



บทความวิจัย

การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ในมุมมอง ของผู้ใช้งาน กรณีศึกษาบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

อินทวดี จันทร์ทักษิณภาส

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ทศพร อัครรังษี

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์*

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 0445 5415 อีเมล: kanokporn.s@cit.kmutnb.ac.th

DOI: 10.14416/j.bid.2025.04.002

รับเมื่อ 15 มกราคม 2568 แก้ไขเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2568 ตอบรับเมื่อ 30 มีนาคม 2568 เผยแพร่ออนไลน์ 29 เมษายน 2568

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีความสนใจในการใช้พลังงานทางเลือกเพิ่มขึ้น รวมถึงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเรือน อย่างไรก็ตามข้อมูลทางเทคนิคที่มาจากมุมมองของผู้ผลิตและผู้ติดตั้งมักซับซ้อน ทำให้ผู้ใช้งานยากที่จะเข้าใจและตัดสินใจ นอกจากนี้ หลักเกณฑ์หลายอย่างยังส่งผลกระทบต่อตัดสินใจที่แตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพและภูมิศาสตร์ของอาคารบ้านเรือน งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการรวบรวมและวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินและการคัดเลือกระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา โดยเน้นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้งาน โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเป็นบ้านในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ 12 ปัจจัย นำมาจัดลำดับโดยผู้เชี่ยวชาญด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเฉลี่ย (ROC) ทำการคัดเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด โดยใช้เทคนิคการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (TOPSIS) ผลการวิจัยพบว่าเกณฑ์สำคัญสามลำดับแรกและค่าน้ำหนักได้แก่ กำลังวัตต์ต่อแผง (0.2586) ข้อมูลด้านต้นทุน (0.1753) และอายุการใช้งาน (0.1336) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ใช้งานโดยทั่วไป ถึงการพิจารณาให้ความสำคัญกับเกณฑ์ในด้านประสิทธิภาพ ด้านความคุ้มค่าในการลงทุน และด้านอายุการใช้งานตามลำดับ ผลการเลือกพบว่ารูปแบบที่ 1 โซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีความเหมาะสมที่สุด ผลการศึกษานี้ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจสำหรับผู้สนใจทั่วไป ทำให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น และมั่นใจในการตัดสินใจ โดยสามารถประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจประเมินและคัดเลือก โดยพิจารณาเกณฑ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ และทำการปรับค่าน้ำหนักเพื่อประเมินทางเลือกที่มีตามพื้นที่ที่นำไปประยุกต์ใช้งาน

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา บ้านในเขตเมือง การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ วิธีการจัดลำดับตำแหน่งเฉลี่ย (ROC) เทคนิคการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (TOPSIS)

การอ้างอิงบทความ: อินทวดี จันทร์ทักษิณภาส ทศพร อัครรังษี และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์. (2568). การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในมุมมองของผู้ใช้งานกรณีศึกษาบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วารสารพัฒนารัฐกิจและอุตสาหกรรม, 5(1), 14-32.



Research Article

Evaluation of Rooftop Solar Photovoltaic Systems from the User's Perspective: A Case Study of Homes in Bangkok and Surrounding Areas

Inthawadee Chantaksinopas

Department of Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.

Tossaporn Assawarungsri

Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.

Kanokporn Sripathomswat*

Department of Industrial Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.

*Corresponding Author, Tel. 08 0445 5415, E-mail: kanokporn.s@cit.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.bid.2025.04.002

Received 15 January 2025; Revised 26 February 2025; Accepted 30 March 2025; Published online: 29 April 2025

