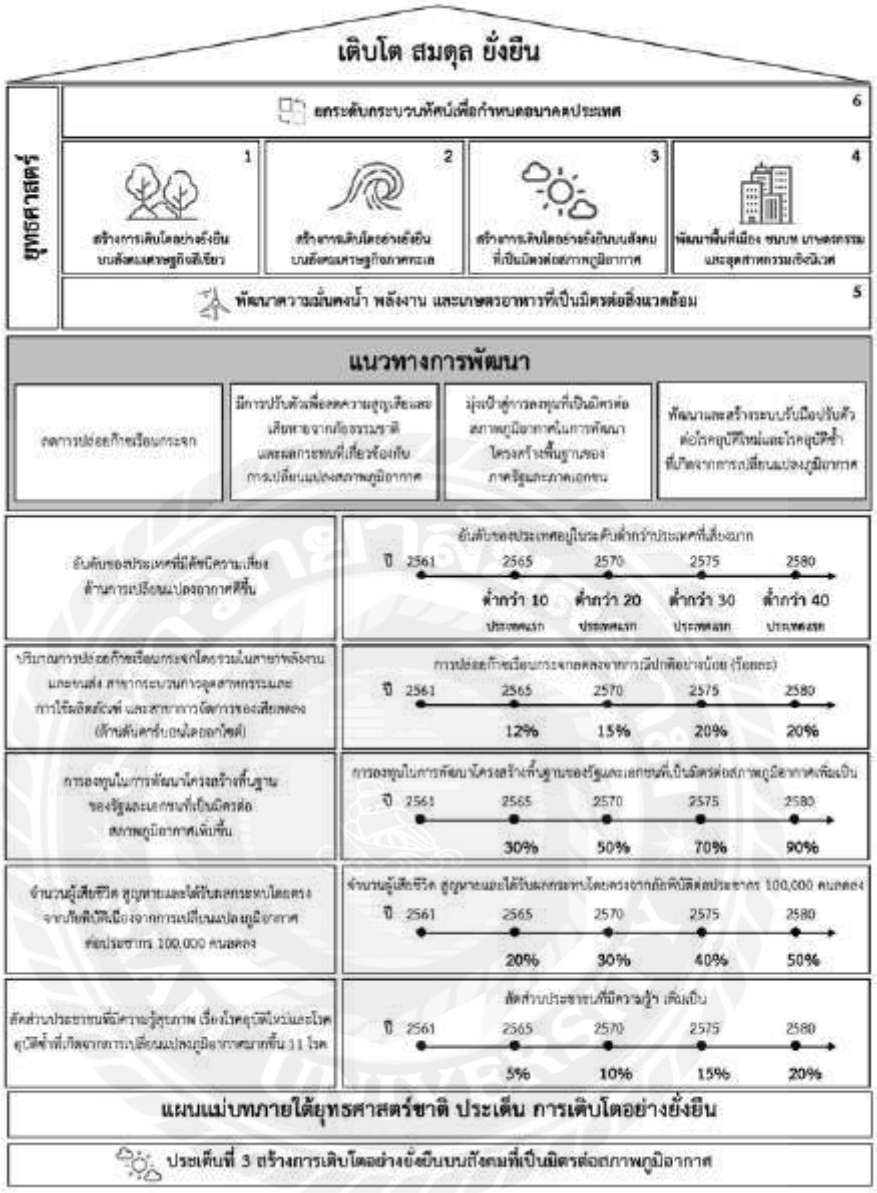
ค่าเป้าหมายดังกล่าวเป็นเป้าหมายขั้นต่ำในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย เนื่องจากได้มีมติคณะรัฐมนตรีเห็นชอบต่อข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจก และการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Nationally Determined Contibution: NDC) โดยกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกขั้นต่ำที่ 20% และกำหนดเป้าหมายขั้นสูงที่ 25% จากกรณีปกติภายในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) รวมถึงการปรับตัว (Adaptation) เพื่อลดความสูญเสียและเสียหายจากภัยธรรมชาติและผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ภัยพิบัติ โรคอุบัติใหม่ (Emerging Diseases) และการมุ่งเป้าสู่การลงทุน (Invesment) ที่เป็นมิตรต่อสภาพภูมิอากาศ ในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของภาครัฐและเอกชน ด้วยการพัฒนามาตรการด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน และการคลัง ในการส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการพัฒนาระบบรายงานข้อมูลที่สามารถวัดผล รายงานผล และตรวจสอบพิสูจน์ผลได้ (Measurable, Reportable and Verifiable: MRV) โดยมีการเชื่อมโยงของเครือข่ายข้อมูลในทุกภาคส่วน ซึ่งทิศทางในการกำหนดแนวทางการพัฒนาและเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDG) เป้าหมายที่ 13 Climate Action ที่กำหนดเป้าประสงค์ในการเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรูปแบบต่าง ๆ การผลักดันให้แต่ละประเทศกำหนดนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสร้างความตระหนักและความเข้าใจของสังคมเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.1.3 แนวทางการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของประเทศไทย

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของประเทศไทยจะต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคพลังงานและภาคขนส่งที่เป็นภาคที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงแต่ก็มีศักยภาพที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้สูงเช่นกัน โดยแนวทางในภาพกว้างเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้แก่

(1) การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในภาคพลังงาน เช่น การใช้เชื้อเพลิงสะอาด การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า และการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy: RE)

(2) การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในภาคขนส่ง เช่น การปรับมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง และการเปลี่ยนไปใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV)



ภาพที่ 2-3 แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติประเด็นการเติบโตอย่างยั่งยืน

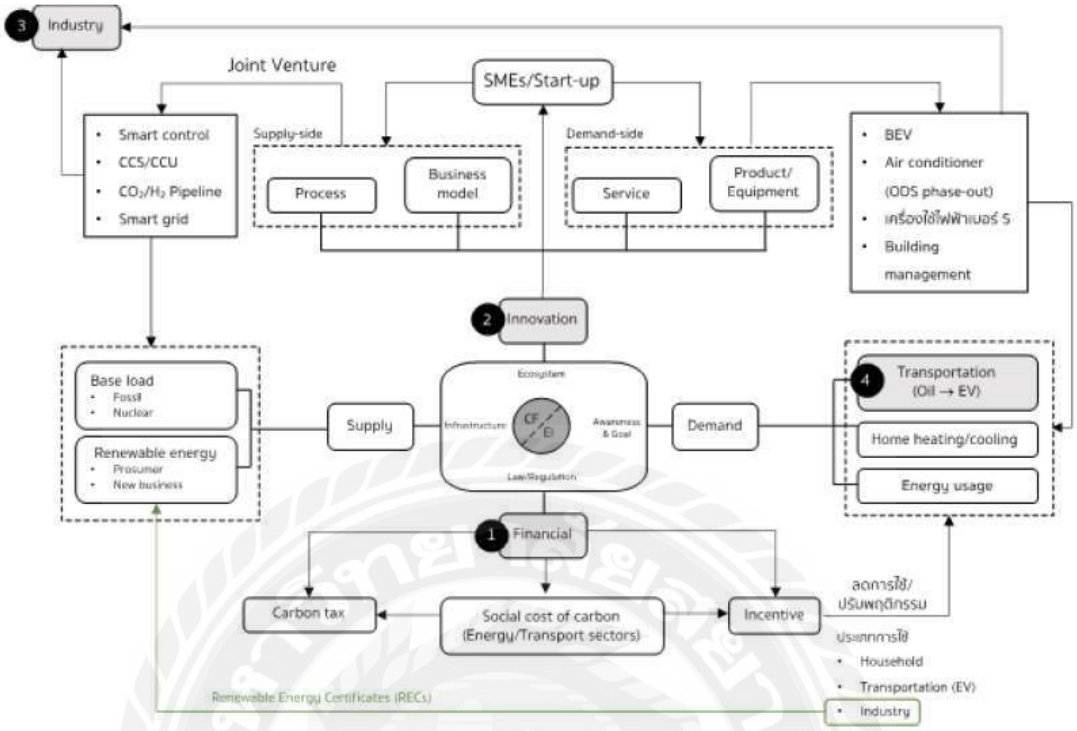
แนวทางการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ใน 2 ภาคส่วนนี้เป็นการปรับตัวในฝั่งอุปทาน (Supply-side) อย่างเดียว แต่การที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นั้น จะต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในฝั่งอุปสงค์ (Demand-side) ด้วยเช่นกัน ทั้งการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดการใช้พลังงานในภาคครัวเรือนหรือในอาคาร รวมถึงการเลือกใช้ยานยนต์ไฟฟ้าหรือพลังงานสะอาด แต่การที่จะบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ยังคงต้องการอีก 4 กลไกที่สำคัญในการขับเคลื่อนให้อุปสงค์มาพบกับอุปทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามแนวทางที่วางไว้ (แสดงดังภาพที่ 2-4) ได้แก่

1. กลไกทางการเงิน หรือเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่จะช่วยผลักดันฝั่งอุปสงค์ เช่น การอุดหนุนด้านราคาเพื่อให้เกิดความต้องการใช้พลังงานสะอาดหรือยานยนต์ไฟฟ้า ตลอดจนการคิดภาษีคาร์บอน (Carbon Tax) ในฝั่งผู้ผลิต เพื่อเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในฝั่งอุปทาน ซึ่งในที่นี้อาจหมายรวมถึงมาตรฐานพลังงานทางเลือก (Renewable Energy Certificate: REC) ซึ่งเป็นการผลักดันให้เกิดตลาดในการซื้อ-ขาย พลังงานสะอาดภายในภาคอุตสาหกรรมด้วย นอกจากกลไกทางการเงินเพื่อสนับสนุนทั้งฝั่งอุปสงค์และอุปทานแล้ว ยังมีอีกหนึ่งปัจจัยด้านการเงินที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ Social Cost of Cabon ซึ่งหมายถึงมูลค่าทางเศรษฐกิจจากความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ ที่น่าจะเป็นต้นทุนอีกหนึ่งส่วนที่นำมาใช้ในการออกนโยบายเพื่อสนับสนุนหรือชดเชยแนวทางการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อย่างเหมาะสม

2. เทคโนโลยีและนวัตกรรม ที่รองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายใต้ความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจะช่วยเติมเต็มระบบนิเวศในการสร้างสังคมคาร์บอนต่ำหรือสังคมที่มีความเป็นกลางทางคาร์บอนได้ โดยสามารถแบ่งประเภทของนวัตกรรมออกได้เป็น 4 ประเภท ที่จัดอยู่ใน 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

กลุ่มที่ 1 นวัตกรรมสำหรับฝั่งอุปทาน ได้แก่ กระบวนการ (Process) และโมเดลธุรกิจ (Business Model) ใหม่ที่ตอบโจทย์ในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น กระบวนการดักจับคาร์บอนเพื่อกักเก็บหรือใช้ประโยชน์ ระบบสมาร์ทกริด (Smart Grid) และเทคโนโลยีไฮโดรเจน

กลุ่มที่ 2 นวัตกรรมสำหรับฝั่งอุปสงค์ ได้แก่ การบริการ (Service) และผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในเชิงพฤติกรรมและการเลือกใช้พลังงานสะอาด เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า หรือระบบจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management)



ภาพที่ 2-4 กลไกสำคัญในการขับเคลื่อนให้อุปสงค์มาพบกับอุปทาน

3. ภาคขนส่ง หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม มีการวางนโยบายที่ส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนผ่านไปสู่การขนส่งแบบคาร์บอนต่ำที่ยั่งยืน (Sustainable Low-carbon Transportation) ตลอดจนระบบสาธารณูปโภคที่จำเป็นที่ช่วยผลักดันไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าไปจนถึงการขนส่งในรูปแบบอื่น เช่น การขนส่งผ่านระบบรางที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

4. ภาคอุตสาหกรรม ที่เกี่ยวข้องทั้งในฝั่งอุปสงค์และอุปทานอาจเกิดจากการสร้างความร่วมมือระหว่างธุรกิจในลักษณะของกิจการร่วมค้า (Joint Venture) ในภาคอุตสาหกรรม อาทิ เช่น รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) เครื่องปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้รับฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 การบริหารจัดการอาคาร ระบบควบคุมอาคารอัจฉริยะ (Smart Control) เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage: CCS) การดักจับและนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ (Carbon Capture and Utilization: CCU) การขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไฮโดรเจนทางท่อ (CO_2/H_2 pipeline) ระบบสมาร์ทกริด เป็นต้น เพื่อยกระดับความสามารถและประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ ให้บรรลุเป้าหมายร่วมกันในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยานยนต์

ไฟฟ้าที่น่าจะเป็นโอกาสในการลงทุนสีเขียว (Green Investment) และการฟื้นตัวเศรษฐกิจอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green Recovery) ของประเทศไทย

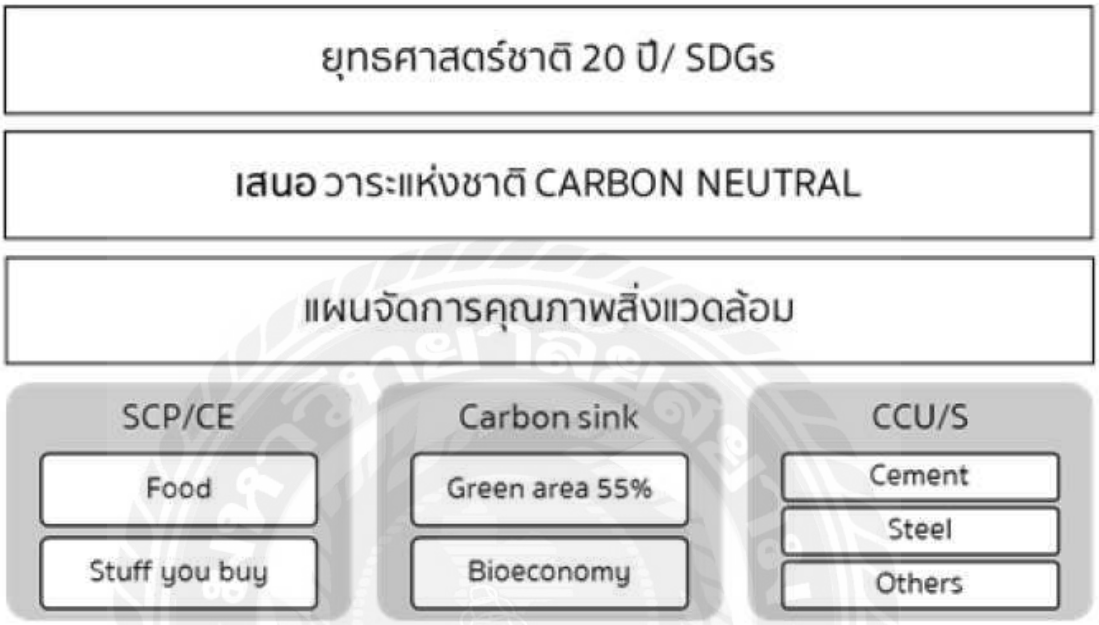
กลไกทั้ง 4 ส่วนนี้ จำเป็นต้องมีการขับเคลื่อนบนข้อมูลที่มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือเพื่อทำให้การตัดสินใจ ในเชิงการออกแบบนโยบายและการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและเกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาในรูปคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF) และความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity: EI) ที่เป็นการวัดมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงาน เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่มีความสมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจ การใช้พลังงานเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิต และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

2.1.4 แนวทางการขยายผล (Scale-up) สู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของประเทศไทย

นอกจากแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในภาคพลังงานและภาคขนส่งแล้ว ยังมีภาคส่วนอื่นที่สามารถมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในภาพรวมได้ ยกตัวอย่างเช่น ในภาคอุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง อาจพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงสะอาดและพลังงานทดแทน ตลอดจนการเลือกใช้เทคโนโลยีดักจับคาร์บอนเพื่อกักเก็บหรือใช้ประโยชน์ และอีกภาคส่วนหนึ่งที่สำคัญซึ่งมีส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก็คือจากสินค้าและอาหารที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั้งในกระบวนการผลิต การใช้เพื่ออุปโภคและบริโภค ไปจนถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากพื้นที่อาศัยมีสัดส่วนจากการซื้อสินค้าและอาหารกว่า 40% ดังนั้นการส่งเสริมการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน (Sustainable Consumption and Production: SCP) ที่มีการใช้หรือบริโภคผลิตภัณฑ์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy: CE) ที่จะช่วยลดทรัพยากรที่ต้องใช้ก็จัดเป็นแนวทางหลักที่สามารถประยุกต์ใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการอุปโภคได้

แนวทางทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้น เป็นการจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากแหล่งกำเนิด (Source) แต่หากพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แล้วนั้น จะพบว่ายังมีอีกส่วนหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก คือ พื้นที่สีเขียวที่เป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sink) ทั้งนี้ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (แสดงดังภาพที่ 2-5) ได้มีการกำหนดเป้าหมายในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวของประเทศให้ไม่น้อยกว่า 55% ซึ่งมีการประมาณการว่าน่าจะช่วย

ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ประมาณ 100 Mt/year ยิ่งไปกว่านั้นการจัดการพื้นที่สีเขียวหรือทรัพยากรป่าไม้อย่างเหมาะสม ยังช่วยส่งเสริมการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศผ่านโมเดลเศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy) ได้อีกทางหนึ่ง



ภาพที่ 2-5 ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี การสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) เป็นสารประกอบในรูปของก๊าซในบรรยากาศ ทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติและสร้างขึ้นโดยมนุษย์ ซึ่งสามารถดูดซับและปล่อยรังสีที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงความถี่ของรังสีอินฟาเรด ที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นผิวโลก ชั้นบรรยากาศ และก้อนเมฆ ชนิดของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซกลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซกลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ก๊าซซัลเฟอร์เฮ็กซาฟลูโอไรด์ (SF6) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF3)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง วัดออกมาในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยพิจารณาจาก 3 ส่วนหลัก แบ่งเป็น SCOPE ดังนี้

SCOPE I: การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (Direct Emissions) จากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะ (ที่องค์กรเป็นเจ้าของเอง) การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย การรั่วซึม/รั่วไหล จากกระบวนการหรือกิจกรรม เป็นต้น

SCOPE II: การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Indirect Emissions) ได้แก่ การซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น

SCOPE III: การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่น ๆ เช่น การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร การเดินทางไปสัมมนานอกสถานที่ การใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน คำนวณได้จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปล่อยออกมา และแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปี (Global Warming Potential: GWP) ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) เช่น ก๊าซมีเทน มีค่า GWP 100 เท่ากับ 25 หมายความว่า ก๊าซมีเทน 1 kg มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 kg

การคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างโมเดล การทำสมการสมดุลมวล การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ การคำนวณจากการใช้ข้อมูลกิจกรรมที่เกิดขึ้น (Activity Data) มาคูณกับค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และแสดงผลให้อยู่ในรูปของมวล (ton หรือ kg) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2) ดังสมการที่ 2-1

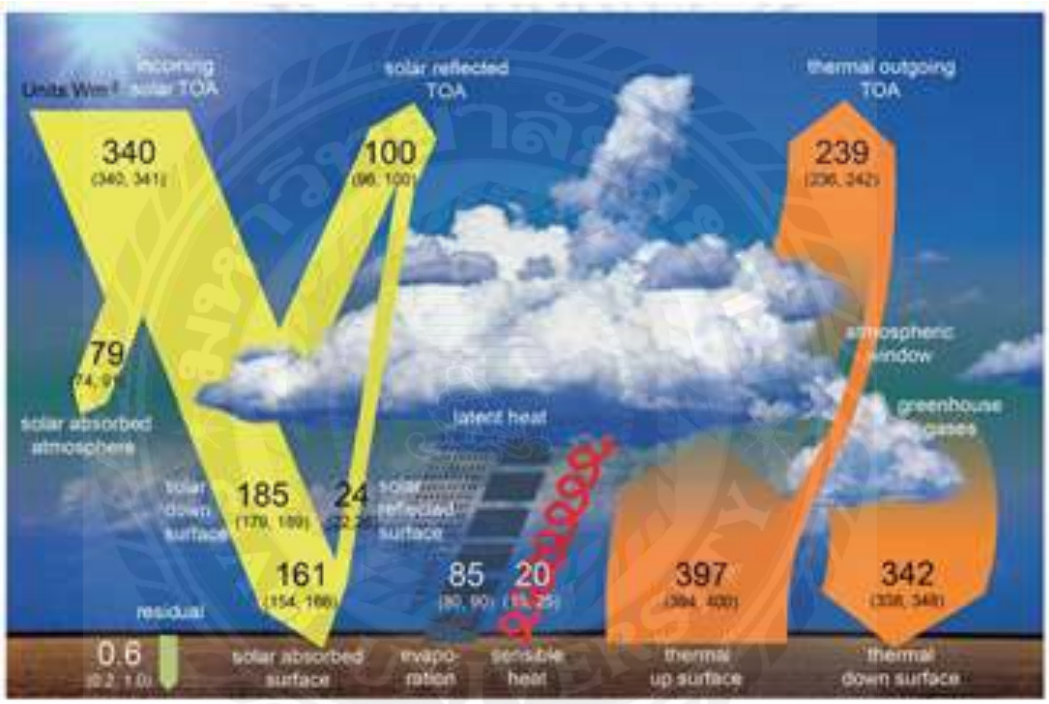
ปริมาณก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม x ค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) (2-1)

ทั้งนี้ สามารถใช้วิธีการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณได้ เช่น นำข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการตรวจวัด มาทำการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2.2 สมดุลพลังงานโลก

สมดุลพลังงานโลก (Global Energy Balance) คือ สมดุลระหว่างพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์และความร้อนที่ออกไปจากโลกก่อให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ รวมถึงการเกิดทรัพยากรธรรมชาติในรูปแบบต่าง ๆ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมดุลพลังงานโลก ได้แก่พลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่อุณหภูมิประสิทธิผลที่ประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกปล่อยออกมาในรูปของคลื่นสั้นและคลื่นแสงอัลตราไวโอเลต รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางข้ามอวกาศด้วยความเร็วแสง เมื่อมายังโลกบางส่วน

สะท้อนกลับไปยังเหนือชั้นบรรยากาศ บางส่วนจะถูกเมฆดูดกลืนในชั้นบรรยากาศและส่วนที่เหลือจะถูกดูดกลืนที่พื้นผิวโลก ในขณะเดียวกันโลกจะปลดปล่อยพลังงานจำนวนมากกลับไปยังอวกาศด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากโลกมีอุณหภูมิต่ำกว่าดวงอาทิตย์มาก ทำให้มีการแผ่รังสีในรูปของรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว ดังนั้นสมดุลพลังงานโลกจะเกี่ยวข้องกับสมดุลพลังงานของรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาว (Martin Wild.,Doris Folini., Christoph Scha¨r., Norman Loeb., Ellsworth G. Dutton., & Gert Ko¨nig-Langlo, 2013 อ้างถึงใน สุริยนต์ ชมดี, 2558, น. 13) แสดงถึงสมดุลพลังงานโลก ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 สมดุลพลังงานโลก

2.2.1 ประเภทของรังสีที่ผิวโลกและมวลอากาศ

รังสีตรง (Beam Radiation or Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงมายังผิวโลกที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ เนื่องจากการแผ่รังสีชนิดดังกล่าวมีทิศทางที่แน่นอน ดังนั้นรังสีประเภทนี้ สามารถนำมารวมแสง หรือเปลี่ยนทิศทาง โดยใช้ผิวสะท้อนแสงได้ และมีสัดส่วนสูงในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation or Scattered Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบของผิวรับรังสี รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศของท้องฟ้า เนื่องจากรังสีชนิดนี้ มีทิศทางไม่แน่นอนไม่สามารถ

นำมารวมแสง หรือเปลี่ยนทิศทางโดยผิวสะท้อนแสง หรือรวมแสงได้ รังสีประเภทนี้จะมีสัดส่วนสูงในวันที่ฟ้าหลัวหรือมีเมฆมาก

รังสีรวม (Total Radiation or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับรังสี กรณีที่ผิวรับรังสีมีลักษณะเป็นแผ่นราบที่วางเอียงจากแนวระดับ รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและรังสีอาทิตย์รวมที่สะท้อนมาจากพื้นผิวบริเวณใกล้เคียง ในกรณีที่ผิวรับรังสีเป็นแผ่นราบที่วางในแนวระดับ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าโดยไม่มีส่วนที่สะท้อนมาจากพื้นผิวใกล้เคียง รังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation

2.2.2 การใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน และเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจ เทคโนโลยีที่ทันสมัย และคุณภาพชีวิตของประชาชน พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ของประเทศไทยผลิตมาจากแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น ปัญหาทางด้านพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วทั้งโลกกำลังประสบอยู่โดยปัจจุบันแหล่งพลังงานที่ใช้เป็นหลักของโลกคือพลังงานฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่นน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติถ่านหิน ฯลฯ ดังภาพที่ 2-7 แสดงสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของโลกปี 2561 มาผลิตไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่างแก่มวลมนุษย์โดยที่ค่าเฉลี่ยทั่วโลกมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตพลังงานแค่ร้อยละ 9.32