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Currently, there is increasing interest in alternative energy sources, including the installation of rooftop solar photovoltaic systems in homes. However, the technical information provided from the perspective of manufacturers and installers is often complex, making it difficult for users to understand and make decisions. Additionally, various criteria affect decisions differently based on the physical and geographical characteristics of homes. This research aims to collect and analyze factors related to the evaluation and selection of rooftop solar photovoltaic systems, focusing on factors that directly impact users. The scope of the study is defined for homes in Bangkok and its surrounding areas, analyzing 12 factors that influence decision-making. They were ranked by experts using ROC. The best alternative was selected using TOPSIS. The results revealed that the three most important criteria and weight were: panel wattage (0.2586), cost (0.1753), and lifespan (0.1336). These findings align with general user preferences, prioritizing system efficiency, cost-effectiveness, and durability. The result showed the best is the first type, which is solar PV monocrystalline. The study provides a decision-making framework for users, enabling them to make more confident choices. This can be adapted to evaluating, selecting, and adjusting the weight assigned to each factor based on the specific application.

Keywords: Solar Rooftop Photovoltaic, Urban Residential Buildings, Multi-Criteria Decision-Making Analysis, Rank Order Centroid (ROC), Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Please cite this article: Chantaksinopas, I., Assawarungsri, T., & Sripathomswat, K. (2025). Evaluation of Rooftop Solar Photovoltaic Systems from the User's Perspective: A Case Study of Homes in Bangkok and Surrounding Areas. *Journal of Business and Industrial Development*, 5(1), 14-32.



1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของทุกคน โดยแนวโน้มความต้องการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาคครัวเรือน ในขณะเดียวกัน ปัญหาภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้นทำให้ผู้คนหันมาให้ความสำคัญกับพลังงานทางเลือกมากขึ้น เช่น พลังงานไฟฟ้าจากน้ำ พลังงานไฟฟ้าจากลม และพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเหล่านี้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยรักษาทรัพยากรธรรมชาติ

พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในประเทศไทยและอินเดียซึ่งเป็นผู้นำด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในภูมิภาคเอเชีย [1] การพัฒนาเทคโนโลยีในด้านนี้ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ลดลง ส่งผลให้ผู้ใช้ไฟฟ้าครัวเรือนสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้มากขึ้น ในประเทศไทยเองก็มีการนำเทคโนโลยีด้านพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน อาทิ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นอกจากนี้กระทรวงพลังงานยังได้เตรียมแผนรองรับเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ตามนโยบายรัฐบาล เพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียน ดังปรากฏในแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558–2579 (Energy Efficiency Plan: EEP2015) พระราชบัญญัติอนุรักษ์พลังงาน (Energy Intensity: EI) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Thailand Power Development Plan: PDP) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) และพระราชบัญญัติประกอบกิจการพลังงาน ปี พ.ศ. 2550 [2]

แม้ว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะมีข้อดีมากมาย แต่การตัดสินใจเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านยังคงเป็นเรื่องที่ซับซ้อน เนื่องจากข้อมูลทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง [3] การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การรวบรวมและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินและการคัดเลือกระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา โดยเน้นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้งานในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ ใช้วิธีการจัดลำดับตำแหน่งเฉลี่ย (Rank Order Centroid: ROC) ในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจโดยผู้เชี่ยวชาญ ประยุกต์ใช้เทคนิคการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS) เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนในการเลือกใช้เทคโนโลยีนี้สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าครัวเรือน

1.1 วัตถุประสงค์

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกณฑ์ในการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา และเพื่อประเมินระบบดังกล่าวในมุมมองของผู้ใช้ไฟฟ้า กำหนดขอบเขตสำหรับบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล บ้านกรณีศึกษาที่มีพื้นที่ 50 ตารางวา มีพื้นที่หลังคา 172 ตารางเมตร และมีขนาดระบบ 7,000 วัตต์

1.2 การทบทวนวรรณกรรม

1.2.1 วิธีการจัดลำดับตำแหน่งเฉลี่ย (Rank Order Centroid: ROC)

เป็นหนึ่งในวิธีกำหนดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษาเพื่อตีความน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ให้เป็นน้ำหนักเชิงตัวเลข หรืออีกนัยหนึ่งเป็นวิธีการเปลี่ยนค่าจากข้อมูลอันดับ (ordinal data) ไปเป็นค่าน้ำหนัก วิธีการนี้เหมาะกับการให้น้ำหนักความสำคัญเมื่อต้องมีการพิจารณาหลายเกณฑ์ ตั้งแต่ 5 เกณฑ์ขึ้นไป [4] มีความสะดวกในการใช้งานเพราะผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดลำดับความสำคัญลงไปได้โดยตรง ในงานวิจัยของ [5] และ [6] ที่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำหนักตามลำดับความสำคัญสำหรับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ ต่างพบว่าวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเฉลี่ยมีความแม่นยำ น่าเชื่อถือ อีกทั้งยังสอดคล้องกับความคิดของผู้มีตัดสินใจอย่างเที่ยงตรงอีกด้วย การพิจารณาให้น้ำหนัก (w_j) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$w_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{r_j} \quad (1)$$

โดยที่ n หมายถึง จำนวนของเกณฑ์ที่พิจารณาทั้งหมด และ r_j หมายถึง ลำดับความสำคัญของเกณฑ์ j โดยลำดับที่ 1 คือ เกณฑ์ที่มีความสำคัญมากที่สุด การให้ความสำคัญของเกณฑ์ดำเนินการโดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญทางด้านติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปี

1.2.2. เทคนิคการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS)

TOPSIS เป็นหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อหาวิธีทางเลือกที่ดีที่สุด ถูกพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยในการตัดสินใจเลือกแบบหลายหลักเกณฑ์ โดย Hwang and Yoon ในปี 1981 [7] หลักการของวิธี TOPSIS คือ การพยายามหาทางเลือกที่มีสมรรถนะโดยรวมใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดในแต่ละเกณฑ์ รวมทั้งห่างไกลจากค่าที่แย่ที่สุดในแต่ละเกณฑ์เช่นกัน โดยการประยุกต์ใช้ TOPSIS นั้น ผู้วิเคราะห์ต้องทำให้การให้น้ำหนักความสำคัญกับเกณฑ์ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ TOPSIS เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดลำดับของทางเลือกโดยอาศัยข้อมูลการประเมินผลของแต่ละทางเลือกบนเกณฑ์ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ TOPSIS ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย [8] ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของ TOPSIS เป็นไปตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์ สำหรับการตัดสินใจกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0-1 โดยเมื่อรวมค่าถ่วงน้ำหนักของทุกข้อมูลแล้ว ต้องมีค่าเท่ากับ 1 ดังสมการที่ (2)

$$G = \begin{matrix} & \text{Attributes } (B_j) \\ \text{Alternative } (A_i) & B_1 & B_2 & \dots & B_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{12} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$



โดย $i = 1, 2, \dots, m$ และ $j = 1, 2, \dots, n$ ให้ A_i เป็นทางเลือก และ B_j เป็นเกณฑ์ตัดสินใจ มีค่าของ b_{ij} แทนข้อมูลเบื้องต้นของทางเลือก i ภายใต้เกณฑ์ j

ขั้นตอนที่ 2 ปรับข้อมูลของแต่ละเกณฑ์ให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน (Normalized) ด้วยวิธีการแบบเวกเตอร์ ให้เป็นรูปแบบเดียวกัน ให้ได้เมทริกซ์ r ด้วยสมการที่ (3)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 3 จากผลลัพธ์ของสมการที่ (2) ทำการคูณค่าน้ำหนักกับค่าคะแนนของข้อมูลในแต่ละเกณฑ์ เพื่อให้ได้ค่า V_{ij} จากสมการที่ (4)

$$V_{ij} = W_i r_{ij} \quad (4)$$

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าเชิงอุดมคติในเชิงบวก (Positive Ideal, A^+) และเชิงลบ (Negative Ideal, A^-) ในที่นี้ A^+ คือค่าที่ดีที่สุดในแต่ละเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบทางเลือกทั้งหมดที่มีอยู่ และ A^- คือค่าที่แย่ที่สุดในแต่ละเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบทางเลือกทั้งหมดที่มีอยู่