ภาพที่ 2-7 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของโลกปี 2561

2.3 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะจักรวาล โลกเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง ซึ่งเป็นบริวารของดวงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อโลกและความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก ที่สำคัญคือดวงอาทิตย์ทำให้สภาพภูมิศาสตร์ของโลกแตกต่างกัน คือ เขตร้อน เขตอบอุ่น เขตหนาว ดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการหมุนเวียนของกระแสอากาศ ซึ่งได้แก่ ลม การหมุนเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทร กระแสน้ำอุ่น กระแสน้ำเย็น นอกจากนี้ ดวงอาทิตย์ทำให้เกิดวัฏจักรของน้ำซึ่งมีผลต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดวงอาทิตย์นอกจากจะให้แสงสว่างแก่โลกแล้ว ยังให้พลังงานแก่โลกอีกด้วย ทั้งนี้รายละเอียดที่สำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์ และอิทธิพลที่มีต่อการดำเนินชีวิต มีดังต่อไปนี้

2.3.1 ดวงอาทิตย์

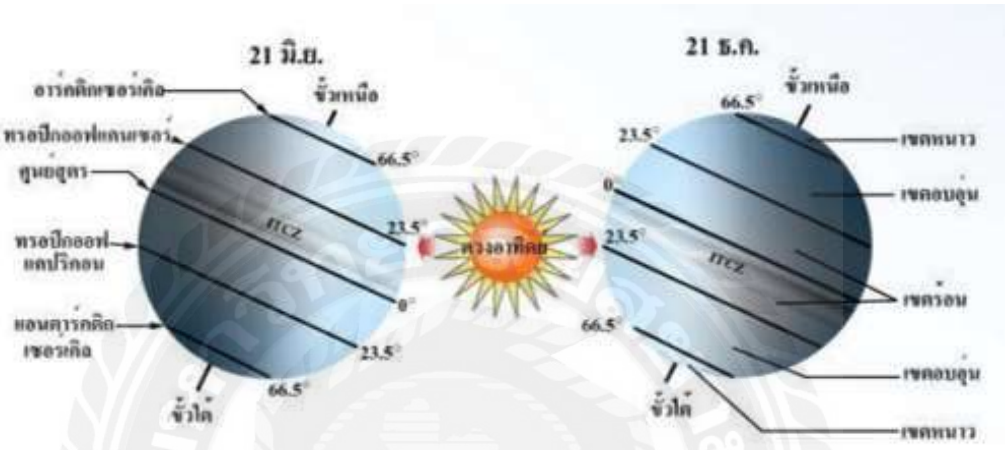
ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาล เป็นดาวฤกษ์สีเหลือง อยู่ห่างจากโลกประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร แสงจากดวงอาทิตย์ใช้เวลาเดินทางมาถึงโลกเพียง 8.3 นาที หรือ 499 วินาทีเท่านั้น ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าโลก 109 เท่า มีปริมาตร 1,300,000 เท่าของโลกและมีมวลมากกว่าโลก 333,434 เท่า มีองค์ประกอบเป็นไฮโดรเจน 74% ฮีเลียม 25% และธาตุชนิดอื่น ๆ อีก 1% รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของดวงอาทิตย์ แสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลจำเพาะของดวงอาทิตย์

คาบการหมุนรอบตัวเอง	25.38 วันบนโลก
แกนเอียงกับระนาบโคจร	98 องศา
มวล	2×10^{27} ตัน หรือ 332,946 เท่าของโลก
เส้นผ่านศูนย์กลาง	1,391,980 กิโลเมตร (โลกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12,756 กิโลเมตร ที่เส้นศูนย์สูตร)
แรงโน้มถ่วง	27.90 เท่าของโลก
ความหนาแน่น	1 ต่อ 1.409 เมื่อเทียบกับน้ำ
ความสว่างสูงสุด	600,000 เท่าของความสว่างของดวงจันทร์

2.3.2 อิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่มีต่อสภาพภูมิอากาศ

ดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และทำให้สภาพภูมิอากาศ ของโลกแตกต่างกัน แบ่งโลกออกเป็นเขตต่าง ๆ ได้แก่ เขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาว เขตร้อนจะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ที่มีระยะทางสั้นที่สุด จึงทำให้ร้อนที่สุด ส่วนเขตอบอุ่น เขตหนาว ระยะของแสงจะยาวขึ้นไปตามลำดับ



ภาพที่ 2-8 แกนของโลกเอียง 23.5° ทำให้เกิดเขตภูมิอากาศ

การเกิดเขตภูมิอากาศบนโลกนั้น เกิดจากการที่แกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.5º กับเส้นตั้งฉากของระนาบการโคจรรอบดวงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 2 .1 นอกจากนี้ การเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ของโลกผนวกกับการเอียงของแกนหมุนของโลก ทำให้เกิดการหมุนเวียนของกระแสอากาศ การที่ในแต่ละเขตได้รับแสงอาทิตย์และระบายความร้อนได้ไม่เท่ากัน เมื่ออากาศบางเขตได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะมีคุณสมบัติเบาขยายตัว ลอยสูงขึ้น ขณะที่มวลอากาศเย็นจากเขตหรือบริเวณอื่น ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ มวลอากาศที่เย็นนี้เรียกว่า “ลม” หรือการหมุนเวียนของกระแสอากาศ ซึ่งโลกจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันตามเขตร้อน เขตอบอุ่น เขตหนาว ดังที่กล่าวไว้ ในตอนต้น โดยแต่ละเขตจะมีลมประจำปี คือ ลมมรสุม ลมตะวันตก ลมขั้วโลก ทั้งนี้ ตามสถานที่เฉพาะถิ่นก็จะมีลมบก ลมทะเล ลมว่าว ลมตะเภา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี ลมภูเขา ลมบก ลมทะเล ซึ่งเกิดจากการรับความร้อนและการคายความร้อนไม่เท่ากันของพื้นที่รับแสงอาทิตย์ โดยคุณสมบัติของน้ำจะรับความร้อนช้าคายความร้อนเร็ว คุณสมบัติของดินจะรับความร้อนเร็วกว่าน้ำคายความร้อนช้ากว่าน้ำ คุณสมบัติของหินภูเขา จะรับความร้อนเร็วกว่าดินคายความร้อนเร็วกว่า

นอกจากนี้แล้ว ดวงอาทิตย์ยังเป็นปัจจัยหลักในวัฏจักรของน้ำที่หมุนเวียนในโลก ซึ่งจะหมุนเวียนกลับไปกลับมาระหว่างเป็นไอและของเหลว ซึ่งวัฏจักรของน้ำทำให้เกิดชีวิต เกิดฝน เกิดเมฆหมอก หยาดน้ำค้าง ไอน้ำในบรรยากาศ หรืออาจกล่าวได้ว่า วัฏจักรของน้ำ ทำให้เกิดชีวิตและสิ่งแวดล้อม วัฏจักรของน้ำเกิดจากน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งขณะที่บรรยากาศร้อนขยายตัวลอยขึ้นเบื้องบนจะพาไอน้ำไปด้วย และในเงื่อนไขของอุณหภูมิที่ต่าง ๆ กัน รวมทั้งสถานการณ์สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ลม กระแสอากาศ จึงทำให้เกิดเมฆฝนกลั่นตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ลูกเห็บ เป็นต้น

2.3.3 พลังงานแสงอาทิตย์

2.3.3.1 แสงสว่างและความร้อน

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทั้งทางตรงและทางอ้อม พลังงานที่ดวงอาทิตย์ให้กับโลกทางตรง คือ แสงสว่าง ซึ่งมีผลทำให้เกิดความร้อน สร้างความอบอุ่นให้กับโลก พลังงานทางอ้อม คือ ดวงอาทิตย์ทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีพอยู่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พืช เจริญเติบโตโดยอาศัยการสังเคราะห์แสงจากแสงอาทิตย์ และมนุษย์ได้อาศัยพลังงานจากต้นไม้ เช่น ฟืน ถ่าน และเมื่อพืชและสัตว์ตายทับถมกันเป็นเวลานาน จะกลายเป็นถ่านหินปิโตรเลียม รวมทั้งการนำหลักการย่อยสลายของพืชมาทำเป็นก๊าซชีวภาพ ในที่นี้จะกล่าวถึง เฉพาะพลังงานในทางตรง คือ ความร้อนและแสงสว่างที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์

ดวงอาทิตย์ให้แสงสว่างแก่โลกโดยการแผ่รังสีเมื่อวัตถุต่าง ๆ บนผิวโลกได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและกระจายความร้อนออกมา ซึ่งอยู่ในรูปของรังสีอินฟราเรด เราจึงรู้สึกร้อนขณะที่แสงอาทิตย์เดินทางมาถึงเรา ส่วนหนึ่งของแสงอาทิตย์ จะเดินทางผ่านบรรยากาศที่หุ้มห่อโลกและมาสู่ดิน ทั้งอากาศ และน้ำ จะเป็นกับดักพลังงานความร้อน ต่อมา ดินและน้ำจะคายความร้อนให้อากาศ เราจึงรู้สึกร้อน อากาศ จึงเป็นที่ดักความร้อนครั้งสุดท้ายของโลก

วัตถุต่าง ๆ บนผิวโลกจะมีคุณสมบัติในการรับความร้อนและคายความร้อนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับระยะใกล้ ไกลจากดวงอาทิตย์ คือ ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ เขตหนาว เขตร้อน เขตอบอุ่น ระยะเวลา คือ เวลากลางวัน กลางคืน เนื้อของวัตถุ เช่น ดิน หิน น้ำ จะรับความร้อนและคายความร้อนไม่เท่ากันทำให้ เกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้น นอกจากนั้น สีของวัตถุจะมีคุณสมบัติในการรับและคายความร้อนต่างกันอีกด้วย

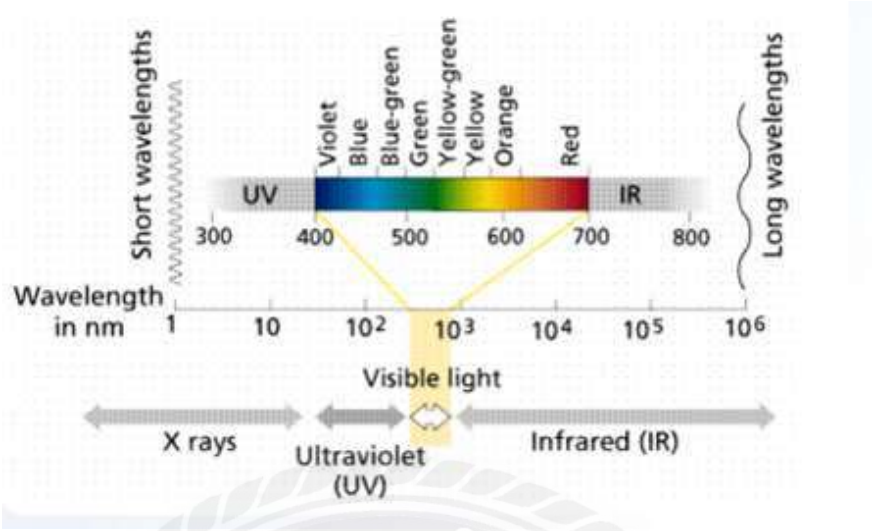
2.3.3.2 สเปกตรัมรังสีแสงอาทิตย์ (Solar radiation)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมายังโลกนั้น ต้องผ่านบริเวณสุญญากาศ ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลกทำได้ด้วยการแผ่รังสีเท่านั้น (เพราะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบไม่มีตัวกลาง) ด้วยเหตุนี้พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์จึงอยู่ในรูปรังสี โดยมีขนาดคลื่นต่าง ๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 2-9 ซึ่งการแผ่รังสีเป็นวิธีการหนึ่งในการเคลื่อนย้ายพลังงานจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง ช่วงคลื่นจากการแผ่รังสีมีตั้งแต่สั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิกที่มีความยาว คลื่นเพียง 1 ในพันล้านไมครอน จนถึงรังสีที่ยาวมาก ๆ เช่น คลื่นวิทยุและคลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่นเป็นกิโลเมตร รังสีจากดวงอาทิตย์แบ่งตาม ความยาวคลื่นออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่

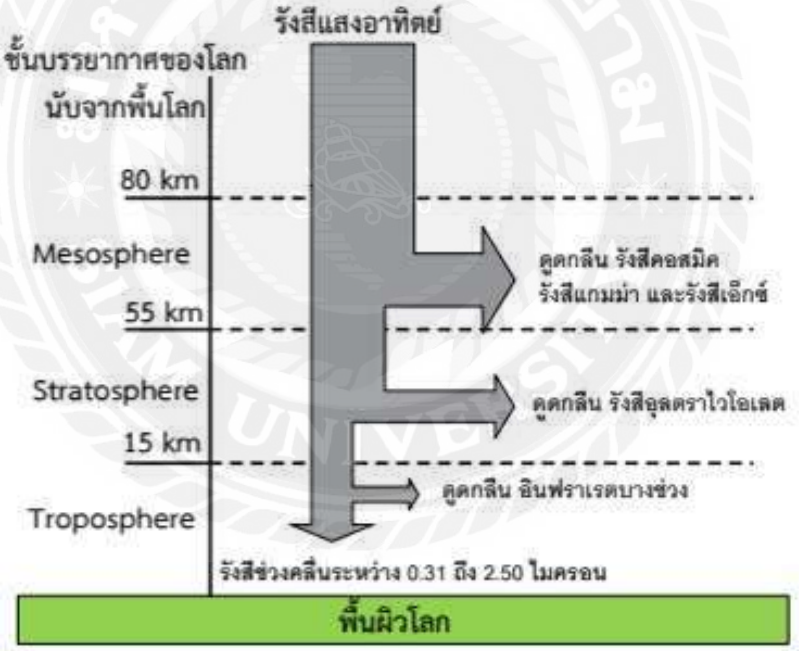
1) รังสีอุลตราไวโอเลต เป็นรังสีคลื่นสั้นมากที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าช่วงคลื่นสีม่วง คือ อยู่ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.4 ไมครอน ประมาณ 9% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่บรรยากาศของโลกได้รับจะตกอยู่ในช่วงคลื่นนี้

2) แสง เป็นรังสีคลื่นสั้นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอยู่ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 0.4 ถึง 0.7 ไมครอน ประมาณ 41% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ ทั้งหมดที่บรรยากาศของโลกได้รับจะตกอยู่ในช่วงคลื่นนี้ แบ่งออกได้เป็น แถบสีม่วง (0.4-0.42) คราม (0.42-0.44) น้ำเงิน (0.44-0.49) เขียว (0.49-0.57) เหลือง (0.57-0.59) แสด (0.59-0.61) และแดง (0.61-0.7) หรือก็คือแถบของสีรุ้งนั้นเอง

3) รังสีอินฟราเรด เป็นรังสีคลื่นสั้นที่อยู่ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 0.7 ถึง 4.0 ไมครอน ประมาณ 50% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่บรรยากาศของโลกได้รับจะตกอยู่ในช่วงคลื่นนี้ รังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งหมดดังกล่าวล้วนเป็นรังสีคลื่นสั้น นอกจากแสงแล้ว รังสีช่วงอื่นไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 2.9 ความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2-10 การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์โดยบรรยากาศของโลก

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกนั้นจะมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมและโมเลกุลของก๊าซ โดยช่วงอัลตราไวโอเลตถูกดูดกลืนด้วยอะตอมของออกซิเจน ไนโตรเจน โมเลกุลของออกซิเจน (O2) โอโซน (O3) และโมเลกุลของไนโตรเจน (N2) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านบรรยากาศจนถึงพื้นโลกแทบจะไม่มีคลื่นช่วงอัลตราไวโอเลต ในขณะที่ช่วง

แสงอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำ (H2O) และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นล่างของบรรยากาศ ภายในระยะทาง 50 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นช่วงชั้นบรรยากาศที่มี H2O และ CO2 อยู่มาก พลังงานแสงช่วงอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดทำให้บรรยากาศร้อน หรือทำให้พลังงานจลน์ของโมเลกุลอากาศสูงขึ้น และทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นด้วย

รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของรังสีจากดวงอาทิตย์ของแต่ละชั้นบรรยากาศ ในโลกมีดังนี้ รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในบรรยากาศของโลกจะมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพแตกต่างกันไปในแต่ละชั้นบรรยากาศของโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เมื่อรังสีผ่านเข้าใกล้ชั้นบรรยากาศของโลก เมโซสเฟียร์ (ประมาณ 80 กิโลเมตร จากพื้นโลก) พวกรังสีคลื่นสั้นมาก ๆ ที่เป็นอันตรายต่อชีวิต เช่น รังสีคอสมิก รังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ จะถูกดูดซับไว้เกือบหมด รวมทั้งบางส่วนของรังสีอุลตราไวโอเลตด้วย เมื่อมาถึงชั้นล่างของเมโซสเฟียร์ และชั้นสแตรทโตสเฟียร์ (ระดับประมาณ 15 ถึง 55 กิโลเมตรจากพื้นโลก) ซึ่งเป็นชั้นของโอโซน รังสีอุลตราไวโอเลตก็จะถูกดูดซับไว้เกือบหมดก่อนที่จะผ่านเข้ามาสู่บรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ใกล้พื้นโลกมากที่สุด และในชั้นโทรโปสเฟียร์นี้ ไอน้ำในอากาศและ CO2 ก็จะดูดซับรังสี อินฟราเรดบางช่วงไว้ ทำให้คุณภาพของพลังงานจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป รังสีคลื่นสั้นช่วง 0.1 ถึง 4.0 ไมครอน ที่แผ่มาถึงผิวบรรยากาศของโลก จะมีช่วงที่ตกมาถึงพื้นโลกจริง ๆ ในช่วงคลื่นระหว่าง 0.31 ถึง 2.5 ไมครอนเท่านั้น โดยรังสีที่ต่ำกว่า 0.31 ไมครอนที่เป็นอันตราย ต่อสิ่งมีชีวิตจะถูกแถบของโอโซนในบรรยากาศดูดซับไว้เกือบหมด ส่วนช่วงคลื่นที่ยาวกว่า 2.5 ไมครอน จะถูกไอน้ำและ CO2 ดูดซับไว้ ซึ่งประมาณครึ่งหนึ่งของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงพื้นผิวโลกจึงอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้

2.3.3.3 รังสีแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก

รังสีอาทิตย์บนพื้นโลกที่ได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศของโลกเป็นผลให้สเปคตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไป โมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) ในชั้นบรรยากาศและบนพื้นผิวของโลกทั้งนี้เราสามารถแบ่งประเภทของรังสีแสงอาทิตย์ ตามทิศทางของแสงที่อยู่บนพื้นโลกได้ดังนี้

1) รังสีตรง (Beam or direct radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงบนพื้นโลกด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศของรังสีตรง

อยู่ในแนวลำแสงที่ขีดเส้นตรงจากดวงอาทิตย์ รังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนานสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

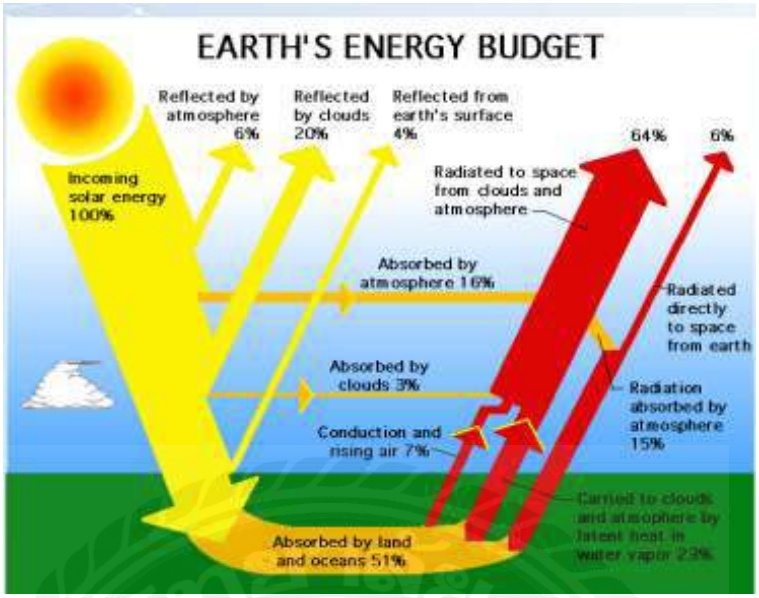
2) รังสีกระจาย (Diffuse radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซและ ฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

3) รังสีรวม (Total หรือ Global radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ

โดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Incline plane) รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total radiation แต่กรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ (Horizontal plane) รังสีรวมบนพื้นราบ ประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลก เรียกรังสีรวมบนพื้นแนวราบว่า Global radiation

2.3.3.4 แสงอาทิตย์แหล่งกำเนิดพลังงานมหาศาล

ดวงอาทิตย์นอกจากจะให้แสงสว่างและความร้อนอันเป็นประโยชน์กับสิ่งมีชีวิตบนโลกแล้ว ดวงอาทิตย์ยังเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานมหาศาลของระบบสุริยะจักรวาล ดวงอาทิตย์มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งใจกลางดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิ และแรงดันสูงมาก จนทำให้ก๊าซไฮโดรเจนหลอมรวมเป็นของเหลวและกำเนิดเป็นพลังงานออกมาอย่างมหาศาล เรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน” พลังงานที่ถูกส่งมายังโลกจะเป็นแสงสว่างและความร้อน ซึ่งส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก และยังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญและเป็นพลังงานสะอาดที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมด



ภาพที่ 2-11 การส่งผ่าน การดูดกลืน การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลก

พลังงานที่ดวงอาทิตย์ส่งออกมามีจำนวนมหาศาล ถ้าคิดหน่วยเป็นวัตต์แล้วมีค่าเป็น 174 ×1015 วัตต์ ซึ่งพลังงานเหล่านี้มาถึงโลก 89 × 1015 วัตต์ หรือคิดเป็น 51% เนื่องจากการสูญเสียระหว่างทางทั้งที่เกิดจากการสะท้อนกลับโดยเฉพาะจากการสะท้อนของเมฆ (Reflected by cloud) ที่สามารถสะท้อนได้ถึง 20% นอกจากนี้บางส่วนถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศและเมฆ โดยเฉพาะชั้นบรรยากาศสามารถดูดกลืน (Absorbed by atmosphere) ได้ถึง 16% จากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังรูปที่ 2.4 แสดงภาพการส่งผ่านการดูดกลืน การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลก

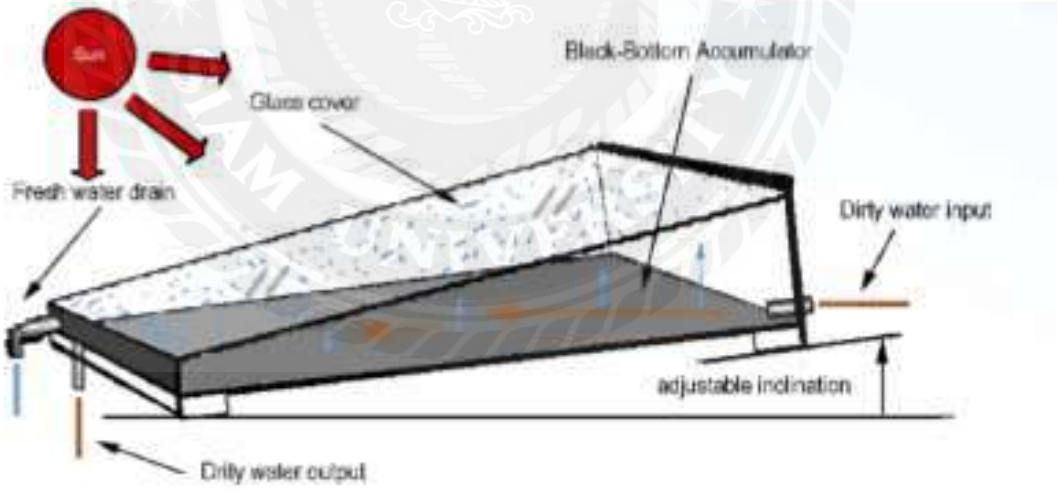
เมื่อพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลกนั้น โดยคิดให้เป็นต่อหน่วยพื้นที่หนึ่งตารางเมตรพบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,412 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2) และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2) [9] จะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังพื้นโลกนั้นมีปริมาณมาก และเพียงพอที่จะแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ดังนั้น เราจึงนับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทดแทน เช่นเดียวกับลม พลังงานจากน้ำ เนื่องจากพลังงานมีศักยภาพสูง มีความยั่งยืน ไม่มีทางหมดตราบใดที่ยังมีดวงอาทิตย์ ซึ่งแตกต่างจากพลังงานจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่ได้มาจากเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันก๊าซธรรมชาติ หรือถ่านหิน ซึ่งมีจำนวนจำกัดและมีแนวโน้มที่จะหมดลงอย่างรวดเร็ว ในอนาคตนอกจากนี้ การนำเชื้อเพลิงเหล่านั้นไปใช้ จะต้องมีการเผาไหม้ทำให้เกิดมลภาวะ เป็นต้นเหตุของสภาวะเรือนกระจก

2.3.4 การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์

มนุษย์รู้จักนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรงมาตั้งแต่สมัยโบราณ คือ ใช้ในการตากผ้า ใช้ตากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมทำนาเกลือ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีและออกแบบเครื่องมือเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด โดยเทคโนโลยีที่นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ที่สำคัญยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.3.4.1 การกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ทำงานโดยใช้หลักการให้น้ำรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในถาดน้ำจะใช้วัตถุ สีดำ เช่น ขี้เถ้าแกลบ หรือทาสีดำ เพื่อเพิ่มการดูดกลืนพลังงานความร้อน การระเหยน้ำ ในถาดนี้จะระเหยได้เร็วมากเมื่อน้ำกลายเป็นไอระเหยเกาะแผ่นกระจกใสแล้วกลั่นเป็นหยดน้ำ เมื่อปริมาณมากขึ้นจะไหลลงไปในที่รองรับ ดังแสดงในภาพที่ 2-12 ปกติระบบกลั่นน้ำนี้จะผลิตน้ำร้อนได้ประมาณ 2-3 ลิตร ต่อตารางเมตรต่อวัน ณ ความเข้มแสงอาทิตย์ โดยเฉลี่ยปกติ ประโยชน์ที่ได้รับคือใช้ในการผลิตน้ำกลั่นที่ใช้นำไปใส่แบตเตอรี่รถยนต์ รถมอเตอร์ไซค์ หรืออื่น ๆ