ค่าเชิงอุดมคติในเชิงบวก (Positive Ideal, A^+) ดังสมการที่ (5)

$$A^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (5)$$

ค่าเชิงอุดมคติในเชิงลบ (Negative Ideal, A^-) ดังสมการที่ (6)

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 5 หาระยะห่างของค่าคะแนนเชิงตัวเลขของแต่ละเกณฑ์โดยแยกคำนวณออกเป็นแนวคิดเชิงบวก และแนวคิดเชิงลบจากสมการที่ (7) และ (8)

แนวคิดเชิงบวก

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (7)$$

แนวคิดเชิงลบ

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

โดยที่

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

S_i^+ ระยะห่างของแต่ละเกณฑ์เมื่อเทียบกับค่าเชิงอุดมคติในเชิงบวก

S_i^- ระยะห่างของแต่ละเกณฑ์เมื่อเทียบกับค่าเชิงอุดมคติในเชิงลบ

v_j^+ ค่าน้ำหนักที่เป็นค่าปกติที่มีค่ามากที่สุดของทางเลือก i ภายใต้เกณฑ์ j

v_j^- ค่าน้ำหนักที่เป็นค่าปกติที่มีค่าน้อยที่สุดของทางเลือก i ภายใต้เกณฑ์ j

ขั้นตอนที่ 6 หาความสัมพันธ์ในเชิงเข้าใกล้แนวคิดเชิงบวก จากสมการที่ (9)

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (9)$$

โดยที่

$$i = 1, 2, \dots, m$$

C_i^+ ค่าที่ปรับให้เป็นค่าเชิงบวก

$$S_i^- \geq 0, S_i^+ \geq 0, C_i^+ \in [0, 1]$$

ขั้นตอนที่ 7 จากนั้นจัดลำดับค่าคะแนนเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุดโดยเลือกระยะที่ใกล้ที่สุดของทางเลือกในแนวคิดที่เป็นเชิงบวกและเลือกระยะไกลที่สุดของทางเลือกในแนวคิดที่เป็นเชิงลบ

1.2.3 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

แผงโซลาร์เซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์ [9] เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เซลล์ขนาดเล็ก ซึ่งถูกบรรจุไว้ในวัสดุป้องกันที่ผสมผสานระหว่างแก้วและพลาสติกเพื่อให้คงทนต่อสภาพอากาศและสามารถอยู่กลางแจ้งได้เป็นระยะเวลายาวนาน เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกเชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่เพื่อสร้างเป็นแผงโซลาร์เซลล์ และนำมาเชื่อมต่อกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยระบบจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนพื้นที่ว่างบนหลังคาอาคาร หรือที่ฟาร์มอสังหาริมทรัพย์เพื่อทำหน้าที่รับรังสีจากดวงอาทิตย์และแปรเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่งต่อไปให้แก่อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปเป็นพลังงานให้แก่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านและอาคาร เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ภายในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film) และเซลล์แสงอาทิตย์แบบคริสตัลไลน์ (Crystalline) ประเภทนี้ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เซลล์ที่ทำจากซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) และเซลล์ที่ทำจากซิลิคอนผลึกรวม (Polycrystalline)