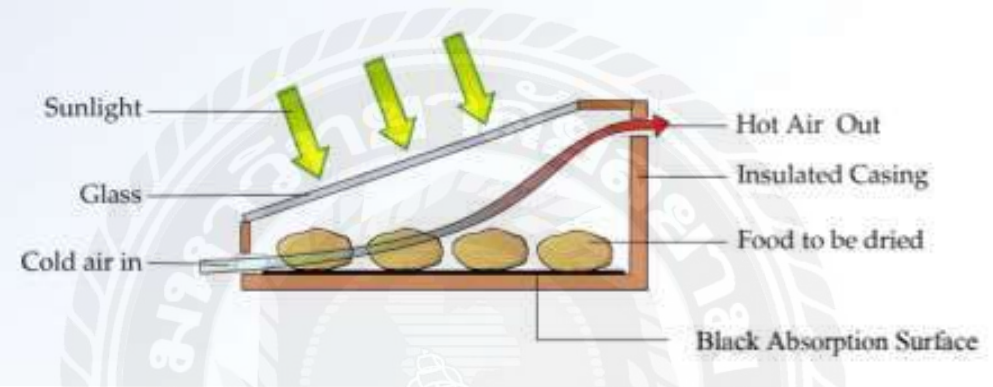


ภาพที่ 2-12 การกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์

2.3.4.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีสำหรับอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เช่น กล้วยตาก พริก ถั่ว ข้าวโพด และอบไม้ โดยอาศัยหลักการเดียวกับการกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ คือ มีแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ส่วนมากทาสีดำ อากาศที่ไหลเข้ามาจะร้อนและลอยตัว

ผ่านผลิตผลที่นำมาอบให้แห้ง อากาศที่ร้อนจะพาความชื้นจากพืชผลออกไป ดังแสดงในภาพที่ 2-13 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ การอบแห้งระบบ Passive เป็นระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน การอบแห้งระบบ Active เป็นระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น มีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ และการอบแห้งระบบ Hybrid เป็นระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ หรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น



ภาพที่ 2-13 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2.3.4.3 เตาพลังงานแสงอาทิตย์

เตาพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 2-14 ใช้หลักการรวมแสงอาทิตย์ด้วยกระจกโค้งรับแสงอาทิตย์ เพื่อใช้สร้างบริเวณอุณหภูมิสูง โดยมากใช้ในงานอุตสาหกรรม วิธีการทำโดยใช้กระจกโค้ง (หรือแถบกระจกจำนวนมาก) ทำหน้าที่เป็นจานสะท้อนแบบพาราโบลา เพื่อรวมแสงให้อยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่ง อุณหภูมิที่จุดโฟกัสจะสูงมากขึ้นอยู่กับจำนวนของกระจกสะท้อนความร้อนนี้จะนำไปใช้ในการปรุงอาหาร ผลิตไฟฟ้า หลอมเหล็ก หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ



ภาพที่ 2-14 เตาพลังงานแสงอาทิตย์

2.3.4.4 พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน

การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอีกเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตความร้อนดังเช่นการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ กระบวนการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน โดยใช้ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ เป็นตัวแปลงและเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำไว้ใช้ในครัวเรือน ได้แก่ ใช้อาบชำระล้างร่างกาย ล้างภาชนะขจัดคราบไขมัน ซักรีดเพื่อฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น องค์ประกอบหลักของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ 1) ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) เป็นตัวรวบรวมพลังงานจากดวงอาทิตย์ และแปลงเป็นความร้อนที่สามารถนำไปใช้ในงานอื่น ๆ ต่อไป และ 2) ถังเก็บน้ำร้อน (Water storage) เป็นส่วนประกอบของระบบทำหน้าที่รับน้ำร้อนจากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์และเก็บน้ำร้อนเพื่อรอการใช้งาน ตัวอย่างการติดตั้งแผงเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัยดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 การติดตั้งแผงเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัย

การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- การผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ เป็นการผลิตน้ำร้อนชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ

- การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน ซึ่งเป็นชนิดที่เหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก และมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง

- การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศ หรือความร้อนทิ้งจากระบบอื่น ๆ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.3.4.5 พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็น สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าอุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงอุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National grid โดยตรงมีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรงโดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิต ไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงอุปกรณ์

ระบบที่สำคัญ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid connected

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ

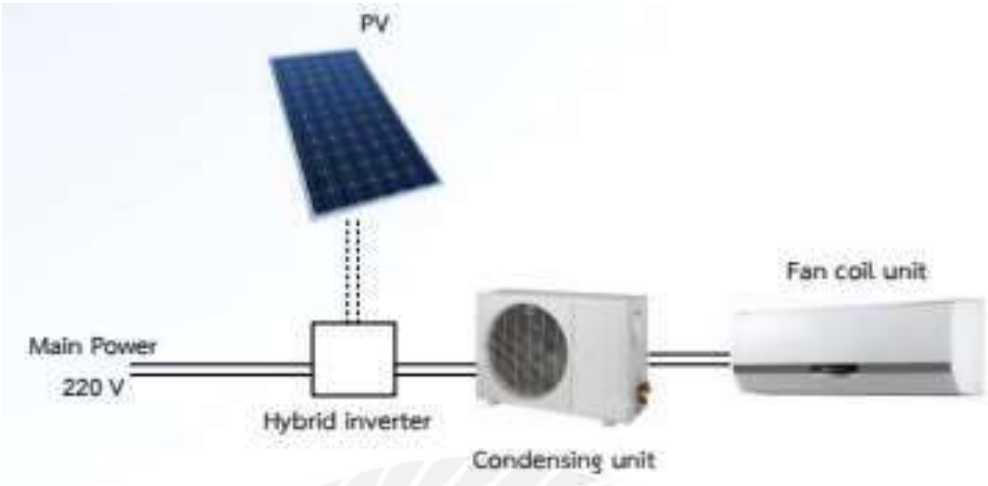
ทั้งนี้รายละเอียดของของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตไฟฟ้าและเพื่อผลิตน้ำร้อน จะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

2.3.4.6 พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการทำความเย็น

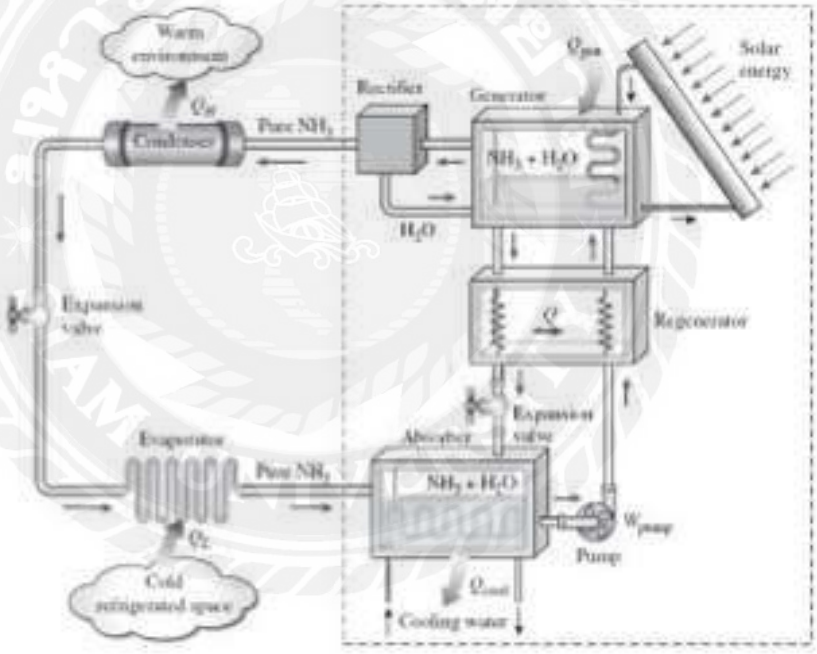
ระบบทำความเย็น มีใช้กันอย่างแพร่ในทุกภาคส่วน ระบบการทำความเย็นและการปรับอากาศที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน คือระบบทำความเย็นที่ทำงานด้วยวัฏจักรที่เรียกว่าวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor-compression refrigeration cycle) โดยมีเครื่องอัดไอที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า จะทำงานดูดและอัดสารทำงานให้ไหลในระบบทำให้ระบบทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ ใช้พลังงานเป็นคิดเป็นสัดส่วนปริมาณมหาศาล ทำให้มีความพยายามสร้างระบบทำความเย็นที่ใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ขับเคลื่อนระบบ ซึ่งลักษณะการประยุกต์ใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่สองแบบ ได้แก่ 1) พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ และ 2) พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบทำความเย็น

การประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ มีหลักการโดยใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาช่วยหรือแทนการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของเครื่องอัดไอในการขับเคลื่อนสารนำงานในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2-16

ในส่วนของการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบทำความเย็น นั้นโดยปกติมักจะถูกประยุกต์เข้ากับระบบทำความเย็นที่ใช้พลังงานงานความร้อน ในการขับเคลื่อนระบบ เช่น ระบบทำความเย็นแบบดูดซับ (Absorption refrigeration system) และระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์ (Ejector refrigeration system) ระบบทำความเย็นทั้งสองแบบ โดยปกติจะใช้พลังงานความร้อนในการขับเคลื่อนระบบ ดังนั้น จึงสามารถใช้ร่วมกับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ โดยอาศัยตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) ดูดความความร้อนแล้วนำมาขับเคลื่อนระบบ



ภาพที่ 2-16 การประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปรับอากาศ

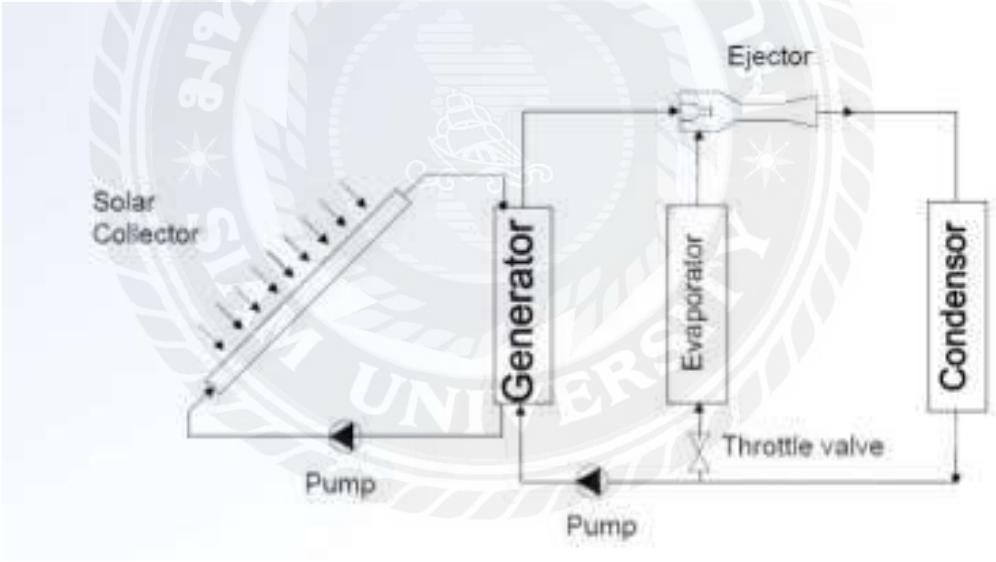


ภาพที่ 2-17 ระบบทำความเย็นแบบดูดซับร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์

ภาพที่ 2-17 แสดงระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนระบบ ระบบทำความเย็นแบบดูดซับจะเริ่มต้นจากไอของการทำความเย็น จะถูกดูดซึมกลายเป็นของเหลวใน Absorber จากนั้นจะถูกสูบโดยปั๊มเพื่อให้มีความดัน สูงขึ้น และถูกส่งไปยัง Generator เพื่อรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน เพื่อทำให้สารทำความเย็นแยกตัวออกเป็นของเหลวตามเดิม ส่วนสารดูดซึมที่เหลือจะถูกนำมาไว้ที่ตัว ดูดซึมเพื่อใช้งานใหม่ ความร้อนที่คายออกมาก็จะระบายออกไปสู่บรรยากาศหรือหอผึ่งเย็น (Cooling tower) ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้

พลังงานแสงอาทิตย์ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์

ภาพที่ 2-18 แสดงระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์ที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนสารทำงานในระบบ โดยทั่วไประบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์จะทำงาน โดยอาศัยปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำสาร ของอีเจ็คเตอร์ที่เกิดจากการขยายตัวของไอแรงดันสูงผ่านหัวฉีดแล้วความดันในอีเจ็คเตอร์จะต่ำลง เกิดการเหนี่ยวนำสารทำงานจากเครื่องระเหย (Evaporator) ก่อนที่สารจะถูกส่งไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) และลิ้นลดความดันโดยลำดับ ซึ่งไอแรงดันสูงนั้นจะถูกสร้างในเครื่องกำเนิด (Generator) ซึ่งจะรับความร้อนจากแหล่งความร้อน การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์นั้นจะคล้ายกับระบบแบบดูดซับ กล่าวคือ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้ในเครื่องกำเนิด



ภาพที่ 2-18 ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์ร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์

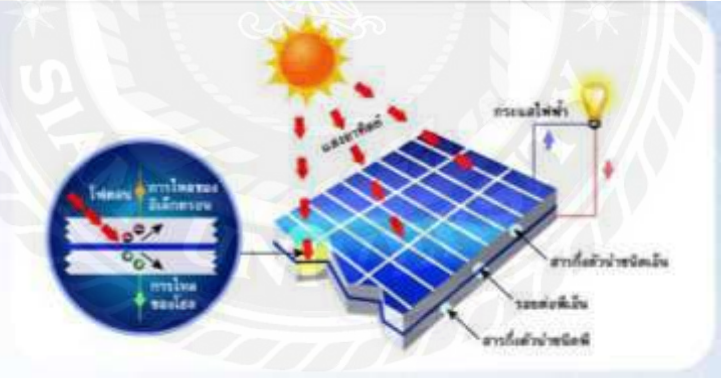
2.3.5 หลักการทำงาน รูปแบบระบบ อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นระบบที่ติดตั้งเพื่อการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตไฟฟ้า ในบทนี้จะได้กล่าวถึง รายละเอียดและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ รายละเอียดของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ องค์ประกอบและอุปกรณ์ที่สำคัญ รวมทั้งการเชื่อมต่อ

2.3.5.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

Solar cell หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo ซึ่งหมายถึง แสง และ volt ซึ่งหมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium telluride) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper indium diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

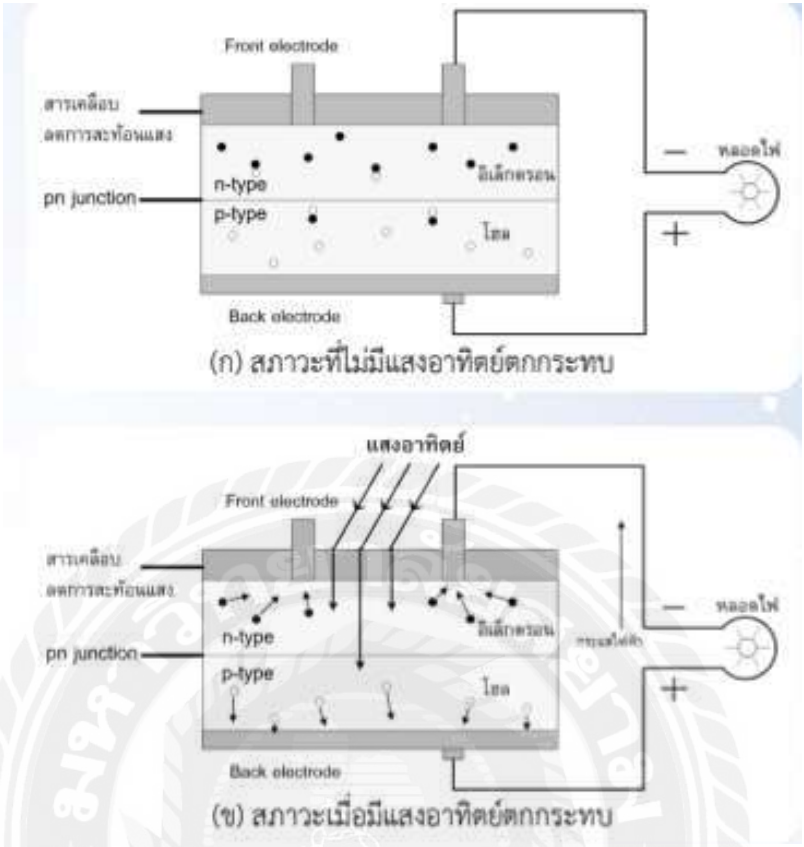


ภาพที่ 2-19 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง เมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าที่จะถูกนำไปใช้งานต่อไป หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 2-19

ลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และอะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) และส่วนประกอบของสารกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูป 3.2 เซลล์แสงอาทิตย์จะมีสารกึ่งตัวนำ (โดยทั่วไปใช้ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำ) 2 ชนิดวางประกบกัน คือ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) และ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (n-type) โดยมี รอยต่อ p-n ขั้นกลาง (p-n junction) สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะอยู่ด้านหน้าของเซลล์มักจะมีสารเคลือบเพื่อลดการสะท้อนและ front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ขณะที่สารกึ่งตัวนำชนิดพีจะเป็นสารกึ่งตัวนำที่อยู่ด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างเป็นโฮลสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะมีแถบโลหะเรียกว่า back electrode ประกบด้านหลังทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ชั้นสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะถูกแยกด้วย รอยต่อ p-n ซึ่งรอยต่อนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบและโฮลในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น พร้อมจะให้อิเล็กตรอน เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดพี อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ front electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ back electrode ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2-20

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งจากตัวสมบัติของเซลล์เองและสภาพแวดล้อมภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ และ ความเข้มรังสีอาทิตย์ เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ สภาวะที่อุณหภูมิสูง ระยะห่างของแถบพลังงานเนื่องจากการขยายตัวของเซลล์ ซึ่งจะทำให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลง ขณะที่ความเข้มแสงน้อยนั้นมีผลทำให้กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลง ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าน้อยจะเกิดขึ้นในวันที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น



ภาพที่ 2-20 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.5.2 ประสิทธิภาพและผลกระทบการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

1) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

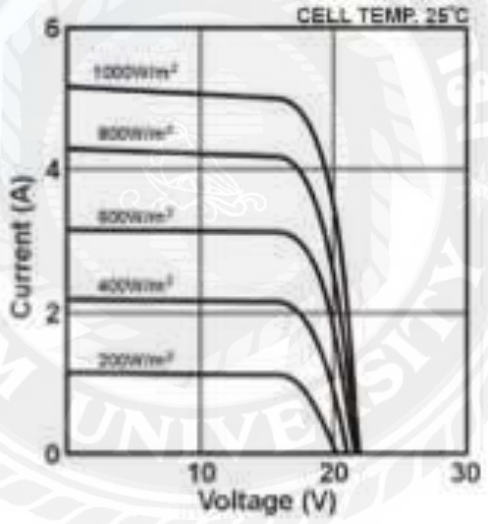
หน้าที่ของเซลล์แสงอาทิตย์คือเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้า ดังนั้นการนิยามประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะนิยามจากพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ [วัตต์]}}{\text{กำลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ [วัตต์]}} \times 100\%$$

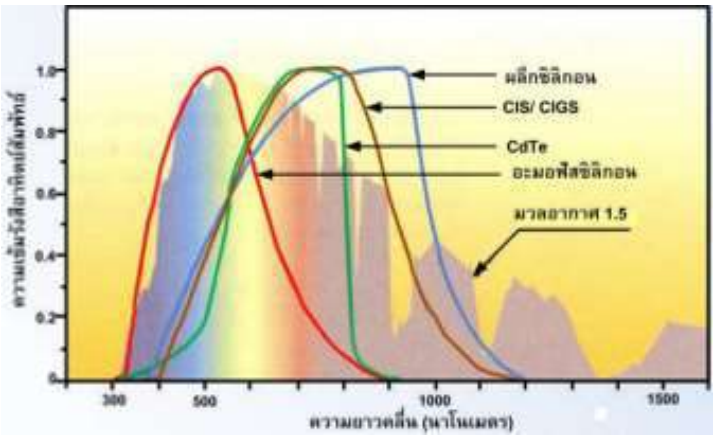
เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตหรือสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิใกล้เคียง 100% ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในท้องตลาดจะมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 5% - 20% เท่านั้น และที่อยู่ระหว่างการพัฒนาในห้องทดลองนั้นยังไม่ถึง 50% (เท่าที่มีบันทึกไว้เป็นสถิติในปัจจุบัน) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีแนวโน้มการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) ผลกระทบจากความเข้มแสงและการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์

ความเข้มแสงอาทิตย์ (Irradiance) หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่นิยมใช้หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m2) การตกกระทบของแสงบนเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลต่อกำไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะเป็นผลคูณระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า (P = IV) ที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อรับแสงตกกระทบ รูปที่ 3.3 แสดงผลกระทบของความเข้มแสงต่อการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปของกราฟกระแสกับแรงดัน (I-V curve) จะเห็นได้ว่าถ้าความเข้มแสงลดลงทำให้กระแสที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง และหากกลับกันถ้าความเข้มมากขึ้นกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ความเข้มแสงจะมีผลกระทบต่อความดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์น้อยมาก ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกลงกระทบพื้นที่ในวันหนึ่งๆ นั้น จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้กำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเช่นกัน



ภาพที่ 2-21 ผลกระทบของความเข้มแสงต่อการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

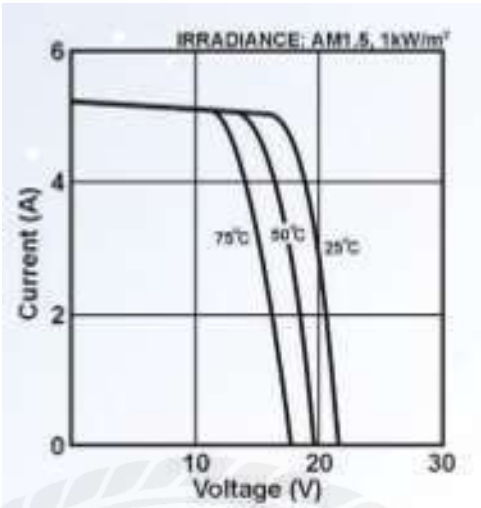


ภาพที่ 2-22 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ

เป็นที่ทราบกันว่ารังสีอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันอันได้แก่อัลตราไวโอเลต แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และแสงอินฟราเรด ดังนั้นหากจะพิจารณาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงสเปกตรัมแสงและการตอบสนองต่อสเปกตรัมประกอบกับการพิจารณาความเข้มแสงแต่เพียงอย่างเดียวด้วย เนื่องจากหากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานกับความยาวคลื่นได้ที่ช่วงกว้างจะทำให้ประสิทธิภาพมีค่าสูง ทั้งนี้สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์มีช่วงค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 380 - 1100 นาโนเมตร ภาพที่ 2-22 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ โดยแกนความเข้มรังสีอาทิตย์เทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะประเภทเดียวกัน ซึ่งอะมัลฟัสซิลิกอน (ชนิดฟิล์มบาง) ประสิทธิภาพน้อยกว่าผลึกซิลิกอน เนื่องจากมีช่วงการตอบสนองที่ความยาวคลื่นช่วงต้นของแสงมองเห็นด้วยตาเปล่าประมาณ 350 - 650 นาโนเมตร การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิม เช่น CdTe และ CIS หรือ CIGS เป็นต้น ทาให้ช่วงการตอบสนองได้เพิ่มขึ้น พิจารณาจากช่วงแถบกว้างของกราฟที่มากขึ้น

3) ผลกระทบจากอุณหภูมิ

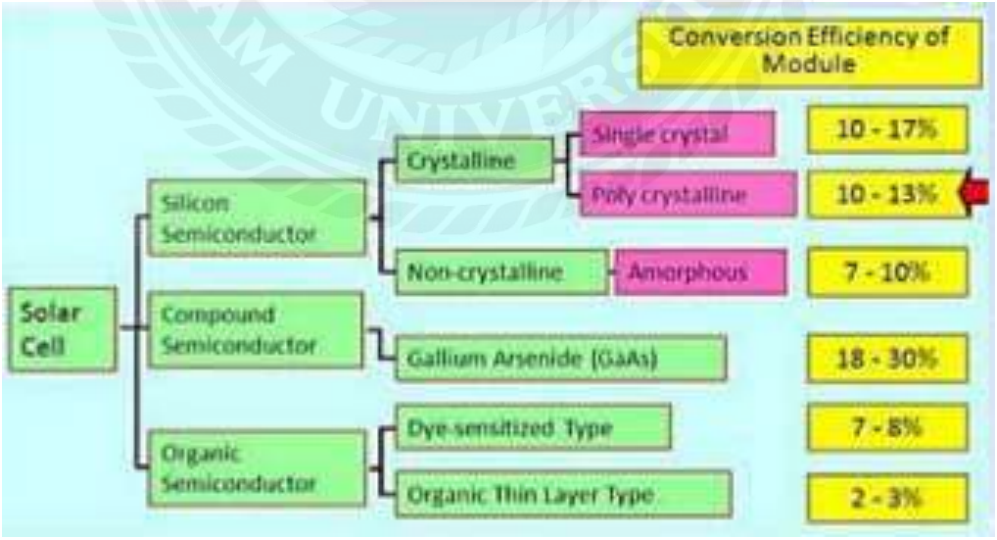
ความร้อนหรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเวลาจะส่งผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์ หากอุณหภูมิสูงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง และหากอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้แรงดันฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าน้อยมาก รูปที่ 3.5 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปของกราฟกระแสกับแรงดัน (I-V curve)



ภาพที่ 2-23 ผลกระทบของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.5.3 ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ แบบที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon semiconductor) และชนิดหนึ่งที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม (Compound semiconductor) ดังแสดงในภาพที่ 2-24



ภาพที่ 2-24 ประเภทและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ

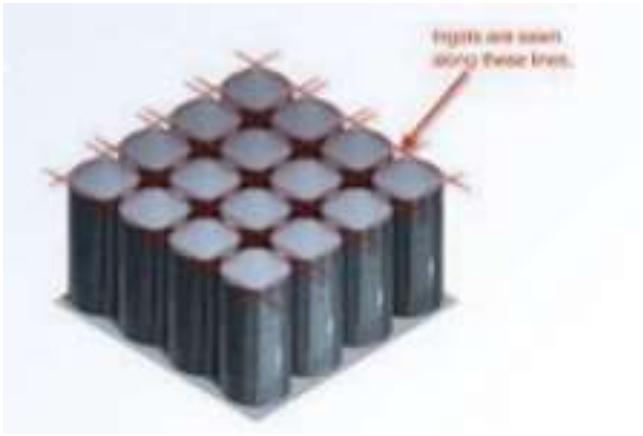
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนแบ่งออกเป็นสารกึ่งตัวนำเป็นผลึก (Crystal) และไม่เป็นผลึก (Amorphous) สารกึ่งตัวนำชนิดผลึกซิลิคอนจะใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอัตราการแปลงสูงและความน่าเชื่อถือติดตามเซมิคอนดักเตอร์ ไม่เป็นผลึกทำงานได้ดีแม้ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นจึงใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับ เครื่องคิดเลขและนาฬิกาข้อมือในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ องค์ประกอบ หลักของระบบคือ “แผงเซลล์แสงอาทิตย์” ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก โดยในท้องตลาดมีเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ 3 ชนิดหลักๆ คือ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) และ ฟิล์มบาง (Thin film)

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline)

หลายคนคิดว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ เป็นเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และทางเลือกที่ดีที่สุด โมโนคริสตัลไลน์เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดและมีราคาแพงกว่าแต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปแล้วแผงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการแปลงได้ถึงร้อยละ 15-20 นั้นหมายความว่ามันสามารถแปลง ร้อยละ 15-20 ของพลังงานในแสงอาทิตย์ที่กระทบกับพวกมันเป็นพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ทำจากผลึกเดี่ยวของซิลิคอนบริสุทธิ์พิเศษขนาดประมาณขวดไวน์ ดังแสดงในภาพที่ 2-25 และหั่นเป็นแผ่นบาง ๆ เพื่อให้เวเฟอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2-26 เวเฟอร์วงกลมเหล่านี้ถูกตัดด้านข้างออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วจะถูกเปลี่ยนเป็น “เซลล์แสงอาทิตย์” แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่มีลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 2-27



ภาพที่ 2-25 ผลึกเดี่ยวของซิลิคอนบริสุทธิ์



ภาพที่ 2-26 แนวเลื่อยแท่งผลึก



ภาพที่ 2-27 เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

เส้นสีเงินเป็นลวดตัวนำซึ่งทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อแสงกระทบกับเซลล์ย่อย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยเมทริกซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์วางต่อกันในแนวราบในลักษณะเหมือนกระเบื้องปูพื้นห้องน้ำ โดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพสูง แต่จะเสียพื้นที่บางส่วน ระหว่างเซลล์เมื่อถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (เพชรสีขาวเล็ก ๆ ดังแสดงใน ภาพที่ 2-28) ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์



ภาพที่ 2-28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

ผู้ผลิตบางรายจะใช้เทคนิคพิเศษ เพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ประสิทธิภาพสูงพิเศษเทคนิคพิเศษเหล่านี้ เช่น “สร้างสนามที่พื้นผิวด้านหลังหรือใช้เลเซอร์เซาะร่อง” และเทคโนโลยีไฮบริดแผงโมโนคริสตัลไลน์ประสิทธิภาพสูงพิเศษ เหล่านี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 20 แต่ราคาจะสูงขึ้นประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ทั่วไป

ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากทำจากซิลิคอนเกรดสูงสุด ประสิทธิภาพของแผงแบบโมโนคริสตัลไลน์ โดยทั่วไปจะมีประมาณร้อยละ 15-20 บริษัทซันเพาว์เวอร์ ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในตลาดสหรัฐอเมริกาในปัจจุบัน ซีรี่ส์ E20 ให้ประสิทธิภาพการแปลงแบบพาเนลสูงถึงร้อยละ 20.1 และได้เปิดตัวซีรี่ส์ X ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นประวัติการณ์ถึงร้อยละ 21.5

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ประหยัดพื้นที่ เนื่องจากแผงชนิดนี้ผลิตพลังงานสูงสุดจึงใช้พื้นที่จำนวนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบโมโนคริสตัลไลน์ ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 4 เท่าของปริมาณการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (พื้นที่เท่ากัน)

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีอายุการใช้งานนานที่สุด ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่รับประกัน 25 ปี สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีแนวโน้มที่จะทำงานได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ ที่มีพิกัดเดียวกันในสภาพแสงน้อย

ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์นั้นมีราคาแพงที่สุดจากมุมมองทางการเงินแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (และในบางกรณีฟิล์มบาง) อาจเป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับผู้ที่สนใจที่จะลงทุนติดตั้งบางราย

- หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกปกคลุมด้วยร่มเงา ฝุ่น หรือหิมะบางส่วนวงจรทั้งหมดอาจเสียหายได้

- ถ้าใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก (ใช้ติดเฉพาะแผง) แทนอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ก็จะสามารถแก้ปัญหานี้ได้ ไมโครอินเวอร์เตอร์จะทำให้แน่ใจว่าจะไม่ได้รับผลกระทบทั้งหมดจากอาเรย์แสงอาทิตย์เนื่องจากปัญหาเงาบดบัง จะได้รับผลกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงเดียวเท่านั้น

- กระบวนการดึงผลึกซิลิคอน (Czochralski) ในการผลิตโมโนคริสตัลไลน์ซิลิกอน ส่งผลให้ได้แท่งทรงกระบอกขนาดใหญ่ ด้านทั้งสี่ถูกตัดออกจากแท่งเพื่อสร้างแผ่นเวเฟอร์ ซิลิกอน ซิลิกอนที่เหลือจากการตัดจำนวนมากจะกลายเป็นขยะ

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ มีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพมาก ขึ้นในสภาพอากาศเย็น ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ทำจากซิลิคอนเช่นกัน แต่ชนิดของซิลิคอนที่ใช้นั้นบริสุทธิ์น้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์เล็กน้อย และถูกหล่อเป็นบล็อกแทนที่จะเป็นรูปผลึกเดี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 3-29 ความจริงที่ว่าผลึกถูกจัดเรียงแบบสุ่ม หมายความว่าจะมองเห็นเป็นผลึกย่อยๆ เมื่อก้อนโพลีคริสตัลไลน์ถูกหล่อมันจะถูกเลื่อย เป็นบล็อกสี่เหลี่ยม จากนั้นหั่นเป็นเวเฟอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 3-30 เซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์คล้ายกับแบบโมโนคริสตัลไลน์ ในด้านประสิทธิภาพและการเสื่อมสภาพ ยกเว้นเซลล์โพลีคริสตัลไลน์โดยทั่วไป จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย

แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าไม่มีการเสียพื้นที่ระหว่างมุมของเซลล์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งหมายความว่าเมื่อนำมาสร้างเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้มีพื้นที่เพิ่มเติมเล็กน้อยเพื่อดูดซับแสงแดด ดังแสดงในภาพที่ 3-31 ผลที่ได้คือประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์นั้นเกือบจะเหมือนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบโมโนคริสตัลไลน์



ภาพที่ 2-29 ก้อนโพลีคริสตัลไลน์และการเลื่อยเป็นบล็อกสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 2-30 การหั่นก้อนโพลีคริสตัลไลน์เป็นเวเฟอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัส และการสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์



ภาพที่ 2-31 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์

ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์

- กระบวนการที่ใช้ในการผลิตโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอนนั้นง่ายกว่าและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าปริมาณของเสียซิลิกอนจะน้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ มีแนวโน้มที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากความร้อนต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ในทางเทคนิค

หมายความว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ทำงานได้แย่น้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ในอุณหภูมิสูง ความร้อนสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งานสั้นลงอย่างไรก็ตามผลกระทบนี้มีเพียงเล็กน้อย

ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์

- ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์อยู่ที่ร้อยละ 13-16 เนื่องจากความบริสุทธิ์ของซิลิคอนที่ต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์จึงไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเท่ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

- ใช้พื้นที่มากกว่า โดยทั่วไปต้องใช้พื้นที่มากกว่าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนโมโนคริสตัลไลน์

3) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin film)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์และแบบโพลีคริสตัลไลน์ถูกผลิตขึ้น ในลักษณะที่คล้ายกันมาก แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางใช้วิธีการผลิตที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิง แทนที่จะสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการเลื่อยซิลิคอนก้อนใหญ่ๆ ฟิล์มที่มีซิลิคอนผสมอยู่จะถูก “พ่น” ไปยังพื้นผิวซึ่งจะทำให้กลายเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 2-32 แม้ว่ากระบวนการเหล่านี้จะมีมาระยะหนึ่งแล้ว กระบวนการผลิตฟิล์มบางเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ โดยได้มีการประมาณอายุการใช้งานของแผงชนิดนี้ ประมาณ 20 ปี ซึ่งฟิล์มบางเป็นคำทั่วไปสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุเหล่านี้ คือ ซิลิคอนที่ไม่เป็นรูปผลึก (a-Si) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และคอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนด์ (CIGS) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางมีใช้อยู่ประมาณร้อยละ 5 ในตลาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางได้รับความนิยมในโซล่าฟาร์มขนาดใหญ่ แต่ค่อนข้างหายากในตลาดที่อยู่อาศัย



ภาพที่ 2-32 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

ถึงแม้ว่าขั้นตอนการผลิตจะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นแต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางก็มีประสิทธิภาพร้อยละ 8-10 ซึ่งหมายความว่ามันจะมีขนาดใหญ่เป็นสองเท่าของแบบโมโนคริสตัลไลน์และแบบโพลีคริสตัลไลน์ที่ผลิตพลังงานได้เท่ากันและมีน้ำหนักมาก ดังนั้นต้องมีหลังคาที่ใหญ่และแข็งแรงกว่า และอุปกรณ์สำหรับติดตั้งต้องใหญ่และแข็งแรงกว่า สิ่งที่ควรระวังอีกประการคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางสามารถเสื่อมสภาพลงได้ถึงร้อยละ 20 ในช่วงปีแรกของการติดตั้งก่อนที่จะคงตัวสู่ระดับการผลิตพลังงาน ที่กำหนด โดยปกติเราสามารถมองเห็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางเพราะไม่มีรูปแบบเมทริกซ์ของแผงผลึก

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางมีเพียงสีเดียวซึ่งมักจะเป็น สีน้ำเงิน สีดำหรือสีน้ำตาล และจะเป็นอาร์เรย์ขนาดใหญ่เพื่อชดเชยประสิทธิภาพต่ำ

ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

- การผลิตจำนวนมากนั้นทำได้ง่าย ทำให้มีราคาถูกกว่าการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ผลึก
- กำลังไฟฟ้าได้รับผลกระทบน้อยกว่าจากอุณหภูมิสูง
- ใช้วัสดุน้อยลงในการผลิตแผง
- ดูสะอาดมากและสามารถโค้งงอเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้
- ทำงานได้ดีในสภาพแสงน้อย
- หากมีเงาบดบังโมดูลบางส่วนพลังงานที่ผลิตได้จะลดลงน้อยกว่าแผงผลึก

ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

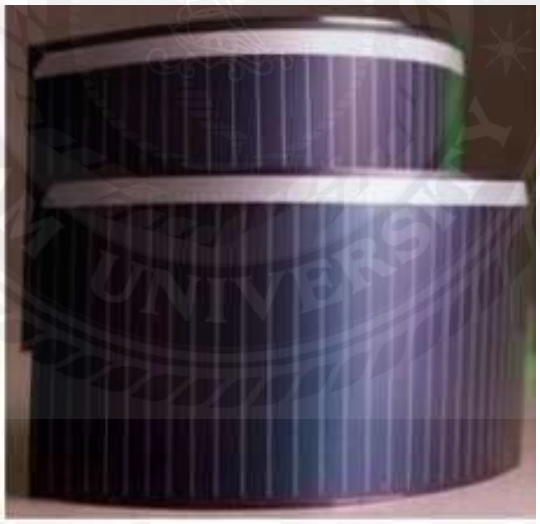
- มีประสิทธิภาพเพียงครึ่งหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก (ใช้พื้นที่บน หลังคาเป็นสองเท่า)
- ใช้เวลาหกเดือนถึงหนึ่งปีก่อนที่กำลังการผลิตจะมีเสถียรภาพ
- ใช้เวลานานกว่าในการติดตั้ง
- มีข้อจำกัดในการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์
- ใช้กระบวนการผลิตที่เป็นพิษมากขึ้น

กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบซิลิคอน (Compound silicon semiconductor) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 25 ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก นิยมใช้งานสำหรับดาวเทียมและ

ระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียงร้อยละ 7 ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด) ซึ่งกำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนต่อไป

4) เซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่น ๆ

1) เซลล์แสงอาทิตย์แบบคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper indium di selenide solar cells) มีชื่อเรียกแบบย่อว่า CIS เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในกลุ่มฟิล์มบางเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส แต่ไม่ได้ใช้ซิลิคอนเหมือนกับ แบบอะมอร์ฟัส แต่ใช้คอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (CISX) แทนทำให้มีราคาสูงกว่าแบบอะมอร์ฟัส และให้ประสิทธิภาพสูงกว่า เซลล์แบบ CIS นี้จะมีประสิทธิภาพ 9- 11 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากเป็นชนิดฟิล์มบาง จึงสามารถนำไปเคลือบบนพลาสติกหรือวัสดุที่โค้งงอได้ พื้นที่ขนาดมาตรฐานไม่เกิน 1.2 x 0.6 ตารางเมตร ความหนาฟิล์ม อยู่ระหว่าง 1-2 ไมครอน ขณะที่ความหนาของแผ่นฐาน (กระจก แผ่นสแตนเลสหรือแผ่นพลาสติก) ประมาณ 2-4 มิลลิเมตร สีของเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสีเทาเข้มหรือสีดำ ลักษณะเซลล์และแผงแบบ CIS แสดงดังภาพที่ 2-33



ภาพที่ 2-33 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลูไรด์ (Cadmium telluride solar cell, CdTe) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มฟิล์มบางเช่นกัน แต่ใช้สารกึ่งตัวนำผสมที่เป็นแคดเมียมเทลูไรด์แทนซิลิคอน ทำให้มีราคาแพงกว่าแบบแบบอะมอร์ฟัส ให้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของพื้นที่เซลล์มาตรฐานประมาณ 1.2-0.6 ตารางเมตร ความหนา

ของฟิล์มแคดเมียมเทลูไรด์ประมาณ 5 ไมครอน (0.0005 มิลลิเมตร) จะมีสีเขียวเข้มจนถึงเกือบดำ ลักษณะเซลล์และแผงแบบแคดเมียมเทลูไรด์ แสดงดังภาพที่ 2-34



ภาพที่ 2-34 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลูไรด์

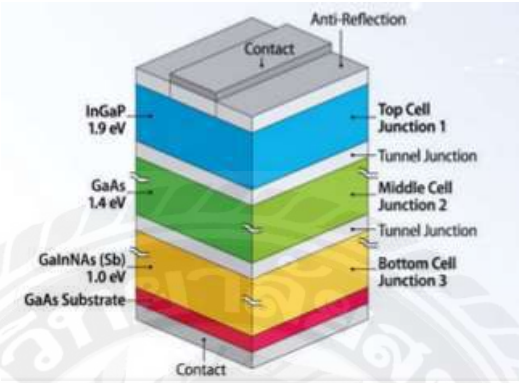
3) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ์ (Hybrid solar cell) มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “เซลล์ชนิดผสมผสาน” เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตผสานกันระหว่าง แบบผลึกและแบบฟิล์มบาง โดยใช้ซิลิคอนมาตัดเป็นแผ่นบางๆ เหมือนชนิดผลึกเดี่ยว และสร้างชั้นฟิล์มบางของอะมอร์ฟัส ชนิดซิลิคอนเคลือบทั้งด้านบนและด้านล่างของผลึก ทำให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผสมผสาน มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 18.5 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของ เซลล์ชนิดนี้เป็นสี่เหลี่ยมตัดมุม ขนาดของพื้นที่เซลล์มาตรฐาน 10.4-10.4 ตารางเมตร มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร จะมีสีน้ำเงินเข้มจนดำ ลักษณะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ์ แสดงดังภาพที่ 2-35



ภาพที่ 2-35 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดชนิดไฮบริดจ์

4) เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multijunction เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีชั้น p-n หลาย ชั้นจากสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกันวางซ้อนกันอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 2-36 ซึ่งแต่ละชั้นจะตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันทำให้การตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้ามีช่วงกว้าง ประสิทธิภาพเซลล์ประเภทนี้จึงสูงกว่าชนิดอื่น ๆ ในปัจจุบันทำได้ สูงสุดถึง 46%

โดยเซลล์ Multijunction ที่ทำจาก GaAs เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี ประสิทธิภาพมากที่สุด แต่เดิมนั้นเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multijunction ถูกพัฒนามาสำหรับการใช้งานลักษณะพิเศษ เช่น ใช้กับดาวเทียมและยานสำรวจอวกาศ แต่ปัจจุบันเริ่มที่จะมีใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้รับความนิยมเท่าประเภทอื่น ๆ เนื่องจากมีราคาแพง



ภาพที่ 2-36 ชั้นของสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Multijunction

5) เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Half-cut cells คือ แผงโซล่าเซลล์ที่ผลิตมาจากซิลิคอน มีทั้งแบบผลึกเดียว (แผงโมโนคริสตัลไลน์) และผลึกรวม (แผงโพลีคริสตัลไลน์) แต่จะแตกต่างกันตรงที่เซลล์ภายในแผง ซึ่งทั่ว ๆ ไปเซลล์ที่อยู่ในแผงนั้นจะเป็นเซลล์เต็ม (Full cell) แต่ Half-cut cells จะมีการตัดเซลล์เต็มนั้นออกเป็น 2 ส่วน คือแผงเซลล์ ด้านบนและแผงเซลล์ด้านล่าง และจุดเชื่อมต่อกระแสไฟที่จะนำไปใช้งานอยู่บริเวณตรงกลางแผง เซลล์ที่ถูกตัดเป็น 2 ส่วนนั้นจะถูกนำมาเรียงกันในแผงและมีการต่อถึงกันแบบอนุกรม ทั้งแผงด้านบนและด้านล่าง แต่การต่อระหว่างแผงนั้นจะมีการต่อถึงกันแบบขนาน จุดเด่นของแผงโซล่าเซลล์แบบ Half-cut cell คือ ค่าความต้านทานต่ำ เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็ก มีกระแสต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพสูง ความร้อนที่แผงต่ำ เนื่องจากกระแสที่ผลิตต่ำ ส่งผลให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น และสามารถผลิตกระแสไฟได้ แม้มีแสงส่องแค่บางส่วนของแผง เนื่องจากมีแผงที่ผลิตได้ทั้งด้านบนและด้านล่าง ตัวอย่าง แผงโมโนคริสตัลไลน์แบบ Half-cut cell ดังภาพที่ 2-37



ภาพที่ 2-37 แผงโมโนแบบ Half-cut cell

6) ประสิทธิภาพและคุณลักษณะของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แต่ละชนิด เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดล้วนมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้โดยปกติแล้ว การเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์จะคำนึงถึง สองปัจจัยหลักคือ ประสิทธิภาพ และราคา จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทฟิล์มบางจะมีประสิทธิภาพต่ำและอายุการใช้งานสั้นกว่าเซลล์ชนิดอื่น ๆ แต่เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางจะเหมาะสมกับการทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงมากกว่าชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพน้อยที่สุดเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น นอกจากนี้ราคาของแผงฟิล์มบางต่อพื้นที่ยังถูกกว่ากว่าชนิดอื่น ๆ ตารางที่ 2-3 แสดงตารางเรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณลักษณะเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2-3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณลักษณะของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดต่าง ๆ

ปัจจัย	Monocrystalline	Polycrystalline	Thin film	CdTe	CIS/CIGS
ประสิทธิภาพทั่วไป	15-20%	13-16%	6-8%	9-11%	10-12%
ประสิทธิภาพสูงสุดที่ทำได้ในปัจจุบัน	25.00%	20.40%	13.40%	18.70%	20.40%
พื้นที่สำหรับ 1 kWp	6-9 m^2	8-9 m^2	13-20 m^2	11-13 m^2	9-11 m^2
อายุการใช้งานทั่วไป	25 ปี	25 ปี	10-25 ปี	-	-
ราคา	0.75 S/W	0.62 S/W	0.69 S/W	-	-
ผลของอุณหภูมิ	สมรรถนะลดลง 10-15% เมื่ออุณหภูมิสูง	อุณหภูมิมีผลน้อยกว่าแบบ monocrystalline	ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ ได้ดี	อุณหภูมิไม่ค่อยมีผลต่อสมรรถนะ	
อื่น ๆ	เป็นเทคโนโลยีเก่ามีการใช้กว้างขวาง Oldest	ระหว่าง กระบวนการผลิตมีขยะ silicon น้อย	ปัจจุบันแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีเร็ว กว่าแบบ crystalline		
			ยังมีจำหน่ายในท้องตลาดน้อย		

2.4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์(Economic Potential) เป็นการศึกษาการจัดหาพลังงานในอาคารภาครัฐ เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จากดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจว่าการจัดทำโครงการนั้นคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ (พัชรินทร์ อินทมาส และคณะ, 2565) โดยทั่วไปเทคนิคที่นิยมใช้มี 3 วิธีดังนี้

2.4.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ การพิจารณาโครงการลงทุนจากมูลค่าเงินทุนที่เสียไปกับระยะเวลาที่จะได้รับประโยชน์จากการลงทุนคืน โดยไม่คำนึงถึงเรื่องมูลค่าของเงินตามระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง การคำนวณระยะเวลาคืนทุนจึงมองที่กระแสเงินสดรับไม่ใช่กำไรหรือขาดทุนของธุรกิจ ระยะเวลาคืนทุนจะเน้นไปที่ระยะเวลาที่ใช้ไปในการลงทุนเพื่อให้ได้รับกระแสเงินสดสุทธิกลับมาคุ้มค่ากับต้นทุนที่ต้องลงทุนไป ระยะเวลาคืนทุนจะคำนวณหาจุดที่ผลสะสมของกระแสเงินสดรับเท่ากับเงินลงทุนในครั้งแรก ซึ่งนั่นหมายถึงระยะเวลาคืนทุนของโครงการ โดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่า เมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้วจะใช้เวลากี่

งวดในการคืนทุน วิธีการคิดระยะเวลาคืนทุน สามารถคำนวณได้โดยการคำนวณหากระแสเงินสดสะสมสุทธิในแต่ละงวดเวลา จนกระทั่งกระแสเงินสดสะสมสุทธิเป็นบวก หากกระแสเงินสดสะสมสุทธิเปลี่ยนจากการติดลบ มาเป็นบวกในงวดเวลาใดก็หมายถึง ระยะเวลาคืนทุนได้เกิดขึ้นภายในงวดเวลานั้นนั่นเอง สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ได้ดังสมการที่ 2-2

$$Payback = \frac{Total\ Investment}{Unit\ per\ year * FiT} \quad (2\text{-}2)$$

โดยที่ Payback คือระยะเวลาคืนทุน, Total Investment คือมูลค่าเงินลงทุนรวมก่อนเริ่มดำเนินโครงการ, Unit per year คือปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานต่อปี และ FiT คือมาตรการสนับสนุนการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่ง ทั้งนี้ ระยะเวลาคืนทุนจะถือว่าเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อสั้นกว่าอายุการใช้งานของโครงการ (25 ปี)

ดังนั้นการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นการวิเคราะห์โครงการลงทุนที่มีระยะเวลาค่อนข้างนาน และพิจารณาความเสี่ยงจากการลงทุนเพื่อใช้ในการเลือกโครงการลงทุนโดยดูจากระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด เพราะจะทำให้ผู้ลงทุนมีความเสี่ยงจากการลงทุนน้อยที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การลงทุนโดยใช้ระยะเวลาการลงทุนเพียงอย่างเดียวอาจไม่เหมาะสมนักควรใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ประกอบการพิจารณาด้วย