2. วิธีกรวิจัย

2.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจและน้ำหนักของเกณฑ์

ในขั้นตอนการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีความกังวลเกี่ยวกับการใช้กลุ่มตัวอย่างจากผู้ใช้งานจริง เนื่องจากได้ทดลองกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงจำนวน 5 ท่าน พบว่าข้อมูลจากผู้ใช้งานมีความหลากหลายและไม่สม่ำเสมอ ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปได้ยาก ประกอบกับผู้ใช้งานไม่สามารถให้ข้อมูลทางการเงินหรือการวิเคราะห์ความคุ้มค่าได้อย่างแม่นยำ และไม่มีความรู้ในเชิงเปรียบเทียบ จึงได้ใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน โดยพบข้อดีของการใช้ผู้เชี่ยวชาญคือ มีข้อได้เปรียบในด้านความรู้เชิงลึกและประสบการณ์ โดยวิศวกรที่มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปีมีความเข้าใจเกี่ยวกับระบบโซลาร์เซลล์ทั้งในแง่เทคนิคและการปฏิบัติ สามารถให้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและละเอียดสูง สามารถประเมินขนาดและความต้องการพลังงานของระบบได้อย่างแม่นยำ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดบ้าน ทิศทางของหลังคา และอัตราการใช้งานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การผสมผสานข้อมูลจากทั้งวิศวกรผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจริงจะทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและเชื่อถือได้มากที่สุด



ผู้วิจัยทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ จากงานวิจัย [9-15] หลังจากนั้นได้ให้วิศวกรผู้เชี่ยวชาญทางด้านการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปีจำนวน 3 ท่าน ประเมินและให้คำแนะนำเกณฑ์เพิ่มเติม และจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ โดยได้ค่าเฉลี่ยลำดับความสำคัญในการเปรียบเทียบเกณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยลำดับความสำคัญในการเปรียบเทียบปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

เกณฑ์	งานวิจัยอ้างอิง	การให้น้ำหนักความสำคัญ			ค่าเฉลี่ย	อันดับ
		ผู้เชี่ยวชาญ 1	ผู้เชี่ยวชาญ 2	ผู้เชี่ยวชาญ 3		
1. กำลังวัตต์ต่อแผง	ผู้เชี่ยวชาญเพิ่มเติมเกณฑ์	12	12	12	12.00	1
2. ข้อมูลด้านต้นทุน	[9] [10] [11] [12] [13] [14] [15]	11	11	11	11.00	2
3. อายุการใช้งาน	[10] [13] [14] [15]	10	10	9	9.67	3
4. ระยะเวลาคืนทุน	[10] [13]	9	9	10	9.33	4
5. วัสดุของหลังคา	ผู้เชี่ยวชาญเพิ่มเติมเกณฑ์	8	8	11	9.00	5
6. ความเข้มแสง	[9] [10] [11] [13] [15]	7	8	7	7.33	6
7. อุณหภูมิ	[9] [11] [12] [13] [14]	6	7	6	6.33	7
8. พื้นที่ในการติดตั้ง	[9] [10] [11] [12] [13] [15]	5	6	5	5.33	8
9. ความแข็งแรงของหลังคา	[12]	4	4	4	4.00	9
10. ตำแหน่งในการติดตั้ง	[10] [11] [12] [13] [15]	3	3	3	2.67	10
11. ลักษณะการติดตั้ง	[10] [12]	2	2	2	2.00	11
12. เงาบังแสง	[10] [12]	1	1	1	1.00	12

และเมื่อทำการจัดลำดับตำแหน่งเฉลี่ย (ROC) ตามสมการที่ (1) ได้ผลการให้น้ำหนักความสำคัญแสดงดังตารางที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณหาตำแหน่งน้ำหนักปัจจัยหลักด้วยวิธี ROC (Rank order centroid) จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณได้ดังนี้ คำนวณน้ำหนักของเกณฑ์ปัจจัยอันดับที่ 1 (กำลังวัตต์ต่อแผง) $= \frac{1}{12} \times (\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{12}) = 0.2586$

นิยามของเกณฑ์เริ่มจากเกณฑ์เชิงปริมาณ ได้แก่ กำลังวัตต์ต่อแผง ข้อมูลด้านต้นทุน อายุการใช้งาน ระยะคืนทุน และพื้นที่ในการติดตั้ง และเกณฑ์เชิงคุณภาพ ได้แก่ วัสดุของหลังคา ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความแข็งแรงของหลังคา ตำแหน่งในการติดตั้ง ลักษณะการติดตั้ง และเงาบังแสง โดยเกณฑ์เชิงปริมาณเป็นเกณฑ์ที่สามารถวัดค่าได้โดยง่าย จะใช้การวัดและเปรียบเทียบค่าโดยตรง ส่วนเกณฑ์เชิงคุณภาพ เป็นเกณฑ์ที่มีความยากในการวัดหรือต้องใช้เครื่องมือพิเศษ ในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นการประเมินจากนิยามของเกณฑ์ ดังนี้