2.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หลักการของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีค่าของเงินตามกาลเวลา เป็นหลักการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของโครงการ ความคุ้มค่าของการลงทุน ซึ่งโดยหลักการต้องมีการประมาณการกระแสเงินสดตลอดอายุของโครงการ จากจุดนี้ทำให้เห็นการลงทุนในปีนี้ แต่กระแสเงินสดที่จะได้รับจากโครงการนั้นจะเข้ามาในอนาคต และด้วยหลักการของมูลค่าของเงินตามเวลาทำให้ทราบว่ากระแสเงินสดในอนาคตจะมีค่าไม่เท่ากับกระแสเงินสดในปัจจุบัน ส่งผลให้ไม่สามารถเอามูลค่าที่อยู่กันคนละเวลามาหักกลบกันได้ จึงต้องมีการแปลงค่ากระแสเงินสดในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบันก่อน จากนั้นจึงหาผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคต แล้วค่อยนำมาหักกลบกับเงินลงทุนที่ใช้ไปในปัจจุบัน ดังนั้นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จึงเป็นวิธีคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าน่าจะได้รับในอนาคตตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ หรือต้นทุนเงินทุนกับต้นทุนเงินทุนเริ่มแรก โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่จะได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการจะมีการคำนวณอัตราส่วนลดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยอาจจะประมาณการจากอัตราดอกเบี้ยของธนาคาร ซึ่งมีหลักการตัดสินใจว่าโครงการจะมีความเหมาะสมในการลงทุนต่อเมื่อ NPV > 0 หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการนั้น ๆ มีความ

เหมาะสมที่จะลงทุน กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของการลงทุนรวม สามารถคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิได้ดังสมการที่ 2-3

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+i)^t} - I_0 \qquad (2\text{-}3)$$

โดยที่ NPV คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท), ESt คือกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปี (บาท), n คืออายุโครงการ (ปี), i คืออัตราคิดลด (Discount rate) และ t คือช่วงเวลาของกระแสเงินสดนั้น ๆ

เกณฑ์การพิจารณาตัดสินใจลงทุนด้วยวิธีนี้คือ หากค่า NPV ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่าโครงการนั้นควรค่าแก่การลงทุน แต่หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ย่อมหมายความว่าโครงการไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และไม่ควรลงทุน

2.4.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนในโครงการที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นที่นิยมเหมือนกับวิธีการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดย IRR และ NPV ทั้งสองวิธีนี้ มีหลักการบนพื้นฐานเดียวกัน คือ เป็นการให้ความสำคัญกับค่าของเงินตามระยะเวลา ซึ่งนั่นแปลว่า กระแสเงินสดจำนวนเดียวกันที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างกันนั้น ย่อมมีค่าที่ไม่เท่ากัน การคำนวณด้วย NPV จะใช้อัตราคิดลด (Discount Rate) หรือจะเรียกว่าเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ของเงินทุนก็ได้ ซึ่งเป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้น ส่วนการคำนวณค่า IRR นั้น จะแตกต่างกับ NPV ที่ค่าของตัวแปร r โดยใน IRR ค่า r จะถูกแทนด้วยอัตราคิดลดหรือต้นทุนของเงิน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2-4

$$I_0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad (2\text{-}4)$$

โดยที่ IRR คืออัตราผลตอบแทนภายใน, ESt คือกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปี (บาท) และ I_0 คือเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการ (บาท)

หลักเกณฑ์ในการใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนมีดังนี้

- หาก IRR สูงกว่าต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการ ควรตัดสินใจลงทุน

- หาก IRR ต่ำกว่าต้นทุนเงินทุนของโครงการ ไม่ควรตัดสินใจลงทุน

ทั้งนี้ IRR จะเป็นอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์หรือผลตอบแทนที่ได้รับเท่ากับเงินลงทุนครั้งแรก อัตราผลตอบแทนภายในที่เกิดขึ้นจะถูกนำไป

เปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนที่คาดหวังจากการลงทุน ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอัตราผลตอบแทนที่กิจการต้องการจากการลงทุน ผู้ลงทุนก็สามารถยอมรับการลงทุนในโครงการนั้น ๆ ได้ แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าน้อยกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการก็ควรจะปฏิเสธการลงทุน

2.5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 $kgCO_2e/kWh.year$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2-5

$$\text{Avoided CO2e Emissions} = ER*0.5986(kgCO_2e/kWh.year) \quad (2\text{-}5)$$

โดยที่ ER คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า (kWh)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิรัตณ์ พิชิตกุญชร และกีรติ ชยะกุลคีรี (2561) ศึกษาความเหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารกองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถผลิตได้ จากพิกัดตำแหน่งติดตั้งจริงร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ ผลการศึกษาใช้เป็นแนวทางประกอบการพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้งและออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด สอดคล้องกับนโยบายของกองทัพบกที่มุ่งลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในหน่วยทหารลงร้อยละ 10 พร้อมทั้งวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อติดตั้งแผงด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณร้อยละ 5 โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 34,809 หน่วยต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้ราว 1,670,832 บาทต่อปี ส่งผลให้มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 ปี ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเดิมได้ถึงร้อยละ 18 และช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศได้ 225.56 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

สุรกิจ ทองสุก และอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล (2561) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารตัวอย่าง โดยนำข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าจริงที่ตรวจวัดได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากโปรแกรม PVSYST เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพกำลังการผลิตของระบบ นอกจากนี้ยังประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนติดตั้งระบบ โดยพิจารณาจากต้นทุนการติดตั้งและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นหลักเพื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน ผลการศึกษาพบว่าระบบที่ติดตั้งจริงให้ปริมาณไฟฟ้าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ และการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคารได้

มานิตย์ ศรีคงแก้ว และพาสิทธิ์ หล่อธีรพงศ์ (2558) วิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย ภายใต้มาตรการรับซื้อไฟฟ้าในอัตราพิเศษ (Feed-in Tariff) ที่ภาครัฐกำหนดไว้ที่ 6.96 บาทต่อหน่วย ผลการศึกษาชี้ว่าความคุ้มค่าของการลงทุนขึ้นอยู่กับสมรรถนะของระบบเป็นสำคัญ กล่าวคือ หากระบบสามารถผลิตไฟฟ้าในปีแรกได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าที่ออกแบบไว้ การลงทุนจะให้อัตราผลตอบแทนภายในอยู่ที่ร้อยละ 10.9 แต่หากประสิทธิภาพการผลิตลดลงเหลือเพียงร้อยละ 60 การลงทุนดังกล่าวจะไม่คุ้มค่าอีกต่อไป ผลการวิเคราะห์ความไวยังชี้ให้เห็นว่าความคุ้มค่าของโครงการมีความอ่อนไหวสูงต่ออัตราการเสื่อมสภาพของระบบในแต่ละปี ด้วยเหตุนี้ การเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ที่มีคุณภาพ มาตรฐานการติดตั้งของผู้จำหน่าย รวมถึงตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสม จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความคุ้มค่าในการลงทุน

ชาณิกา ปัญจพุทธานนท์ และรัตพงษ์ สอนสุภาพ (2559) ศึกษาปัญหาและอุปสรรคของการพัฒนาพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) วิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศ และ (2) ศึกษาแนวนโยบายและมาตรการแก้ไขปัญหาจากภาครัฐเพื่อเสริมสร้างศักยภาพด้านการพัฒนาพลังงานทดแทนในอนาคต งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ โดยเก็บข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลหลักที่คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ กรรมการกำกับกิจการพลังงาน จากสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) รองผู้อำนวยการกองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และรองกรรมการผู้จัดการใหญ่ บริษัท เอสพีซี จี จำกัด (มหาชน) ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกเป็นเครื่องมือหลัก ร่วมกับการทบทวนเอกสารด้านนโยบาย แผนงาน มาตรการ และกฎหมายที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าแม้พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกมองว่ามีศักยภาพในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และภาคธุรกิจให้ความสนใจลงทุนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การพัฒนายังเผชิญอุปสรรคหลายด้าน โดยเฉพาะความ

ไม่ชัดเจนและความไม่ครอบคลุมของนโยบายภาครัฐในการนำไปปฏิบัติจริง ทั้งด้านข้อกฎหมาย กฎระเบียบ และการบริหารจัดการระบบสายส่งไฟฟ้าที่ยังไม่เอื้อต่อพลังงานทดแทน อีกทั้งหน่วยงานภาครัฐยังขาดเอกภาพในการทำงานร่วมกัน ส่งผลให้กระบวนการดำเนินงานล่าช้าและถูกแทรกแซงจากกลุ่มผลประโยชน์ต่าง ๆ งานวิจัยจึงเสนอแนะให้ภาครัฐกำหนดแผนและเป้าหมายการรับซื้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะยาวอย่างชัดเจนและมีเสถียรภาพ ออกแบบมาตรการจูงใจ เช่น FiT หรือ Adder ให้สอดคล้องกับปริมาณไฟฟ้าที่รับซื้อในแต่ละประเภท เพื่อไม่ให้เป็นภาระต่อผู้บริโภคมากเกินไป พร้อมทั้งขจัดความซ้ำซ้อนและความไม่ชัดเจนของกฎหมายด้านพลังงานทดแทนที่กระจายอยู่ในหลายหน่วยงาน เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและกระตุ้นให้ผู้ประกอบการเข้ามาลงทุนในธุรกิจพลังงานมากยิ่งขึ้น

นวลประกาย เลิศกิรวงศ์ (2562) ศึกษานโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้กรณีศึกษาโครงการนำร่องการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแบบเสรีของผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทครัวเรือน งานวิจัยเชิงคุณภาพนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดบริการสาธารณะที่เกิดขึ้น และเพื่อเสนอแนวทางพัฒนาโครงการนำร่องดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารและการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ให้ข้อมูลสองกลุ่ม ได้แก่ ตัวแทนหน่วยงานภาครัฐผู้ให้บริการ และประชาชนที่เข้าร่วมโครงการนำร่องประเภทบ้านเรือน ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการจัดบริการสาธารณะของโครงการนี้เป็นลักษณะของการผลิตร่วม ที่อาศัยความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ผู้วิจัยเสนอว่าเพื่อพัฒนาโครงการนี้ต่อไปในอนาคต ภาครัฐควรให้ความสำคัญกับประชาชนในฐานะศูนย์กลางของการจัดบริการสาธารณะ และควรพิจารณายกเลิกเงื่อนไขที่จำกัดให้ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองเท่านั้น โดยเปิดให้สามารถจำหน่ายไฟฟ้าส่วนเกินได้ พร้อมทั้งสนับสนุนมาตรการจูงใจ เช่น ระบบหักลบหน่วยไฟฟ้า (Net Metering) หรือระบบรับซื้อไฟฟ้าส่วนเกิน เนื่องจากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของผู้เข้าร่วมโครงการแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 120.3 ถึง 231.1 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน

บุญเลิศ สื่อเฉย และคณะ (2565) ศึกษาผลกระทบของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ในกรณีศึกษาโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยมุ่งวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเมื่อเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา อ้างอิงระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ขนาด 24000-416/240 โวลต์ หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2500 กิโลโวลต์แอมแปร์ ซึ่งมีภาระโหลดกระจายอยู่ในสามส่วนหลักคิดเป็นร้อยละ 85, 3 และ 12 ตามลำดับ โดยพิจารณาความต้องการ

พลังงานไฟฟ้ารายวัน (Load Profile) ของโรงงานและสำนักงานที่แตกต่างกันตามตารางการทำงานจริง เพื่อนำมาออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PVWatts Calculator ในการประมาณกำลังการผลิตของระบบ และใช้โปรแกรม DIGSILENT PowerFactory ในการจำลองและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบ รวมทั้งเปรียบเทียบกรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ เพื่อประเมินผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งระบบดังกล่าว

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารและวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี โดยมีระเบียบวิธีการวิจัยเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

3.3 การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทน

3.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

3.5 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

3.1 กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จะใช้การเก็บข้อมูล และจะรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางด้านกายภาพของอาคาร มีขั้นตอนดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางด้านกายภาพของอาคาร สถานที่ตั้งของอาคาร อาคารที่จะทำการศึกษานั้น เป็นอาคารสำนักงาน ตั้งอยู่ที่ หมู่ 5 ตำบลบางรักพัฒนา อำเภอบางบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

2. ศึกษารูปแบบการวางผังของตัวอาคาร ไม่ว่าจะเป็นทิศทางการวางตัวอาคาร จำนวนของอาคารที่อยู่ในบริเวณเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา วัสดุที่ใช้ในการมุงหลังคา พื้นที่ของหลังคาในแต่ละอาคาร งานระบบอาคาร และช่วงเวลาการใช้งานของอาคาร เป็นต้น เพื่อนำมาประกอบเป็นอาคารสมมติเพื่อใช้เป็นอาคารอ้างอิง แสดงดังในภาพที่ 3-2 ถึง ภาพที่ 3-4 และแสดงตามตารางที่ 3-1 ถึง ตารางที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การจัดหาพลังงานในอาคารภาครัฐเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ในภาพที่ 3-1 ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยทำการทบทวนวรรณกรรมและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ประกอบด้วย: แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แนวคิดเรื่องความเป็นกลางทางคาร์บอนและการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับพลังงานและสิ่งแวดล้อม ทฤษฎีการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ หลักการและแนวทางการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

ขั้นตอนที่ 2: การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

ขั้นตอนที่ 3: การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทน

ขั้นตอนที่ 4: การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ขั้นตอนที่ 5: การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

ผลจากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนข้างต้นจะนำไปสู่ผลการวิจัยที่ครอบคลุมทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดหาพลังงานในอาคารภาครัฐและการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

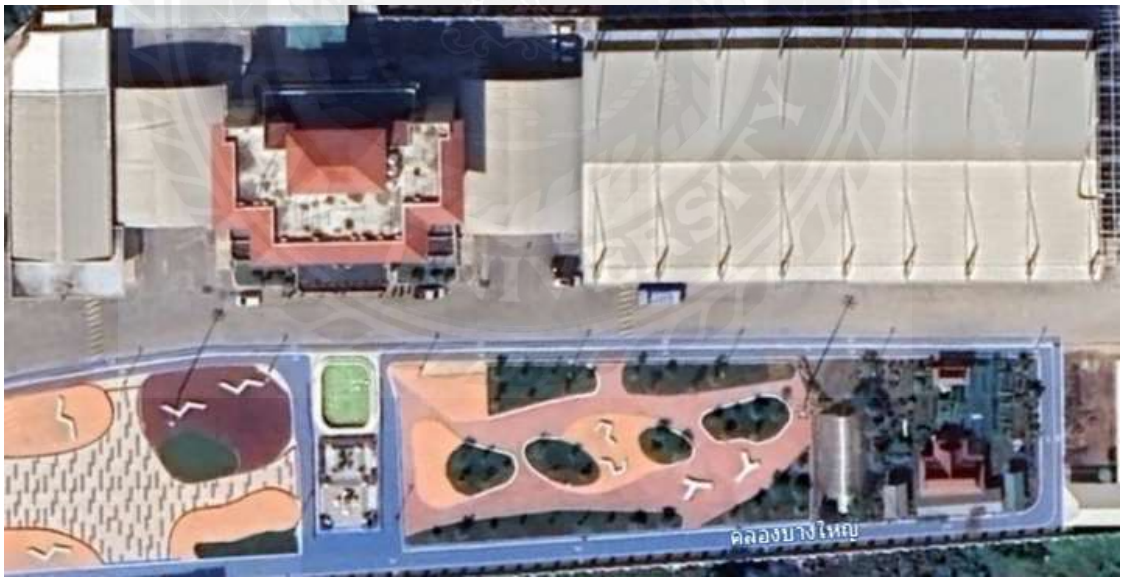
ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิจัย ประกอบด้วย:ข้อมูลกายภาพของอาคารในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา เช่น พื้นที่ใช้สอย ลักษณะหลังคา ทิศทางการวางตัวของอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 3-2 ถึง ภาพที่ 3-4 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังของอาคาร ตามตารางที่ 3-1 การวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานตามช่วงเวลาและตามฤดูกาล ประเมินศักยภาพของพื้นที่หลังคาสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และข้อมูลสภาพภูมิอากาศและค่ารังสีอาทิตย์ในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 3-2 พิกัดตำแหน่งอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา



ภาพที่ 3-3 ภาพหลังคาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา



ภาพที่ 3-4 ภาพหลังคาที่อยู่ในพื้นที่ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567

ปี พ.ศ. / เดือน	2562 (kWh)	2563 (kWh)	2564 (kWh)	2565 (kWh)	2566 (kWh)	2567 (kWh)
มกราคม	22,000	26,000	19,000	27,000	27,000	36,000
กุมภาพันธ์	22,000	25,000	22,000	27,000	28,000	37,000
มีนาคม	28,000	30,000	34,000	35,000	33,000	42,000
เมษายน	27,000	30,000	25,000	28,000	34,000	42,000
พฤษภาคม	28,000	30,000	32,000	31,000	38,000	43,000
มิถุนายน	26,000	26,000	36,000	31,000	35,000	38,000
กรกฎาคม	24,000	26,000	32,000	26,000	34,000	39,000
สิงหาคม	27,000	28,000	32,000	31,000	37,000	39,000
กันยายน	25,000	28,000	30,000	30,000	38,000	38,000
ตุลาคม	26,000	23,000	28,000	27,000	33,000	33,000
พฤศจิกายน	21,000	22,000	31,000	30,000	34,000	33,000
ธันวาคม	20,000	21,000	25,000	25,000	34,000	31,000
รวม	296,000	315,000	346,000	348,000	405,000	451,000

ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง 2567 โดยนำเสนอปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนและยอดรวมรายปี ข้อมูลแสดงให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จาก 296,000 kWh ในปี 2562 เป็น 451,000 kWh ในปี 2567 คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 52.4 ในช่วง 6 ปี ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) มีการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าช่วงอื่น โดยเฉพาะในปี 2567 เดือนพฤษภาคมมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดถึง 43,000 kWh จุดเปลี่ยนสำคัญเกิดขึ้นระหว่างปี 2565-2566 ซึ่งการใช้ไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4 ในช่วงเวลาเพียงหนึ่งปี ข้อมูลจากตารางยังสะท้อนถึงรูปแบบการใช้พลังงานตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยช่วงปลายปี (ตุลาคม-ธันวาคม) มีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าต่ำกว่าช่วงอื่น ความแตกต่างระหว่างเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดในปี 2567 คือ 12,000 kWh ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนกำลังการผลิตของระบบพลังงานทดแทน นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของการ

ใช้ไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญในช่วงปี 2566-2567 อาจสะท้อนถึงการขยายตัวของกิจกรรมหรือการเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (บาท) พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567

ปี พ.ศ. / เดือน	2562 (บาท)	2563 (บาท)	2564 (บาท)	2565 (บาท)	2566 (บาท)	2567 (บาท)
มกราคม	101,166.73	118,893.83	88,490.38	126,430.35	165,554.49	174,888.64
กุมภาพันธ์	105,576.02	114,114.47	99,892.36	123,048.73	178,784.65	183,188.06
มีนาคม	129,021.49	133,065.05	148,284.92	159,140.14	205,363.93	205,042.50
เมษายน	125,806.72	131,403.03	112,627.89	128,978.73	210,977.43	202,498.27
พฤษภาคม	129,179.73	126,896.66	141,239.82	149,355.40	212,036.49	208,411.70
มิถุนายน	119,505.63	114,223.27	159,755.32	150,050.57	196,342.12	184,866.45
กรกฎาคม	111,452.63	118,109.22	141,366.05	123,619.72	186,923.04	188,614.34
สิงหาคม	120,560.02	130,317.61	140,085.93	151,615.16	203,865.51	192,881.39
กันยายน	115,663.05	124,189.60	129,907.27	166,779.68	197,730.81	183,428.09
ตุลาคม	118,609.36	105,062.67	123,529.70	152,753.42	134,218.88	159,740.60
พฤศจิกายน	95,533.97	98,430.64	139,028.48	166,352.97	161,893.91	159,029.42
ธันวาคม	95,037.67	94,794.53	111,128.08	140,226.43	159,365.69	144,279.66
รวม	1,367,113.02	1,409,500.58	1,535,336.20	1,738,351.30	2,213,056.95	2,186,869.12

ตารางที่ 3-2 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (บาท) ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567 ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี นำเสนอค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายเดือนและยอดรวมรายปี ซึ่งสะท้อนภาระค่าใช้จ่ายที่เทศบาลต้องรับผิดชอบในการดำเนินงานและให้บริการสาธารณะแก่ประชาชน จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีนัยสำคัญ โดยค่าใช้จ่ายรวมเพิ่มขึ้นจาก 1,367,113.02 บาท ในปี 2562 เป็น 2,188,869.12 บาท ในปี 2567 คิดเป็นการเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 62.5 ในช่วงเวลา 6 ปี อัตราการเพิ่มขึ้นนี้สูงกว่าอัตราเงินเฟ้อทั่วไปของประเทศไทยในช่วงเวลาเดียวกัน สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าและ/หรือการปรับขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้า รูปแบบตามฤดูกาลปรากฏชัดเจนเช่นเดียวกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าช่วงอื่น โดยเฉพาะในปี 2567 เดือนมีนาคมมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 205,042.50 บาท ขณะที่ช่วงปลายปี (ตุลาคม-ธันวาคม) มี

ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า โดยในปี 2567 เดือนธันวาคมมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ 144,279.66 บาท จุดเปลี่ยนสำคัญเกิดขึ้นระหว่างปี 2565-2566 โดยค่าใช้จ่ายรวมเพิ่มขึ้นจาก 1,738,351.30 บาท เป็น 2,213,056.95 บาท คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.3 ในช่วงเวลาเพียงหนึ่งปี ซึ่งอาจสะท้อนถึงการขยายตัวของกิจกรรมในเทศบาล การเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือการปรับขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 3-5 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567

ภาพที่ 3-5 แสดงกราฟเส้นเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year) และค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (บาท/ปี) ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง 2567 โดยแกนนอนแสดงปี พ.ศ. และแกนตั้งแสดงหน่วย kWh และบาท จากการวิเคราะห์แนวโน้ม พบว่าทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายมีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วง 6 ปี แต่มีอัตราการเพิ่มที่แตกต่างกัน โดยเส้นกราฟสีน้ำเงิน (ปริมาณการใช้ไฟฟ้า) มีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟสีแดง (ค่าใช้จ่าย) อย่างเห็นได้ชัด สะท้อนให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 296,000 kWh ในปี 2562 เป็น 451,000 kWh ในปี 2567 คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 52.4 ในขณะที่ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจาก 1,367,113 บาท เป็น 2,186,869 บาท คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 60.0 ความแตกต่างระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นนี้ (ประมาณร้อยละ 7.6)

อาจเป็นผลมาจากการปรับขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลาดังกล่าว จุดเปลี่ยนสำคัญปรากฏชัดเจนในช่วงปี 2565-2566 โดยทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายมีการเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 348,000 kWh เป็น 405,000 kWh (เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4) และค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจาก 1,738,351 บาท เป็น 2,213,057 บาท (เพิ่มขึ้นร้อยละ 27.3) ในช่วงเวลาเพียงหนึ่งปี ความแตกต่างระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงนี้ (ประมาณร้อยละ 10.9) สูงกว่าค่าเฉลี่ยตลอด 6 ปี ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการปรับขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาดังกล่าว

3.3 การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทน

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์และประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทน โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ: 1) การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ on grid จำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า ใช้โปรแกรม PVSYST 7.3.1 ในการจำลองและคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม ประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ต่อปี 2) การวิเคราะห์ความสามารถในการทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ off grid จำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ประเมินความสามารถในการผลิตและจัดเก็บพลังงานเพื่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง วิเคราะห์ความสามารถในการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานและความมั่นคงทางพลังงาน ประเมินความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

3.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย:การประเมินต้นทุนในการลงทุนติดตั้งระบบ (Initial Cost) ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบตลอดอายุโครงการ คำนวณผลประหยัดจากการลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์(Economic Potential) (พัชรินทร์ อินทมาส และคณะ, 2565) โดยทั่วไปเทคนิคที่นิยมใช้มี 3 วิธีดังนี้

3.4.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ช่วงเวลาที่ผลตอบแทนเป็นเงินสดที่โครงการทยอยได้รับสะสมจนเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกที่จ่ายไปพอดี ตัวชี้วัดนี้ใช้ประเมินระดับความเสี่ยงของโครงการจัดหาพลังงานในอาคารหน่วยงานภาครัฐ ภายใต้เป้าหมายการขับเคลื่อนเทศบาลเมืองบางรักพัฒนาสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน โดยหากโครงการใดมีระยะเวลาคืนทุนสั้นย่อมสะท้อนถึงสภาพคล่องที่ดีและความเสี่ยงในระดับต่ำ คำนวณได้จากสมการที่ 3-1

$$Payback = \frac{Total\ Investment}{Unit\ per\ year * FiT} \tag{3-1}$$

โดยที่ Payback คือระยะเวลาคืนทุน, Total Investment คือมูลค่าเงินลงทุนรวมก่อนเริ่มดำเนินโครงการ, Unit per year คือปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานต่อปี และ FiT คือมาตรการสนับสนุนการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่ง ทั้งนี้ ระยะเวลาคืนทุนจะถือว่าเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อสั้นกว่าอายุการใช้งานของโครงการ (25 ปี)

3.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ค่าความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเริ่มแรก โดยคิดลดที่อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนเงินทุนของโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-2

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+i)^t} - I_0 \tag{3-2}$$

โดยที่ NPV คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท), ESt คือกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปี (บาท), n คืออายุโครงการ (ปี), i คืออัตราคิดลด (Discount rate) และ t คือช่วงเวลาของกระแสเงินสดนั้น ๆ

เกณฑ์การพิจารณาตัดสินใจลงทุนด้วยวิธีนี้คือ หากค่า NPV ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่าโครงการนั้นควรค่าแก่การลงทุน แต่หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ย่อมหมายความว่าโครงการไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และไม่ควรลงทุน

3.4.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคืออัตราคิดลดที่ทำให้ค่า NPV ของโครงการเท่ากับศูนย์ ค่านี้สะท้อนถึงอัตรา

ผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนคาดว่าจะได้รับตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ คำนวณได้ดังสมการที่ 3-3

$$I_0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (3\text{-}3)$$

โดยที่ IRR คืออัตราผลตอบแทนภายใน, ESt คือกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละปี (บาท) และ I_0 คือเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการ (บาท)

หลักเกณฑ์ในการใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนมีดังนี้

- หาก IRR สูงกว่าต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการ ควรตัดสินใจลงทุน
- หาก IRR ต่ำกว่าต้นทุนเงินทุนของโครงการ ไม่ควรตัดสินใจลงทุน

3.5 การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิจัยเป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลังจากติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์วิเคราะห์สัดส่วนการลดการปลดปล่อยเทียบกับเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมของโครงการ เสนอแนวทางในการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในระยะยาว การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 $kgCO_2e/kWh.year$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-4

$$\text{Avoided } CO_2e \text{ Emissions} = ER*0.5986\ (kgCO_2e/kWh.year) \quad (3\text{-}4)$$

โดยที่ ER คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในการวิจัย เรื่องการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางที่เป็นระบบและครอบคลุมในการศึกษาการจัดหาพลังงานในอาคารภาครัฐเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน โดยมีการบูรณาการองค์ความรู้ทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่มีคุณค่าและนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะในเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับพลังงานสะอาด เมืองยั่งยืน และการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผู้วิจัยได้เสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

4.1 อาคารกรณีศึกษา

4.2 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ On-grid

4.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบทั้งสาม

4.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

4.6 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

4.1 อาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษาใช้อาคารของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี การจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบ On-grid ใช้อาคารสำนักงานและอาคารโดมเอนกประสงค์ ส่วนรูปแบบ Off-grid จะใช้อาคารโดมเอนกประสงค์เพียงอาคารเดียว โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 7.3.1 เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.2 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ On-grid

สำหรับบนหลังคาอาคารสำนักงานและโดมเอนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ดังภาพที่ 4-1 (ก), (ข) และภาพที่ 4-2 (ก), (ข) ในส่วนของอาคารสำนักงานได้รับการออกแบบโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Monocrystalline Silicon จากบริษัท Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV ที่มีกำลังการผลิตต่อแผง 610 Wp จำนวน 234 แผง โดยจัดเรียงในรูปแบบ 39 สาย และแต่ละสายประกอบด้วย 6 แผงต่อกัน ทำให้ได้กำลังการผลิตรวมของระบบ 143 kWp ครอบคลุมพื้นที่หลังคาทั้งหมด 654 ตารางเมตร สำหรับอินเวอร์เตอร์ใช้รุ่น SUN2000-50KTL-M3-400V จากบริษัท Huawei Technologies ส่งผลให้อัตราส่วน DC:AC เท่ากับ 1.43 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบคงที่ โดยปรับมุมเอียง 14 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ (มุมอะซิมุท 0 องศา) เพื่อให้ได้รับแสงแดดในปริมาณสูงสุดตลอดวัน ในการติดตั้งไม่มีสิ่งกีดขวางที่จะทำให้เกิดเงาบดบังแผงโซลาร์เซลล์ สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน คือ Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV จำนวน 450 แผง จัดเรียงเป็น 45 สายและแต่ละสายมี 10 แผงต่อกัน ทำให้ได้กำลังการผลิตรวม 275 kWp ครอบคลุมพื้นที่หลังคา 1,258 ตารางเมตร อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นรุ่น SUN2000-100KTL-M1-400Vac ส่งผลให้อัตราส่วน DC:AC เท่ากับ 1.615 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบคงที่ โดยปรับมุมเอียง 14 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ (มุมอะซิมุท 0 องศา) เพื่อให้ได้รับแสงแดดในปริมาณสูงสุดตลอดวัน เช่นเดียวกับอาคารสำนักงาน



ก) ภาพอาคารสำนักงาน ข) แบบแปลนหลังคาของอาคาร

ภาพที่ 4-1 ภาพและแบบแปลนหลังคาอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

ผลการจำลองแสดงในตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าระบบ On-grid สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 206,209 kWh/Year คิดเป็นการผลิตจำเพาะ 1,445 kWh/kWp/Year และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพ (Performance Ratio) 84.19% ซึ่งถือเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม เมื่อพิจารณารายเดือนพบว่าระบบมีการผลิตพลังงานสูงสุดในเดือนมีนาคม (19,650 kWh) และต่ำสุดในเดือนกันยายน

(14,927 kWh) โดยมีความแปรปรวนตามฤดูกาลเป็นไปตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ระบบมีการผลิตพลังงานเฉลี่ย 18,941 kWh/Month แต่มี Performance Ratio ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิสูง ขณะที่ช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) มีการผลิตพลังงานลดลงเป็น 15,850 kWh/Month เนื่องจากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ลดลง และในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) มีการผลิตพลังงานเฉลี่ย 17,595 kWh/Month พร้อมกับ Performance Ratio สูงสุด 84.5% รูปแบบการผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงของระบบ On-grid แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มผลิตไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 06:00 น. และสิ้นสุดการผลิตเวลา 18:00 น.โดยมีช่วงเวลาผลิตสูงสุดระหว่าง 11:00-13:00 น.ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 77.0 kW ในช่วง 12:00 น. ลักษณะการผลิตนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของมุมแสงอาทิตย์ตลอดวัน ทำให้เกิดเส้นโค้งการผลิตพลังงานที่มีลักษณะคล้ายระฆัง การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบ On-grid พบว่าการสูญเสียหลักมาจากอุณหภูมิ 8.56% การไม่ตรงกันของแผง 2.10% การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์ 2.79% การสูญเสียจากสายไฟ DC 0.98% และการสูญเสียจากระดับการแผ่รังสี 0.72% เมื่อรวมการสูญเสียทั้งหมดแล้ว ระบบสามารถแปลงพลังงานนามธรรมของแผง 239,288 kWh ให้เป็นพลังงานที่จุด MPP 212,170 kWh และส่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบได้ 206,209 kWh

ตารางที่ 4-1 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระบบ On-grid

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	135.9	66.81	27.15	153.2	149.8	19,020	18,540	0.848
February	134.0	70.21	28.58	144.9	141.8	17,781	17,418	0.842
March	159.1	86.97	29.83	164.0	160.4	20,161	19,650	0.839
April	166.0	80.15	30.36	163.9	160.4	19,904	19,394	0.829
May	156.7	86.55	30.28	148.7	144.6	18,237	17,778	0.838
June	141.1	79.53	29.26	131.8	127.9	16,255	15,849	0.843
July	139.3	81.76	29.34	131.9	128.3	16,285	15,876	0.843
August	135.1	82.16	29.18	131.3	127.9	16,244	15,833	0.845
September	123.7	75.99	28.26	124.6	121.4	15,309	14,927	0.839
October	126.6	77.17	28.58	132.8	129.8	16,438	16,023	0.845
November	125.0	66.44	28.00	137.2	134.4	17,006	16,577	0.846
December	133.0	61.45	27.35	151.6	148.5	18,822	18,345	0.848
Year	1,675.4	915.19	28.85	1,716.0	1,675.2	211,552	206,209	0.842

ส่วนผลการจำลองในตารางที่ 4-2 แสดงผลการจำลองระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์แสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 383,381 kWh/Year คิดเป็นการผลิตจำเพาะ 1,397 kWh/kWp/Year และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพ 81.39% ซึ่งสูงกว่าระบบ Off-grid บนพื้นที่เดียวกัน แต่ต่ำกว่าระบบ On-grid ของอาคารสำนักงาน การผลิตพลังงานรายเดือนมีการแปรปรวนคล้ายคลึงกับระบบอื่น ๆ โดยมีการผลิตสูงสุดในเดือนมีนาคม (36,255 kWh) และต่ำสุดในเดือนกันยายน (27,930 kWh) การผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงแสดงให้เห็นว่าระบบมีการผลิตสูงสุดถึง 138 kW ในช่วง 12:00 น. ซึ่งอยู่ระหว่างระบบ On-grid ของอาคารสำนักงาน (77 kW) และระบบ Off-grid (165 kW) การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมพบว่ามีการสูญเสียจากอุณหภูมิ 8.56% การไม่ตรงกันของแผง 2.10% การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์ 6.11% การสูญเสียจากสายไฟ DC 0.98% และการสูญเสียจากระดับการแผ่รังสี 0.72% การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์อยู่ระหว่างระบบ On-grid ของอาคารสำนักงานและระบบ Off-grid เนื่องจากอัตราส่วน DC:AC ที่อยู่ในระดับกลาง ส่งผลให้พลังงานนามธรรมของแผง 460,164 kWh ถูกแปลงเป็นพลังงานที่จุด MPP 408,010 kWh และส่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบได้ 383,381 kWh

ตารางที่ 4-2 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมเอนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระบบ On-grid

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	135.9	66.81	27.15	153.2	149.8	35,243	34,424	0.818
February	134.0	70.21	28.58	144.9	141.8	32,953	32,186	0.809
March	159.1	86.97	29.83	164.0	160.4	37,118	36,255	0.805
April	166.0	80.13	30.36	163.9	160.4	36,283	35,429	0.787
May	156.7	86.55	30.28	148.7	144.6	33,944	33,163	0.813
June	141.1	79.52	29.26	131.8	127.9	30,465	29,773	0.823
July	139.3	81.76	29.34	131.9	128.3	30,583	29,885	0.825
August	135.1	82.16	29.18	131.3	127.9	30,496	29,972	0.826
September	123.7	75.99	28.26	124.6	121.4	28,577	27,930	0.816
October	126.6	77.17	28.58	132.8	129.8	30,689	29,982	0.822
November	125.0	66.43	28.00	137.2	134.4	31,385	30,660	0.814
December	133.0	61.46	27.35	151.6	148.5	34,712	33,903	0.815
Year	1,675.4	915.17	28.85	1,716.0	1,675.2	392,448	383,381	0.814

4.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid

สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid ที่ออกแบบสำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนามีขนาดใหญ่กว่าระบบ On-grid อย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน คือ Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV แต่ติดตั้งจำนวน 540 แผง จัดเรียงเป็น 45 สายและแต่ละสายมี 12 แผงต่อกัน ทำให้ได้กำลังการผลิตรวม 329 kWp ครอบคลุมพื้นที่หลังคา 1,509 ตารางเมตร อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นรุ่น SUN2000-100KTL-M1-400Vac จากบริษัท Huawei Technologies มีกำลังรวม 200 kWac ส่งผลให้อัตราส่วน DC:AC สูงถึง 1.647 ซึ่งสูงกว่าระบบ On-grid การติดตั้งใช้รูปแบบเดียวกับระบบ On-grid คือแผงคงที่ที่มุมเอียง 14 องศาและหันหน้าไปทางทิศใต้ โดยไม่มีสิ่งกีดขวางที่ทำให้เกิดเงาบดบัง ดังแสดงในภาพที่ 4-2 (ก) และภาพที่ 4-2 (ข)



ก) ภาพอาคารโดมเอนกประสงค์ ข) ภาพหลังคาอาคารโดมเอนกประสงค์

ภาพที่ 4-2 ภาพอาคารและภาพหลังคาอาคารโดมเอนกประสงค์

ตารางที่ 4-3 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมเอนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระบบ Off-grid

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	135.9	66.81	27.15	153.2	149.8	42,056	41,080	0.814
February	134.0	70.25	28.58	144.9	141.8	39,300	38,384	0.804
March	159.1	86.97	29.83	164.0	160.4	44,435	43,302	0.801
April	166.0	80.13	30.36	163.9	160.4	43,406	42,382	0.785
May	156.7	86.55	30.28	148.7	144.6	40,520	39,586	0.808
June	141.1	79.52	29.26	131.8	127.9	36,328	35,503	0.818

ตารางที่ 4-3 ผลการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมเอนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระบบ Off-grid (ต่อ)

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
July	139.3	81.76	29.34	131.9	128.3	36,423	35,593	0.819
August	135.1	82.16	29.18	131.3	127.9	36,269	35,433	0.819
September	123.7	75.99	28.26	124.6	121.4	34,192	34,415	0.814
October	126.6	77.17	28.58	132.8	129.8	36,611	35,768	0.818
November	125.0	66.43	28.00	137.2	134.4	37,528	36,659	0.811
December	133.0	61.46	27.35	151.6	148.5	41,454	40,488	0.811
Year	1,675.4	915.17	28.85	1,716.0	1,675.2	468,422	457,593	0.810

ผลการจำลองระบบ Off-grid ในตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 457,593 kWh/Year ซึ่งมากกว่าระบบ On-grid ถึง 2.22 เท่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการผลิตจำเพาะจะได้ 1,389 kWh/kWp/Year ซึ่งต่ำกว่าระบบ On-grid ที่ 1,445 kWh/kWp/Year ประมาณ 56 kWh/kWp/Year อัตราส่วนประสิทธิภาพ (Performance Ratio) ของระบบ Off-grid อยู่ที่ 80.95% ซึ่งต่ำกว่าระบบ On-grid ประมาณ 3.24% ความแตกต่างนี้เกิดจากการสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ที่สูงกว่า เนื่องจากอัตราส่วน DC:AC ที่สูง เมื่อพิจารณารายเดือนพบว่าระบบ Off-grid มีการผลิตพลังงานสูงสุดในเดือนมีนาคม (43,302 kWh) และต่ำสุดในเดือนกันยายน (33,415 kWh) แสดงรูปแบบความแปรปรวนตามฤดูกาลที่คล้ายคลึงกับระบบ On-grid การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงของระบบ Off-grid แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มและสิ้นสุดการผลิตในช่วงเวลาเดียวกับระบบ On-grid (06:00-18:00 น.) แต่มีการผลิตสูงสุดถึง 165 kW ในช่วง 12:00 น. ซึ่งสูงกว่าระบบ On-grid มากกว่า 2 เท่า สอดคล้องกับขนาดของระบบที่ใหญ่กว่า การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบ Off-grid พบว่ามีการสูญเสียหลักจากอุณหภูมิ 8.56% เช่นเดียวกับระบบ On-grid การไม่ตรงกันของแผง 2.10% การสูญเสียจากสายไฟ DC 0.98% และการสูญเสียจากระดับการแผ่รังสี 0.72% แต่การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์สูงถึง 6.63% ซึ่งสูงกว่าระบบ On-grid อย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินกำลังของอินเวอร์เตอร์ 4.43% ส่งผลให้พลังงานนามธรรมของแผง 552,196 kWh ถูกแปลงเป็นพลังงานที่จุด MPP 489,612 kWh และส่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบได้ 457,593 kWh

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบทั้งสาม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบทั้งสามแสดงให้เห็นความแตกต่างที่น่าสนใจ (84.19%) ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ (81.39%) และระบบ Off-grid (80.95%) ความแตกต่างนี้เกิดจากอัตราส่วน DC:AC ที่แตกต่างกัน โดยระบบที่มีอัตราส่วนต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีประสิทธิภาพสูงสุด 315.3 kWh/m²/Year ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ 304.7 kWh/m²/Year และระบบ Off-grid 303.3 kWh/m²/Year การสูญเสียในอินเวอร์เตอร์แสดงความแตกต่างที่ชัดเจน โดยระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีการสูญเสียต่ำสุด 2.79% ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ 6.11% และระบบ Off-grid สูงสุด 6.63% สาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินกำลังของอินเวอร์เตอร์เมื่ออัตราส่วน DC:AC สูงเกินไป อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการผลิตพลังงานรวมทั้งหมด ระบบ Off-grid ให้ผลผลิตของพลังงานสูงสุด 457,593 kWh/Year ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดม 383,381 kWh/Year และระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน 206,209 kWh/Year

4.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการออกแบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR) การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบจะขึ้นอยู่กับราคาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้กับการติดตั้ง และการเลือกใช้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพสูง ทำให้ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันอยู่ในเกณฑ์สูง ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนของระบบการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น โดยคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท ใช้อัตราคิดลดที่ 5% และความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุดในระยะเวลา 25 ปี

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-4 สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างระบบ On-grid และ Off-grid ในหลายมิติ ระบบ On-grid ที่ติดตั้งในอาคารสำนักงานมีความสามารถในการผลิตพลังงาน 206,209 kWh/Year ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่อาคารใช้จริงจากการไฟฟ้า 451,000 kWh/Year พบว่าระบบสามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ประมาณ 45.72% แต่ยังต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายอีก 244,791 kWh/Year ส่วนระบบ On-grid ที่ติดตั้งในอาคารโดมเอนกประสงค์มีความสามารถในการผลิตพลังงาน 383,381 kWh/Year ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ

พลังงานที่อาคารใช้จริง พบว่าระบบสามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ประมาณ 85.01% ยังต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายอีก 67,619 kWh/Year ระบบ ซึ่งถือเป็นอัตราที่น่าประทับใจและแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่แท้จริงของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในบริบทของประเทศไทย ในทางตรงกันข้าม ระบบ Off-grid ที่ติดตั้งในอาคารโดมเอนกประสงค์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการผลิตพลังงานที่สูงมาก คือ 457,593 kWh/Year การลงทุนเริ่มต้นสำหรับระบบ On-grid ที่ติดตั้งในอาคารสำนักงาน อยู่ที่ 6,943,955 บาท (คิดรวมการใช้ไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายด้วย) และที่ติดตั้งในอาคารโดมเอนกประสงค์ อยู่ที่ 11,338,095 บาท (คิดรวมการใช้ไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายด้วย) เมื่อเทียบกับ 22,060,000 บาท (คิดรวมค่าแบตเตอรี่ด้วย) สำหรับระบบ Off-grid แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่สำคัญ ผลประโยชน์ที่ได้รับ ระบบ On-grid มีค่าเท่ากับ 1,031,045 บาทต่อปี และ 1,916,905 บาทต่อปี ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ 2,287,965 บาท สำหรับระบบ Off-grid ความแตกต่างนี้เกิดจากความซับซ้อนของระบบ Off-grid ที่ต้องการแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ 1,250 Kwh ซึ่งต้องมีการบำรุงรักษา เปลี่ยนถ่าย และจัดการอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 4-4 การวิเคราะห์การลงทุนการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการ	พลังงานที่ผลิตได้ (kWh/Year)	พลังงานที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม (kWh/Year)	พลังงานที่เก็บในแบตเตอรี่ (kWh)	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท)	กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี (บาท)
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารสำนักงาน On-grid	206,209	244,791	-	6,943,955	1,031,045
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมเอนกประสงค์ On-grid	383,381	67,619	-	11,338,095	1,916,905
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมเอนกประสงค์ Off-grid	457,593	-	1,250	22,060,000	2,287,965

หมายเหตุ: ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สืบราคาจากงานราชการ ราคาหน่วยละ 40,000 บาท ต่อ 1 KWp และราคาแบตเตอรี่ 1 Wh เท่ากับราคา 10 Baht โดยเก็บไว้ใช้สำรองระยะเวลา 1 วัน

ตารางที่ 4-5 ผลตอบแทนการลงทุนการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการ	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) (%)	ระยะเวลาคืนทุน (PB) (ปี)
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารสำนักงาน On-grid	7,587,536.08	8.88	8.6
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมเอนกประสงค์ On-grid	15,678,657.81	10.99	7.3
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมเอนกประสงค์ Off-grid	10,186,451.88	4.30	13.6

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-5 สำหรับระบบ On-grid ในอาคารสำนักงาน 3 ประการ คือ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน คำนวณหาระยะเวลาคืนทุนโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel พบว่าระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 6 เดือน เมื่อนำผลการวิเคราะห์ด้านการเงินข้างต้นมาวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยใช้อัตราส่วนลด 5% พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุมีค่าเท่ากับ 7,587,536.08 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงว่ายอมรับโครงการ ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้านการเงินข้างต้นนำมาวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนลดค่า (IRR) พบว่าค่า IRR ตลอดโครงการมีค่าเท่ากับ 8.88% สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ พบว่าระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุมีค่าเท่ากับ 15,678,657.81 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงว่ายอมรับโครงการ ส่วนอัตราผลตอบแทนลดค่า (IRR) พบว่าค่า IRR ตลอดโครงการมีค่าเท่ากับ 10.99% และสำหรับระบบ Off-grid มีการลงทุนเริ่มต้นที่ 22,060,000 บาท (คิดรวมค่าแบตเตอรี่ด้วย) พบว่าระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 6 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุมีค่าเท่ากับ 10,186,451.88 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงว่ายอมรับโครงการ การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนลดค่า (IRR) พบว่าค่า IRR ตลอดโครงการมีค่าเท่ากับ 4.30%

4.6 การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

การคำนวณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) เพื่อประเมินผลการประหยัดพลังงานจากแบบจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) โดยใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Emission Factor) สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือน

กระจก (องค์การมหาชน) เริ่มบังคับใช้ 1 มกราคม 2566 มีค่าเท่ากับ 0.5986 kgCO2e/kWh (ทินกร เชื้อวงศ์, ศุภรัชชัย วรรัตน์, และประยุทธ์ ฤทธิเดช, 2567) จากตารางที่ 4-6 ผลการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ที่ได้จะแสดงค่าที่ได้เป็นรายมาตรการที่สามารถดำเนินการได้จริง โดยพิจารณาจากการลงทุนตลอดโครงการ 25 ปี

ผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินมาตรการผลิตพลังงานทดแทนในตารางที่ 4-6 โดยแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง 3 ระบบ สำหรับระบบ On-grid เป็นการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารสำนักงานและอาคารโดมเอนกประสงค์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนาโดยตรง ผลการศึกษาพบว่าอาคารสำนักงานระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 206,209 kWh/Year สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 123,436.70 $kgCO_2e$/year หรือคิดเป็น 123.43 tCO_2e/year เมื่อคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวม 3,085,917.50 $kgCO_2e$/year หรือ 3,085.91 tCO_2e อาคารโดมเอนกประสงค์ระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 383,381 kWh/Year สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 229,491.86 $kgCO_2e$/year หรือคิดเป็น 229.49 tCO_2e/year เมื่อคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวม 5,737,296.66 $kgCO_2e$/year หรือ 5,737.29 tCO_2e และสำหรับระบบ Off-grid เป็นการขยายพื้นที่ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าออกไปนอกตัวอาคารหลัก โดยใช้หลังคาโดมเอนกประสงค์ ผลการศึกษาพบว่า ระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 457,593 kWh/Year ซึ่งมากกว่าระบบ On-grid สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 273,915.17 $kgCO_2e$/year หรือคิดเป็น 273.91 tCO_2e/year เมื่อคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวม 6,847,879.25 $kgCO_2e$/year หรือ 6,847.87 tCO_2e ระบบนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สูงกว่าในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากสามารถใช้พื้นที่ได้มากกว่าและไม่ถูกจำกัดด้วยขนาดหลังคาของอาคารหลักเพียงอย่างเดียว ทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-6 การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี

มาตรการ	การประหยัดพลังงาน (kWh/Year)	การลด CO_2 รายปี		การลด CO_2 ตลอดอายุโครงการ 25 ปี	
		$CO_{2Emission}$ ($kgCO_2e$/year)	$CO_{2Emission}$ (tCO_2e/year)	$CO_{2Emission}$ ($kgCO_2e$)	$CO_{2Emission}$ (tCO_2e)
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารสำนักงาน On-grid	206,209	123,436.70	123.43	3,085,917.50	3,085.91
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมเอนกประสงค์ On-grid	383,381	229,491.86	229.49	5,737,296.66	5,737.29
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมเอนกประสงค์ Off-grid	457,593	273,915.17	273.91	6,847,879.25	6,847.87

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารและวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี และเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ มีดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ได้ดำเนินการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ และระบบ Off-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 7.3.1 ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานใช้แผงโซลาร์เซลล์ Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV กำลัง 610 Wp จำนวน 234 แผง ให้กำลังการผลิตรวม 143 kWp สามารถผลิตพลังงานได้ 206,209 kWh/Year การผลิตจำเพาะ 1,445 kWh/kWp/Year และ Performance Ratio 84.19% สามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ 45.72% ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน จำนวน 450 แผง ให้กำลังการผลิตรวม 275 kWp สามารถผลิตพลังงานได้ 383,381 kWh/Year การผลิตจำเพาะ 1,397 kWh/kWp/Year และ Performance Ratio 81.39% สามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ 85.01% ส่วนระบบ Off-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 540 แผง ให้กำลังการผลิตรวม 329 kWp สามารถผลิตพลังงานได้ 457,593 kWh/Year การผลิตจำเพาะ 1,389 kWh/kWp/Year และ Performance Ratio 80.95%

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างแต่ละระบบ ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 6,943,955 บาท ระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 6 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 7,587,536.08 บาท และอัตราผลตอบแทน

ภายใน (IRR) 8.88% ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 11,338,095 บาท ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน NPV 15,678,657.81 บาท และ IRR 10.99% ขณะที่ระบบ Off-grid มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 22,060,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 6 เดือน NPV 10,186,451.88 บาท และ IRR 4.30%

ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 123.43 tCO_2e/Year และตลอดอายุโครงการ 25 ปี ลดได้ 3,085.91 tCO_2e/Year ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ลดการปล่อยก๊าซได้ 229.49 tCO_2e/Year และตลอดอายุโครงการลดได้ 5,737.29 tCO_2e/Year ส่วนระบบ Off-grid ลดการปล่อยก๊าซได้สูงสุดที่ 273.91 tCO_2e/Year และตลอดอายุโครงการลดได้ 6,847.87 tCO_2e/Year ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบ On-grid มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงกว่า แต่ระบบ Off-grid มีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกสูงกว่า ทั้งสามระบบมีส่วนสำคัญในการสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีประสิทธิภาพสูงสุดในแง่ของ Performance Ratio (84.19%) และการผลิตจำเพาะ (1,445 kWh/kWp/Year) ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ (81.39% และ 1,397 kWh/kWp/Year) และระบบ Off-grid (80.95% และ 1,389 kWh/kWp/Year) ความแตกต่างนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของวิรัตณ์ พิชิตกุญชร และกีรติ ชยะกุลคีรี (2561) ที่พบว่าการออกแบบระบบที่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน โดยในการศึกษานี้ระบบที่มีอัตราส่วน DC:AC ที่เหมาะสม (1.43 สำหรับอาคารสำนักงาน) มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่มีอัตราส่วนสูงเกินไป (1.647) สำหรับระบบ Off-grid

2. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์มีความคุ้มค่าสูงสุด โดยมี IRR 10.99% และระยะเวลาคืนทุนเพียง 7 ปี 3 เดือน ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน (IRR 8.88%, ระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 6 เดือน) และระบบ Off-grid (IRR 4.30%, ระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 6 เดือน) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของสุรกิจ ทองสุก และอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล (2561) ที่ระบุว่าการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาสองปัจจัยหลัก คือ ต้นทุนในการติดตั้งและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

อย่างไรก็ตาม ทั้งสามระบบมีค่า NPV เป็นบวก แสดงว่าทุกโครงการมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมด โดยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์มี NPV สูงสุด (15,678,657.81 บาท) เนื่องจากผลตอบแทนรวมที่สูงและระยะเวลาคืนทุนที่สั้น

3. การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สำคัญของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในการสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน โดยระบบ Off-grid มีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกสูงสุด (273.91 tCO_2e/Year) รองลงมาคือระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์ (229.49 tCO_2e/Year) และระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน (123.43 tCO_2e/Year) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 7 (พลังงานสะอาด) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) (ชิสา กันยาวิริยะ และสิรินทร์ กันยาวิริยะ, 2567)

4. จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่า ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมเอนกประสงค์เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในแง่ของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีการลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้สูง และมีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง แต่ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน เหมาะสำหรับการเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากมีความเสี่ยงต่ำและประสิทธิภาพสูง สำหรับระบบ Off-grid เหมาะสำหรับองค์กรที่ต้องการความมั่นคงทางพลังงาน มีเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกสูง และมีทุนในการลงทุนเริ่มต้นสูง

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยสรุปข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

1. ควรเริ่มดำเนินการติดตั้งในอาคารสำนักงานเป็นลำดับแรก เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงแต่มีความเสี่ยงต่ำ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 8 ปี 6 เดือน และอัตราผลตอบแทนภายในที่ 8.88% ซึ่งถือเป็นการลงทุนที่น่าสนใจสำหรับหน่วยงานภาครัฐ

2. ควรพิจารณาการขยายระบบไปยังอาคารอื่น ๆ ในเทศบาลที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกัน เช่น อาคารที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางวันสูง อาคารที่มีพื้นที่หลังคาเหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ และอาคารที่มีโครงสร้างแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักของระบบ

3. ควรศึกษาเทคโนโลยีการจัดเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและต้นทุนต่ำกว่าเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะการติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน และแบตเตอรี่เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่อาจมีราคาถูกลงและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

4. ควรศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีแผงโซลาร์เซลล์รุ่นใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว การศึกษาควรครอบคลุมถึงความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

5. ควรพัฒนาแบบจำลองการคาดการณ์ผลตอบแทนที่มีความแม่นยำสูงขึ้น โดยการรวมปัจจัยต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงราคาพลังงาน การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี และนโยบายภาครัฐ

บรรณานุกรม

ชาณิกา ปัญจพุทธานนท์ และรัตพงษ์ สอนสุภาพ. (2559). ปัญหาและอุปสรรคของการพัฒนาพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในประเทศไทย. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 11*(3), 11-20.

ชิสา กันยาวิริยะ และสิรินทร์ กันยาวิริยะ. (2567). การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนด้วยหลักพุทธธรรม. *วารสารสถาบันพอดี, 1*(7), 7-26.

ณัฐหทัย จุมรี, วรพจน์ มีถม, ณฤทธิ์ศักดิ์ ตันติทิพย์วรรณ และชาติชาย อัศดรศักดิ์. (2567). การศึกษาระยะเวลาคืนทุนของระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จำกัดกรณีศึกษาอาคารเรียนระดับอาชีวศึกษา. ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (บ.ก.), *รายงานการประชุม การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 15*. (น. 82-87). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ทินกร เชื้อวงศ์, ศุภรัชชัย วรรัตน์ และประยุทธ์ ฤทธิเดช. (2567). การปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงานภาครัฐโดย ใช้แบบจำลองพลังงาน: กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม่นาง. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 18*(2), 92-106.

นวลประกาย เลิศกิรวงศ์. (2562). นโยบายพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า กรณีศึกษาโครงการนำร่องพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าติดตั้งบนหลังคาอย่างเสรีของผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทครัวเรือน. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 15*(1), 4-26.

บัญชา งามชื่น. (2562). *การวิเคราะห์ความพร้อมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคาขนาดใหญ่ 1 เมกะวัตต์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี). ฐานข้อมูลงานวิจัย (repository.rmutt).

บุญเลิศ สื่อเฉย, สมศักดิ์ สิริโปราณานนท์ และอรพิณ วรรณราช. (2565). การวิเคราะห์ผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 12*(2), 51-66.

ประยุทธ์ ฤทธิเดช. (2566). *การจำลองการใช้พลังงานและการจัดหาพลังงานเพื่อมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ประเทศไทย*. (วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์). ฐานข้อมูลงานวิจัย (libdoc.dpu).

บรรณานุกรม (ต่อ)

พัชรินทร์ อินทมาส, มณีรัตน์ ชัยสกุลนิยม, พเนตร์ สุขสิงห์, ธีระพงษ์ บุญรักษา และพรหมพักตร์ บุญรักษา. (2565). การวิเคราะห์เชิงเทคนิคและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาระดับครัวเรือน . *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสิทร์, 4*(3), 47-56.

มานิตย์ ศรีคงแก้ว และพาสิทธิ์ หล่อธีรพงศ์. (2558). การศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านอยู่อาศัย. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 26*(1), 61-69.

วิรัตณ์ พิชิตกุญชร และกีรติ ชยะกุลคีรี. (2561). การออกแบบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บนหลังคาของอาคารกองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 29*(1), 25-36.

สุรกิจ ทองสุก, และอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล. (2561).การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ ติดตั้งบนหลังคา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ, 10*(19), 157-169.

สุริยนต์ ชมดี. (2558). *การประเมินการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านอยู่อาศัยในภาคเหนือของประเทศไทย.* (การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่). ฐานข้อมูลงานวิจัย (cmudc.library.cmu).

อิทธิเดช ภู่นันทพงษ์. (2562). *การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย.* (สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). ฐานข้อมูลงานวิจัย (cuir.car.chula).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
บทความที่เผยแพร่ตีพิมพ์

รายงาน
การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยบริการ เทคโนโลยีสารสนเทศ และสหสาขาวิชา ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2568

Proceeding of The 1st National Conference on Academic Resource, Information Technology and Multidisciplinary 2025



17 กรกฎาคม 2568

ศูนย์วิทยบริการ สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยบริการ เทคโนโลยีสารสนเทศและสหสาขาวิชา ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2568
The 1st National Conference on Academic Resource, Information Technology and Multidisciplinary 2025

SAC-01-007

การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

Energy Management in Office Buildings to Achieve Carbon Neutrality In Bang Rak Phatthana Municipality

เอกนัต กองรัมย์[1*] และอาทิตย์ โสตรโยม[2]
Eakkanut Kongrum[1*] and Athit Sode-Yome[2]
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยาม[1,2]
38 ถ. เพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160
e-mail: noomgearmour@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารสำนักงาน และโดมอเนกประสงค์ และวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (2) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุน และผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี โดยใช้โปรแกรมพีวีซิสต์ รุ่น 7.3.1 ในการจำลองระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า และระบบแบบแยกเดี่ยว การศึกษาแบ่งเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงาน ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 234 แผง กำลังรวม 143 กิโลวัตต์พีค ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 450 แผง กำลังรวม 275 กิโลวัตต์พีค และระบบแบบแยกเดี่ยวสำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 540 แผง กำลังรวม 329 กิโลวัตต์พีค ผลการวิจัยพบว่า ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงานผลิตพลังงานได้ 206,209 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี อัตราส่วนประสิทธิภาพร้อยละ 84.19 อาคารโดมอเนกประสงค์แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผลิตพลังงานได้ 383,381 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี อัตราส่วนประสิทธิภาพร้อยละ 81.39 และระบบแบบแยกเดี่ยวผลิตพลังงานได้ 457,593 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี อัตราส่วนประสิทธิภาพร้อยละ 80.95 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงว่า ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์มีความคุ้มค่าสูงสุด โดยมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 10.99 และระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน ด้านสิ่งแวดล้อม ระบบแบบแยกเดี่ยวมีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกสูงสุด 273.91 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่าระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในแง่ของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และทุกระบบมีส่วนสำคัญในการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ความเป็นกลางทางคาร์บอน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

Abstract

This research aimed to (1) simulate solar photovoltaic electricity generation systems for office buildings and multipurpose dome buildings and analyze carbon dioxide emissions reduction, and (2) evaluate the costs and financial returns of installing solar PV systems in Bang Rak Phatthana Municipality, Nonthaburi Province. The study utilized PVsyst software version 7.3.1 to simulate both grid-connected and off-grid solar photovoltaic systems. The study examined three distinct systems: a grid-connected system for the office building utilizing 234 solar panels with a total capacity of 143 kWp, a grid-connected system for the multipurpose dome building employing 450 solar panels with a combined capacity of 275 kWp, and an off-grid system for the multipurpose dome building using 540 solar panels with a total capacity of 329 kWp. The research findings demonstrated that the grid-connected system for the office building achieved an annual energy production of 206,209 kWh with a performance ratio of 84.19%. The grid-connected system for the multipurpose dome building generated 383,381 kWh annually with a performance ratio of 81.39%. The off-grid system produced 457,593 kWh per year with a performance ratio of 80.95%. Economic analysis revealed that the grid-connected system for the multipurpose dome building exhibited the highest

economic viability with an internal rate of return of 10.99% and a payback period of 7 years and 3 months. From an environmental perspective, the off-grid system demonstrated the greatest potential for greenhouse gas emission reduction, achieving 273.91 tCO_2e/year. The study concludes that the grid-connected system for the multipurpose dome building represents the optimal solution in terms of economic feasibility, while all systems contribute significantly to achieving carbon neutrality objectives. These findings provide valuable insights for sustainable energy development strategies in municipal government buildings and demonstrate the substantial potential of solar photovoltaic technology in supporting carbon neutrality goals.

Keywords: Solar photovoltaic energy, Carbon neutrality, Economic feasibility analysis, Greenhouse gas emission reduction, Bang Rak Phatthana Municipality

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต้องการมากขึ้นทั่วโลก เนื่องจากความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติ นอกจากนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมมูลค่าการพัฒนาที่ยั่งยืนอีกด้วย ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นไม่เพียงแต่ในการนำไปใช้ในงานที่มีขอบเขตขนาดใหญ่ เช่น ภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ ภาครัฐ และเอกชน แต่ยังสามารถนำไปใช้กับงานที่มีขอบเขตขนาดเล็ก เช่น ภาคครัวเรือน ได้อีกด้วย (ณัฐหทัย จุมวี และคณะ, 2567) โดยแนวคิดการพัฒนาองค์กรให้ยั่งยืนในปัจจุบันวางอยู่บนพื้นฐานการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) มีทั้งหมด 17 เป้าหมาย (ชิสา กันยาวิริยะ และสิรินทร์ กันยาวิริยะ, 2567) ความสำคัญของพลังงานไฟฟ้ามีผล และเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาพื้นฐานต่าง ๆ ของประเทศ ทั้งทางด้านสังคม และเศรษฐกิจเป็นพลังงานที่ช่วยสนับสนุนให้มีการพัฒนาการเศรษฐกิจในทุกภาคส่วน

วิรัดณ์ พิจิตกุญชร และกีรติ ชยะกุลศิริ (2561) ได้ศึกษาการออกแบบ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารกองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์บนหลังคาอาคารจากพิกัดของสถานที่ติดตั้งจริงและข้อมูลของสภาพภูมิอากาศเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามนโยบายของกองทัพบก ซึ่งต้องการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในหน่วยทหารลง 10% รวมทั้งศึกษาระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยผลจากการจำลองการติดตั้งพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคาร ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 5% โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการวิเคราะห์เท่ากับ 34,809 หน่วยต่อเดือน ซึ่งถ้าคิดเป็นมูลค่าของเงินที่ประหยัดได้ในแต่ละปีจะลดลงได้ประมาณ 1,670,832 บาทต่อปี ทำให้ระบบดังกล่าวจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 ปี สามารถลดพลังงานไฟฟ้าจากเดิมได้ถึง 18% ทั้งยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้ 225.56 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

สุรกิจ ทองสุก และอรวรพล เจ่าพิทักษ์กุล (2561) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งบนหลังคาของอาคารตัวอย่าง คำนวณโดยโปรแกรม PVsyst เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบ มีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งจะพิจารณาสองปัจจัยหลักคือ ต้นทุนในการติดตั้ง และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ระบบที่มีการติดตั้งจริงนั้นสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณ และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถปรับปรุงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม

จากเหตุผลข้างต้น และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การบูรณาการระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบพลังงานแบบดั้งเดิมที่รับไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) จากอาคารได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีการลงทุนสูง (ธิทิเดช ภู่นันทพงษ์, 2562) ดังนั้นการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยประกอบการตัดสินใจเป็นวิธีการที่ยอมรับทั้งในภาควิชาการและอุตสาหกรรม (บัญชา งามชื่น, 2562) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการจำลองการใช้พลังงาน และการจัดการพลังงานเพื่อใช้เป็นแนวทางนำไปสู่การจัดการความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารสำนักงาน และโคมอเนกประสงค์ และวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี

2. เพื่อวิเคราะห์ด้านทุน และผลตอบแทนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารสำนักงาน และโคมอเนกประสงค์ ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา จังหวัดนนทบุรี

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีกรอบแนวคิดที่นำเสนอแสดงถึงโครงสร้าง และกระบวนการของการศึกษาเรื่อง การจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา โดยมีการจัดลำดับกระบวนการวิจัยอย่างเป็นระบบ และเชื่อมโยงกันเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย กรอบแนวคิดการวิจัยนี้นำเสนอแนวทางที่เป็นระบบ และครอบคลุมในการศึกษาการจัดหาพลังงานในอาคารภาครัฐเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน โดยมีการบูรณาการองค์ความรู้ทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่มีคุณค่า และนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะในเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับพลังงานสะอาด เมืองยั่งยืน และการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กรอบแนวคิดในการวิจัย ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวิจัย ประกอบด้วย : สำรวจ และเก็บข้อมูลกายภาพของอาคารในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา เช่น พื้นที่ใช้สอย ลักษณะหลังคา ทิศทางการวางตัวของอาคาร รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังของอาคาร (ภาพที่ 2) วิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานตามช่วงเวลาและตามฤดูกาล ประเมินศักยภาพของพื้นที่หลังคาสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยภาพที่ 2 จะแสดงกราฟเส้นเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year) และค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (บาท/ปี) ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง 2567 โดยแกนนอนแสดงปี พ.ศ. และแกนตั้งแสดงหน่วย

kWh และบาท จากการวิเคราะห์แนวโน้ม พบว่า ทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายมีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วง 6 ปี แต่มีอัตราการเพิ่มที่แตกต่างกัน โดยเส้นกราฟสีน้ำเงิน (ปริมาณการใช้ไฟฟ้า) มีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟสีแดง (ค่าใช้จ่าย) อย่างเห็นได้ชัด สะท้อนให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 296,000 kWh ในปี 2562 เป็น 451,000 kWh ในปี 2567 คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 52.4 ในขณะที่ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจาก 1,367,113 บาท เป็น 2,186,869 บาท คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 60.0 ความแตกต่างระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นนี้ (ประมาณร้อยละ 7.6) อาจเป็นผลมาจากการปรับขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลาดังกล่าว จุดเปลี่ยนสำคัญปรากฏชัดเจนในช่วงปี 2565-2566 โดยทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายมีการเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 348,000 kWh เป็น 405,000 kWh (เพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4) และค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจาก 1,738,351 บาท เป็น 2,213,057 บาท (เพิ่มขึ้นร้อยละ 27.3) ในช่วงเวลาเพียงหนึ่งปี ความแตกต่างระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงนี้ (ประมาณร้อยละ 10.9) สูงกว่าค่าเฉลี่ยตลอด 6 ปี ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการปรับขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาดังกล่าว



ภาพที่ 2 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2567

การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทน ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์และประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทน โดยแบ่งเป็น 3 รูปแบบ : 1) การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน และอาคารโดมอเนกประสงค์ จำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า ใช้โปรแกรม PVsyst 7.3.1 ในการจำลอง และคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม ประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ต่อปี 2) วิเคราะห์ความสามารถในการทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ จำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ประเมินความสามารถในการผลิต และจัดเก็บพลังงานเพื่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง วิเคราะห์ความสามารถในการพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน และความมั่นคงทางพลังงาน ประเมินความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่า และความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย : ประเมินต้นทุนในการลงทุนติดตั้งระบบ (Initial Cost) ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบตลอดอายุโครงการ คำนวณผลประหยัดจากการลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of

Return: IRR) การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Potential) (พัชรินทร์ อินทมาส และคณะ, 2565) โดยทั่วไปเทคนิคที่นิยมใช้มี 3 วิธีดังนี้ โดยที่ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) แสดงดังสมการที่ 1

$$Payback = \frac{\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square}{\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square} \quad (1)$$

เมื่อ Payback คือ ระยะเวลาคืนทุน, Total Investment คือ เงินลงทุนทั้งหมดก่อนเริ่มโครงการ, Unit per year คือ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี และ FiT คือ มาตรการส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง ระยะเวลาคืนทุนจะมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อมีระยะเวลาน้อยกว่าอายุ ของโครงการ (25 ปี)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนเงินลงทุนของโครงการ สามารถคำนวณ NPV ได้ดังสมการที่ 2

$$\square\square\square = \sum_{\square=1}^{\square} \frac{\square\square\square}{(1+\square)^{\square}} - \square_0 \quad (2)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(บาท), ESt คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละปี(บาท), n คือ อายุโครงการ (ปี), i คือ อัตราคิดลด (Discount rate),t คือ Time of cash flow

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิที่คำนวณได้ของโครงการ มีค่ามากกว่า 0 ก็ตัดสินใจลงทุนหรือยอมรับโครงการนั้น หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 หรือ มีค่าเป็นลบก็ไม่ลงทุนในโครงการดังกล่าวเนื่องจากไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการ คำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$0 \quad \square_0 = \sum_{\square=1}^{\square} \frac{\square\square\square}{(1+\square\square\square)} = 0 \quad (3)$$

เมื่อ IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน, ESt คือ กระแสเงินสดได้รับสุทธิในแต่ละปี (บาท), I0 คือเงินลงทุนตอนเริ่มโครงการ (บาท)

สำหรับเกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณา ดังนี้

- หาก IRR > ต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการก็ตัดสินใจลงทุน
- หาก IRR < ต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการก็ตัดสินใจไม่ลงทุน

การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิจัยเป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย : คำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลังจากติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์วิเคราะห์สัดส่วนการลดการปลดปล่อยเทียบกับเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมของโครงการ เสนอแนวทางในการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในระยะยาว การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมและนำไปวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5986 $kgCO_2e/kWh.year$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2566 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$\text{Avoided } CO_2e \text{ Emissions} = ER*0.5986\ (kgCO_2e/kWh.year) \quad (4)$$

โดยที่ ER คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

ผลการวิจัย

1. อาคารกรณีศึกษา เมื่อดำเนินการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบ On-grid ของอาคารสำนักงาน และอาคารโดมอเนกประสงค์ ส่วนรูปแบบ Off-grid จะใช้อาคารโดมอเนกประสงค์เพียงอาคารเดียว โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 7.3.1 เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทน และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2. การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ On-grid สำหรับบนหลังคาอาคารสำนักงาน และโดมอเนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ดังภาพที่ 3 (ก), (ข) และภาพที่ 4 (ก), (ข) ในส่วนของอาคารสำนักงานได้รับการออกแบบโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Monocrystalline Silicon จากบริษัท Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV ที่มีกำลังการผลิตต่อแผง 610 Wp จำนวน 234 แผง โดยจัดเรียงในรูปแบบ 39 สาย และแต่ละสายประกอบด้วย 6 แผงต่อกัน ทำให้ได้กำลังการผลิตรวมของระบบ 143 kWp ครอบคลุมพื้นที่หลังคาทั้งหมด 654 ตารางเมตร สำหรับอินเวอร์เตอร์ใช้รุ่น SUN2000-50KTL-M3-400V จากบริษัท Huawei Technologies ส่งผลให้อัตราส่วน DC : AC เท่ากับ 1.43 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบคงที่ โดยปรับมุมเอียง 14 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ (มุมอะซิมุท 0 องศา) เพื่อให้ได้รับแสงแดดในปริมาณสูงสุดตลอดวัน ในการติดตั้งไม่มีสิ่งกีดขวางที่จะทำให้เกิดเงาบดบังแผงโซลาร์เซลล์ สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน คือ Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV จำนวน 450 แผง จัดเรียงเป็น 45 สายและแต่ละสายมี 10 แผงต่อกัน ทำให้ได้กำลังการผลิตรวม 275 kWp ครอบคลุมพื้นที่หลังคา 1,258 ตารางเมตร อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นรุ่น SUN2000-100KTL-M1-400Vac ส่งผลให้อัตราส่วน DC:AC เท่ากับ 1.615 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบคงที่ โดยปรับมุมเอียง 14 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ (มุมอะซิมุท 0 องศา) เพื่อให้ได้รับแสงแดดในปริมาณสูงสุดตลอดวัน เช่นเดียวกับอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 3 ภาพอาคารสำนักงานสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา



ภาพที่ 4 แบบแปลนหลังคาของอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

ตารางที่ 1

ผลการจำลองผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารสำนักงานเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	135.9	66.81	27.15	153.2	149.8	19,020	18,540	0.848
February	134.0	70.21	28.58	144.9	141.8	17,781	17,418	0.842
March	159.1	86.97	29.83	164.0	160.4	20,161	19,650	0.839
April	166.0	80.15	30.36	163.9	160.4	19,904	19,394	0.829
May	156.7	86.55	30.28	148.7	144.6	18,237	17,778	0.838
June	141.1	79.53	29.26	131.8	127.9	16,255	15,849	0.843
July	139.3	81.76	29.34	131.9	128.3	16,285	15,876	0.843
August	135.1	82.16	29.18	131.3	127.9	16,244	15,833	0.845
September	123.7	75.99	28.26	124.6	121.4	15,309	14,927	0.839
October	126.6	77.17	28.58	132.8	129.8	16,438	16,023	0.845
November	125.0	66.44	28.00	137.2	134.4	17,006	16,577	0.846
December	133.0	61.45	27.35	151.6	148.5	18,822	18,345	0.848
Year	1,675.4	915.19	28.85	1,716.0	1,675.2	211,552	206,209	0.842

ตารางที่ 2

ผลการจำลองผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมอเนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	135.9	66.81	27.15	153.2	149.8	35,243	34,424	0.818
February	134.0	70.21	28.58	144.9	141.8	32,953	32,186	0.809
March	159.1	86.97	29.83	164.0	160.4	37,118	36,255	0.805

April	166.0	80.13	30.36	163.9	160.4	36,283	35,429	0.787
May	156.7	86.55	30.28	148.7	144.6	33,944	33,163	0.813
June	141.1	79.52	29.26	131.8	127.9	30,465	29,773	0.823
July	139.3	81.76	29.34	131.9	128.3	30,583	29,885	0.825
August	135.1	82.16	29.18	131.3	127.9	30,496	29,792	0.826
September	123.7	75.99	28.26	124.6	121.4	28,577	27,930	0.816
October	126.6	77.17	28.58	132.8	129.8	30,689	29,982	0.822
November	125.0	66.43	28.00	137.2	134.4	31,385	30,660	0.814
December	133.0	61.46	27.35	151.6	148.5	34,712	33,903	0.815
Year	1,675.4	915.17	28.85	1,716.0	1,675.2	392,448	383,381	0.814

ผลการจำลองแสดงในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ระบบ On-grid สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 206,209 kWh/Year คิดเป็นการผลิตจำเพาะ 1,445 kWh/kWp/Year และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพ (Performance Ratio) 84.19% ซึ่งถือเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม เมื่อพิจารณารายเดือนพบว่า ระบบมีการผลิตพลังงานสูงสุดในเดือนมีนาคม (19,650 kWh) และต่ำสุดในเดือนกันยายน (14,927 kWh) โดยมีความแปรปรวนตามฤดูกาลเป็นไปตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ระบบมีการผลิตพลังงานเฉลี่ย 18,941 kWh/Month แต่มี Performance Ratio ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิสูง ขณะที่ช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) มีการผลิตพลังงานลดลงเป็น 15,850 kWh/Month เนื่องจากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ลดลง และในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) มีการผลิตพลังงานเฉลี่ย 17,595 kWh/Month พร้อมกับ Performance Ratio สูงสุด 84.5% รูปแบบการผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงของระบบ On-grid แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มผลิตไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 06:00 น. และสิ้นสุดการผลิตเวลา 18:00 น.โดยมีช่วงเวลาผลิตสูงสุดระหว่าง 11:00-13:00 น.ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 77.0 kW ในช่วง 12:00 น. ลักษณะการผลิตนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของมุมแสงอาทิตย์ตลอดวัน ทำให้เกิดเส้นโค้งการผลิตพลังงานที่มีลักษณะคล้ายระฆัง การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบ On-grid พบว่า การสูญเสียหลักมาจากอุณหภูมิ 8.56% การไม่ตรงกันของแผง 2.10% การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์ 2.79% การสูญเสียจากสายไฟ DC 0.98% และการสูญเสียจากระดับการแผ่รังสี 0.72% เมื่อรวมการสูญเสียทั้งหมดแล้ว ระบบสามารถแปลงพลังงานนามธรรมของแผง 239,288 kWh ให้เป็นพลังงานที่จุด MPP 212,170 kWh และส่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบได้ 206,209 kWh ส่วนผลการจำลองในตารางที่ 2 แสดงผลการจำลองระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์แสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 383,381 kWh/Year คิดเป็นการผลิตจำเพาะ 1,397 kWh/kWp/Year และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพ 81.39% ซึ่งสูงกว่าระบบ Off-grid บนพื้นที่เดียวกัน แต่ต่ำกว่าระบบ On-grid ของอาคารสำนักงาน การผลิตพลังงานรายเดือนมีการแปรปรวนคล้ายคลึงกับระบบอื่น ๆ โดยมีการผลิตสูงสุดในเดือนมีนาคม (36,255 kWh) และต่ำสุดในเดือนกันยายน (27,930 kWh) การผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงแสดงให้เห็นว่า ระบบมีการผลิตสูงสุดถึง 138 kW ในช่วง 12:00 น. ซึ่งอยู่ระหว่างระบบ On-grid ของอาคารสำนักงาน (77 kW) และระบบ Off-grid (165 kW) การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมพบว่ามีการสูญเสียจากอุณหภูมิ 8.56% การไม่ตรงกันของแผง 2.10% การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์ 6.11% การสูญเสียจากสายไฟ DC 0.98% และการสูญเสียจากระดับการแผ่รังสี 0.72% การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์อยู่ระหว่างระบบ On-grid ของอาคารสำนักงานและระบบ Off-grid เนื่องจากอัตราส่วน DC : AC ที่อยู่ในระดับกลาง ส่งผลให้พลังงานนามธรรมของแผง 460,164 kWh ถูกแปลงเป็นพลังงานที่จุด MPP 408,010 kWh และส่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบได้ 383,381 kWh

3. การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid (อาคารโดมอเนกประสงค์) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Off-grid ที่ออกแบบสำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนามีขนาดใหญ่กว่าระบบ On-grid อย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน คือ Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV แต่ติดตั้งจำนวน 540 แผง จัดเรียงเป็น 45 สาย และแต่ละสายมี 12 แผงต่อกัน ทำให้ได้กำลังการผลิตรวม 329 kWp ครอบคลุมพื้นที่หลังคา 1,509 ตารางเมตร อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นรุ่น SUN2000-100KTL-M1-400Vac จากบริษัท Huawei Technologies มีกำลังรวม 200 kWac ส่งผลให้อัตราส่วน DC : AC สูงถึง 1.647 ซึ่งสูงกว่าระบบ On-grid การติดตั้งใช้รูปแบบเดียวกับระบบ On-grid คือแผงหันที่ทิมุมเอียง 14 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ โดยไม่มีสิ่งกีดขวางที่ทำให้เกิดเงาบดบัง ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก) และภาพที่ 4 (ข)



ภาพที่ 5 ภาพอาคารโดมอเนกประสงค์



ภาพที่ 6 แบบแปลนหลังคาอาคารโดมอเนกประสงค์

ตารางที่ 3

ผลการจำลองผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนอาคารโดมอเนกประสงค์เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา (Off-grid)

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	135.9	66.81	27.15	153.2	149.8	42,056	41,080	0.814
February	134.0	70.25	28.58	144.9	141.8	39,300	38,384	0.804
March	159.1	86.97	29.83	164.0	160.4	44,435	43,302	0.801
April	166.0	80.13	30.36	163.9	160.4	43,406	42,382	0.785
May	156.7	86.55	30.28	148.7	144.6	40,520	39,586	0.808
June	141.1	79.52	29.26	131.8	127.9	36,328	35,503	0.818
July	139.3	81.76	29.34	131.9	128.3	36,423	35,593	0.819
August	135.1	82.16	29.18	131.3	127.9	36,269	35,433	0.819
September	123.7	75.99	28.26	124.6	121.4	34,192	34,415	0.814
October	126.6	77.17	28.58	132.8	129.8	36,611	35,768	0.818
November	125.0	66.43	28.00	137.2	134.4	37,528	36,659	0.811
December	133.0	61.46	27.35	151.6	148.5	41,454	40,488	0.811
Year	1,675.4	915.17	28.85	1,716.0	1,675.2	468,422	457,593	0.810

ผลการจำลองระบบ Off-grid ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 457,593 kWh/Year ซึ่งมากกว่าระบบ On-grid ถึง 2.22 เท่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการผลิตจำเพาะจะได้ 1,389 kWh/kWp/Year ซึ่งต่ำกว่าระบบ On-grid ที่ 1,445 kWh/kWp/Year ประมาณ 56 kWh/kWp/Year อัตราส่วนประสิทธิภาพ (Performance Ratio) ของระบบ Off-grid อยู่ที่ 80.95% ซึ่งต่ำกว่าระบบ On-grid ประมาณ 3.24% ความแตกต่างนี้เกิดจากการสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ที่สูงกว่า เนื่องจากอัตราส่วน DC:AC ที่สูง เมื่อพิจารณารายเดือนพบว่า ระบบ Off-grid มีการผลิตพลังงานสูงสุดในเดือนมีนาคม (43,302 kWh) และต่ำสุดในเดือนกันยายน (33,415 kWh) แสดงรูปแบบความแปรปรวนตามฤดูกาลที่คล้ายคลึงกับระบบ On-grid การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงของระบบ Off-grid แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่ม และสิ้นสุดการผลิตในช่วงเวลาเดียวกับระบบ On-grid (06:00-18:00 น.) แต่มีการผลิตสูงสุดถึง 165 kW ในช่วง 12:00 น. ซึ่งสูงกว่าระบบ On-grid มากกว่า 2 เท่า สอดคล้องกับขนาดของระบบที่ใหญ่กว่า การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบ Off-grid พบว่ามีการสูญเสียหลักจากอุณหภูมิ 8.56% เช่นเดียวกับระบบ On-grid การไม่ตรงกันของแผง 2.10% การสูญเสียจากสายไฟ DC 0.98% และการสูญเสียจากระดับการแผ่รังสี 0.72% แต่การสูญเสียจากอินเวอร์เตอร์สูงถึง 6.63% ซึ่งสูงกว่าระบบ On-grid อย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินกำลังของอินเวอร์เตอร์ 4.43% ส่งผลให้พลังงานนามธรรมของแผง 552,196 kWh ถูกแปลงเป็นพลังงานที่จุด MPP 489,612 kWh และส่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบได้ 457,593 kWh

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบทั้งสาม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบทั้งสามแสดงให้เห็นความแตกต่างที่น่าสนใจ ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีประสิทธิภาพสูงสุดในแง่ของ Performance Ratio (84.19%) ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ (81.39%) และระบบ Off-grid (80.95%) ความแตกต่างนี้เกิดจากอัตราส่วน DC : AC ที่แตกต่างกัน โดยระบบที่มีอัตราส่วนต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีประสิทธิภาพสูงสุด 315.3 kWh/m²/Year ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ 304.7 kWh/m²/Year และระบบ Off-grid 303.3 kWh/m²/Year การสูญเสียในอินเวอร์เตอร์แสดงความแตกต่างที่ชัดเจน โดยระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีการสูญเสียต่ำสุด 2.79% ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ 6.11% และระบบ Off-grid สูงสุด 6.63% สาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินกำลังของอินเวอร์เตอร์เมื่ออัตราส่วน DC : AC สูงเกินไป อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการผลิตพลังงานรวม ระบบ Off-grid ให้ผลผลิตสูงสุด 457,593 kWh/Year ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดม 383,381 kWh/Year และระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน 206,209 kWh/Year

5. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ และผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการออกแบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) ซึ่งการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบจะขึ้นกับราคาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้กับการติดตั้ง และการเลือกใช้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพสูง ทำให้ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันอยู่ในเกณฑ์สูง ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนของระบบการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น โดยคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท ใช้อัตราคิดลดที่ 5% และความเป็นไปได้ของโครงการที่ดีที่สุดในระยะเวลา 25 ปี

ตารางที่ 4

วิเคราะห์การลงทุนการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการ	พลังงานที่ผลิตได้ (kWh/Year)	พลังงานที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม (kWh/Year)	พลังงานที่เก็บในแบตเตอรี่ (kWh)	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท)	กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี (บาท)
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารสำนักงาน On-grid	206,209	244,791	-	6,943,955	1,031,045
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมอเนกประสงค์ On-grid	383,381	67,619	-	11,338,095	1,916,905
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมอเนกประสงค์ Off-grid	457,593	-	1,250	22,060,000	2,287,965

หมายเหตุ : ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สืบราคาจากงานราชการ ราคาหน่วยละ 40,000 บาท ต่อ 1 KWp และราคาแบตเตอรี่ 1 Wh เท่ากับราคา 10 Baht โดยเก็บไว้ใช้สำรองระยะเวลา 1 วัน

จากตารางที่ 4 สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างระบบ On-grid และ Off-grid ในหลายมิติ ระบบ On-grid ที่ติดตั้งในอาคารสำนักงานมีความสามารถในการผลิตพลังงาน 206,209 kWh/Year ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่อาคารใช้จริงจากการไฟฟ้า 451,000 kWh/Year พบว่า ระบบสามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ประมาณ 45.72% แต่ยังต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายอีก 244,791 kWh/Year ส่วนระบบ On-grid ที่ติดตั้งในอาคารโดมอเนกประสงค์มีความสามารถในการผลิตพลังงาน 383,381 kWh/Year ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่อาคารใช้จริง พบว่า ระบบสามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ประมาณ 85.01% ยังต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายอีก 67,619 kWh/Year ระบบ ซึ่งถือเป็นอัตราที่น่าประทับใจและแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่แท้จริงของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในบริบทของประเทศไทย ในทางตรงกันข้าม ระบบ Off-grid ที่ติดตั้งในอาคารโดมอเนกประสงค์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการผลิตพลังงานที่สูงมาก คือ 457,593 kWh/Year การลงทุนเริ่มต้นสำหรับระบบ On-grid ที่ติดตั้งในอาคารสำนักงาน อยู่ที่ 6,943,955 บาท (คิดรวมการใช้ไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายด้วย) และที่ติดตั้งในอาคารโดมอเนกประสงค์ อยู่ที่ 11,338,095 บาท (คิดรวมการใช้ไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายด้วย) เมื่อเทียบกับ 22,060,000 บาท (คิดรวมค่าแบตเตอรี่ด้วย) สำหรับระบบ Off-grid แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่สำคัญ ผลประโยชน์ที่ได้รับ ระบบ On-grid มีค่าเท่ากับ 1,031,045 บาทต่อปี และ 1,916,905 บาทต่อปี ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ 2,287,965 บาท สำหรับระบบ Off-grid ความแตกต่างนี้เกิดจากความซับซ้อนของระบบ Off-grid ที่ต้องการแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ 1,250 Kwh ซึ่งต้องมีการบำรุงรักษา เปลี่ยนถ่าย และจัดการอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 5

ผลตอบแทนการลงทุนการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการ	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) (%)	ระยะเวลาคืนทุน (PB) (ปี)
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารสำนักงาน On-grid	7,587,536.08	8.88	8.6
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมอเนกประสงค์ On-grid	15,678,657.81	10.99	7.3
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมอเนกประสงค์ Off-grid	10,186,451.88	4.30	13.6

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 5 สำหรับระบบ On-grid ในอาคารสำนักงาน การลงทุน 3 ประการ คือ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน คำนวณหาระยะเวลาคืนทุนโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel พบว่าระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 6 เดือน จากผลการวิเคราะห์ด้านการเงินข้างต้นมาวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยใช้อัตราส่วนลด 5% พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุมีค่าเท่ากับ 7,587,536.08 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงว่า ยอมรับโครงการ ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ด้านการเงินข้างต้นนำมาวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนลดค่า (IRR) พบว่า ค่า IRR ตลอดโครงการมีค่าเท่ากับ 8.88% สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ พบว่าระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุมีค่าเท่ากับ 15,678,657.81 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงว่ายอมรับโครงการ ส่วนอัตราผลตอบแทนลดค่า (IRR) พบว่าค่า IRR ตลอดโครงการมีค่าเท่ากับ 10.99% และสำหรับระบบ Off-grid มีการลงทุนเริ่มต้นที่ 22,060,000 บาท (คิดรวมค่าแบตเตอรี่ด้วย) พบว่า ระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 6 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุมีค่าเท่ากับ 10,186,451.88 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกแสดงว่ายอมรับโครงการ การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนลดค่า (IRR) พบว่า ค่า IRR ตลอดโครงการมีค่าเท่ากับ 4.30%

6. การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e)

การคำนวณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) เพื่อประเมินผลการประหยัดพลังงานจากแบบจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) โดยใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Emission Factor) สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เริ่มบังคับใช้ 1 มกราคม 2566 มีค่าเท่ากับ 0.5986 $kgCO_2e/kWh$ (ทินกร เชื้อวงศ์, ศุภรัชชัย วรรัตน์, และประยุทธ์ อุทธิเดช, 2567) จากตารางที่ 6 ผลการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ที่ได้จะแสดงค่าที่ได้เป็นรายมาตรการที่สามารถดำเนินการได้จริง โดยพิจารณาจากการลงทุนตลอดโครงการ 25 ปี

ตารางที่ 6

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี

มาตรการ	การประหยัดพลังงาน (kWh/Year)	การลด CO_2 รายปี		การลด CO_2 ตลอดอายุโครงการ 25 ปี	
		$CO_{2Emission}$ ($kgCO_2e/year$)	$CO_{2Emission}$ ($tCO_2e/year$)	$CO_{2Emission}$ ($kgCO_2e$)	$CO_{2Emission}$ (tCO_2e)
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารสำนักงาน On-grid	206,209	123,436.70	123.43	3,085,917.50	3,085.91
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมอเนกประสงค์ On-grid	383,381	229,491.86	229.49	5,737,296.66	5,737.29
จำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารโดมอเนกประสงค์ Off-grid	457,593	273,915.17	273.91	6,847,879.25	6,847.87

ตารางที่ 6 นำเสนอข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินมาตรการผลิตพลังงานทดแทน โดยแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง 3 ระบบ สำหรับระบบ On-grid เป็นการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารสำนักงาน และอาคารโดมอเนกประสงค์ในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนาโดยตรง ผลการศึกษาพบว่าอาคารสำนักงานระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 206,209 kWh/Year สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 123,436.70 $kgCO_2e/year$ หรือคิดเป็น 123.43 $tCO_2e/year$ เมื่อคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวม 3,085,917.50 $kgCO_2e/year$ หรือ 3,085.91 tCO_2e อาคารโดมอเนกประสงค์ระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 383,381 kWh/Year สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 229,491.86 $kgCO_2e/year$ หรือคิดเป็น 229.49 $tCO_2e/year$ เมื่อคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวม

5,737,296.66 $kgCO_2e$/year หรือ 5,737.29 tCO_2e และสำหรับระบบ Off-grid เป็นการขยายพื้นที่ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าออกไปนอกตัวอาคารหลัก โดยใช้หลังคาโดมอเนกประสงค์ ผลการศึกษาพบว่า ระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 457,593 kWh/Year ซึ่งมากกว่าระบบ On-grid สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 273,915.17 $kgCO_2e$/year หรือคิดเป็น 273.91 tCO_2e/year เมื่อคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวม 6,847,879.25 $kgCO_2e$/year หรือ 6,847.87 tCO_2e ระบบนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สูงกว่าในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากสามารถใช้พื้นที่ได้มากกว่า และไม่ถูกจำกัดด้วยขนาดหลังคาของอาคารหลักเพียงอย่างเดียว ทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา ได้ดำเนินการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ และระบบ Off-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 7.3.1 ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานใช้แผงโซลาร์เซลล์ Jinkosolar รุ่น JKM-610N-78HL4-BDV กำลัง 610 Wp จำนวน 234 แผง ให้กำลังการผลิตรวม 143 kWp สามารถผลิตพลังงานได้ 206,209 kWh/Year การผลิตจำเพาะ 1,445 kWh/kWp/Year และ Performance Ratio 84.19% สามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ 45.72% ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดเดียวกัน จำนวน 450 แผง ให้กำลังการผลิตรวม 275 kWp สามารถผลิตพลังงานได้ 383,381 kWh/Year การผลิตจำเพาะ 1,397 kWh/kWp/Year และ Performance Ratio 81.39% สามารถลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้ 85.01% ส่วนระบบ Off-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ใช้แผงโซลาร์เซลล์ 540 แผง ให้กำลังการผลิตรวม 329 kWp สามารถผลิตพลังงานได้ 457,593 kWh/Year การผลิตจำเพาะ 1,389 kWh/kWp/Year และ Performance Ratio 80.95%

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างแต่ละระบบ ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 6,943,955 บาท ระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 6 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 7,587,536.08 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 8.88% ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 11,338,095 บาท ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน NPV 15,678,657.81 บาท และ IRR 10.99% ขณะที่ระบบ Off-grid มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 22,060,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 6 เดือน NPV 10,186,451.88 บาท และ IRR 4.30%

ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 123.43 tCO_2e/Year และตลอดอายุโครงการ 25 ปี ลดได้ 3,085.91 tCO_2e/Year ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ลดการปล่อยก๊าซได้ 229.49 tCO_2e/Year และตลอดอายุโครงการลดได้ 5,737.29 tCO_2e/Year ส่วนระบบ Off-grid ลดการปล่อยก๊าซได้สูงสุดที่ 273.91 tCO_2e/Year และตลอดอายุโครงการลดได้ 6,847.87 tCO_2e/Year ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบ On-grid มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงกว่า แต่ระบบ Off-grid มีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกสูงกว่า ทั้งสามระบบมีส่วนสำคัญในการสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของเทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

การอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงานมีประสิทธิภาพสูงสุดในแง่ของ Performance Ratio (84.19%) และการผลิตจำเพาะ (1,445 kWh/kWp/Year) ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ (81.39% และ 1,397 kWh/kWp/Year) และระบบ Off-grid (80.95% และ 1,389 kWh/kWp/Year) ความแตกต่างนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (วิรัตน์ พิจิตกุญชร และกีรติ ชยะกุลศิริ, 2561) ที่พบว่า การออกแบบระบบที่เหมาะสมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน โดยในการศึกษานี้ระบบที่มีอัตราส่วน DC : AC ที่เหมาะสม (1.43 สำหรับอาคารสำนักงาน) มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่มีอัตราส่วนสูงเกินไป (1.647 สำหรับระบบ Off-grid)

2. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์มีความคุ้มค่าสูงสุด โดยมี IRR 10.99% และระยะเวลาคืนทุนเพียง 7 ปี 3 เดือน ตามด้วยระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน (IRR 8.88%, ระยะเวลาคืนทุน 8 ปี 6 เดือน) และระบบ Off-grid (IRR 4.30%, ระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 6 เดือน) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (สุรกิจ ทองสุก และอรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล, 2561) ที่ระบุว่า การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาสองปัจจัยหลัก คือ ต้นทุนในการติดตั้ง และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

อย่างไรก็ตาม ทั้งสามระบบมี NPV เป็นบวก แสดงว่า ทุกโครงการมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ โดยระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์มี NPV สูงสุด (15,678,657.81 บาท) เนื่องจากผลตอบแทนรวมที่สูง และระยะเวลาคืนทุนที่สั้น

3. การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สำคัญของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในการสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน โดยระบบ Off-grid มีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกสูงสุด (273.91 tCO_2e/Year) รองลงมาคือระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ (229.49 tCO_2e/Year) และระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน (123.43 tCO_2e/Year) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 7 (พลังงานสะอาด) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) ตามที่ (ชิสา กันยาวิริยะ และสิรินทร์ กันยาวิริยะ, 2567) ได้กล่าวไว้

4. จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่า ระบบ On-grid สำหรับอาคารโดมอเนกประสงค์ เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในแง่ของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีการลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายได้สูง และมีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง แต่ระบบ On-grid สำหรับอาคารสำนักงาน เหมาะสำหรับการเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากมีความเสี่ยงต่ำ และประสิทธิภาพสูง สำหรับระบบ Off-grid เหมาะสำหรับองค์กรที่ต้องการความมั่นคงทางพลังงาน มีเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกสูง และมีทุนในการลงทุนเริ่มต้นสูง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเริ่มดำเนินการติดตั้งในอาคารสำนักงานเป็นลำดับแรก เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงแต่มีความเสี่ยงต่ำ โดยมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 8 ปี 6 เดือน และอัตราผลตอบแทนภายในที่ 8.88% ซึ่งถือเป็นการลงทุนที่น่าสนใจสำหรับหน่วยงานภาครัฐ

2. ควรพิจารณาการขยายระบบไปยังอาคารอื่น ๆ ในเทศบาลที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกัน เช่น อาคารที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางวันสูง อาคารที่มีพื้นที่หลังคาเหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ และอาคารที่มีโครงสร้างแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักของระบบ

3. ควรศึกษาเทคโนโลยีการจัดเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และต้นทุนต่ำกว่าเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะการติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน และแบตเตอรี่เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่อาจมีราคาถูกลง และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

4. ควรศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีแผงโซลาร์เซลล์รุ่นใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว การศึกษาควรครอบคลุมถึงความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

5. ควรพัฒนาแบบจำลองการคาดการณ์ผลตอบแทนที่มีความแม่นยำสูงขึ้น โดยการรวมปัจจัยต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงราคาพลังงาน การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี และนโยบายภาครัฐ

เอกสารอ้างอิง

ชิสา กันยาวิริยะ, และสิรินทร์ กันยาวิริยะ. (2567). การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนด้วยหลักทุทธธรรม. *วารสารสถาบันพอดี*, *1*(7), 7-26.

ณัฐหทัย จุมรี, วรพจน์ มีณ, ณฤทธิ์ศักดิ์ ต้นสิทิพย์วรรณ, และชาติชาย อัศตรศักดิ์. (2567). *การศึกษาระยะเวลาคืนทุนของระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จำกัดกรณีศึกษาอาคารเรียนระดับอาชีวศึกษา*. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรม ครั้งที่ 15. (น. 82-87).

พินกร เชื้อวงศ์, ศุภรัชชัย วรวัฒน์, และประยุทธ์ อุทธิเดช. (2567). การปรับปรุงพลังงานของกรอบอาคารในอาคารสำนักงานภาครัฐโดยใช้แบบจำลองพลังงาน: กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลเมืองบางแม่นาง. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *18*(2), 92-106.

บัญชา งามชื่น. (2562). *การวิเคราะห์ความพร้อมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคาขนาดใหญ่ 1 เมกะวัตต์* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี]. http://www.repository.rmutt.ac.th/xmlui/handle/123456789/3722

พัชรินทร์ อินทมาส, มณีรัตน์ ชัยสกุลนิยม, พเนตร์ สุขสิงห์, วีระพงษ์ บุญรักษา และพรหมพักตร์ บุญรักษา. (2565). การวิเคราะห์เชิงเทคนิคและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาระดับครัวเรือน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสินทร์*, *4*(3), 47-56.

วิรัตน์ พิชิตกุญชร, และกีรติ ชยะกุลศิริ. (2561). การออกแบบ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารกองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, *29*(1), 25-36.

สุรกิจ ทองสุก, และอรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพ และความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, *10*(19), 157-169.

อิทธิเดช ภู่นันทพงษ์. (2562). *การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย* [สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/70142

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายเอกนัด กองรัมย์
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี หลักสูตรวิศวกรรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถานที่ทำงาน	เทศบาลเมืองบางรักพัฒนา