เกณฑ์เชิงปริมาณ

1) กำลังวัตต์ต่อแผง หมายถึงกำลังการผลิตไฟฟ้าที่แต่ละรูปแบบสามารถผลิตได้ต่อหนึ่งแผง กำลังวัตต์มากกว่า 400 วัตต์ต่อแผง มีคะแนนประเมินสูงสุด

2) ข้อมูลด้านต้นทุน จำแนกต้นทุน ออก 2 ประเภท คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) เป็นค่าใช้จ่ายเริ่มแรกหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุน ประกอบด้วยค่าแผงเซลล์ ค่าติดตั้งแผงเซลล์ ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ค่าชุดสายไฟ ค่าแรงงานการดูแลรักษาแผงเซลล์ ค่าผู้ดูแลระบบควบคุมระบบ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Cost) เป็นต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย ค่าแรงงานทาง (Direct Labor) ในที่นี้คือ ค่าแรงของวิศวกรผู้ดูแลระบบ และค่าใช้จ่ายในการผลิต ในที่นี้คือ ค่าไฟฟ้าและค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาระบบเป็นต้น ต้นทุนการดำเนินการจะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของการดำเนินการ โดยกำหนดเป็นรายปี ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นการคิดค่าผลตอบแทนภายใน (IRR)

3) อายุการใช้งาน ประสิทธิภาพของแผงเซลล์จะลดลงตามอายุการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วจะลดลงร้อยละ 0.5 ต่อปี ผู้ผลิตแผงเซลล์ จึงมักเสนอการรับประกัน การจ่ายพลังงานสูงกว่าร้อยละ 80 หลังจาก 25 ปีของการติดตั้ง จึงถือว่าอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี มีคะแนนประเมินสูงสุด

4) ระยะเวลาคืนทุน เป็นการวัดช่วงระยะเวลาที่กิจการจะได้รับผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ในรูปของเงินสดคุ้มกับเงินสดที่ต้องจ่ายในตอนแรก

5) พื้นที่ในการติดตั้ง ระบบมีการใช้เนื้อที่ในการติดตั้งแผงค่อนข้างมาก โดยเนื้อที่ที่ต้องการติดตั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการและประสิทธิภาพของแผง สำหรับบ้านเรือนจะมีพื้นที่จำกัด ถ้าต้องการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีควรเผื่อพื้นที่ว่างไว้ในพื้นที่ที่ติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 20% ของพื้นที่ที่จะติดตั้ง ในกรณีที่มีการติดตั้งบนหลังคานั้นหากผู้อยู่อาศัยมีแผนที่จะการปรับปรุงหรือรื้อหลังคาเพื่อปรับปรุงในระยะเวลา 5 ถึง 10 ปี ควรติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่มีการปรับปรุงหลังคา เพื่อลดต้นทุนในการรื้อและติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ใหม่ ในที่นี้ใช้การประเมินจากพื้นที่เหลือของหลังคาภายหลังการติดตั้ง

เกณฑ์เชิงคุณภาพ

1) วัสดุของหลังคา วัสดุโลหะจะเก็บความร้อนไว้นานกว่ามากส่งผลโดยตรงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผง และทำให้เกิดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงค่อนข้างมาก รวมถึงอายุการใช้งานของแผงลดลงด้วย หลังคากระเบื้องคอนกรีตมีคะแนนการประเมินสูงสุด

2) ความเข้มของแสง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง แต่แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้แทบจะไม่แปรตามความเข้มแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจาก เมฆ หมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก

3) อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์จะไม่เปลี่ยนตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป แต่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก 1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 และในกรณีของแผงเซลล์มาตรฐาน กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่นี้อุณหภูมิของพื้นที่หรือภูมิภาคที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของโซลาร์เซลล์แต่ละประเภทแตกต่างกัน

4) ความแข็งแรงของหลังคา เนื่องจากแผงจำเป็นต้องได้รับแสงแดดตลอดเวลาที่ทำการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นถ้าโครงสร้างหลังคานั้นไม่มีความแข็งแรงมากพอจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ โซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่มีน้ำหนัก ไม่เกิน 300 กิโลกรัมมีคะแนนประเมินสูงสุด



5) ตำแหน่งการติดตั้งของแผง ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงคือบริเวณหลังคาของที่อยู่อาศัย แต่บางพื้นที่ที่มีการติดตั้งบริเวณพื้นที่ว่าง บริเวณผนังหรือแม้แต่บริเวณที่เป็นแผงกันแดด และทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้หันไปทางทิศใด เนื่องจากทิศทางในการติดตั้งแผงนั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของโซลาร์เซลล์ ดังนั้นนี้ใช้เพื่อวัดตำแหน่งในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ทางเลือกรูปแบบที่สามารถติดตั้งได้หลายทิศทางจะมีความเหมาะสมมากกว่า

6) ลักษณะการติดตั้ง การยึดและติดตั้งแผงก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพ การติดตั้งแผงจะต้องคำนวณว่าแผงควรจะติดตั้งให้มีความชันและความลาดเอียงจากพื้นที่หลังคาเป็นกึ่งกลางและหันทางทิศใด (โดยทั่วไปในประเทศไทยจะติดตั้งให้ระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ โดยมีความชันประมาณ 15 องศาจากพื้นดิน ถ้ามากกว่า 15 องศาจะแนบประเมินก็จะลดลง)

7) เงาบังแสง นอกเหนือจากการติดตั้งแผงที่เหมาะสมแล้วเงาที่บังแสงอาทิตย์ในบางส่วนก็มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบด้วย เพราะโดยส่วนมากแล้วระบบในลักษณะนี้ต้องจรรยาบรรณแผงเซลล์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้แรงดันที่ออกแบบไว้ เมื่อมีเงาบังแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแค่หนึ่งแผงก็ส่งผลต่อกระแสไฟฟ้าได้

ตารางที่ 2 ผลการให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจด้วยวิธี ROC

เกณฑ์	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ร้อยละ	อันดับ
1. กำลังวัตต์ต่อแผง	0.2586	25.86	1
2. ข้อมูลด้านต้นทุน	0.1753	17.53	2
3. อายุการใช้งาน	0.1336	13.36	3
4. ระยะเวลาคืนทุน	0.1058	10.58	4
5. วัสดุของหลังคา	0.0849	8.49	5
6. ความเข้มแสง	0.0683	6.83	6
7. อุณหภูมิ	0.0544	5.44	7
8. พื้นที่ในการติดตั้ง	0.0425	4.25	8
9. ความแข็งแรงของหลังคา	0.0321	3.21	9
10. ตำแหน่งในการติดตั้ง	0.0228	2.28	10
11. ลักษณะการติดตั้ง	0.0145	1.45	11
12. เงาบังแสง	0.0069	0.69	12

2.2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา

การกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่กรณีศึกษาหรือการเลือกบ้านที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเก็บข้อมูลของทางเลือกในแต่ละเกณฑ์ เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกันมีผลต่อทางเลือก ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อกำหนดประเภทของบ้าน โดยพิจารณาจากบ้านจัดสรรในบริเวณพื้นที่รอยต่อจังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี และกำหนดเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เพื่อเป็นต้นแบบในการตัดสินใจ โดยใช้บ้านกรณีศึกษา 1 หลัง เปรียบเทียบข้อมูลการติดตั้งโซลาร์เซลล์ 3 รูปแบบ รายละเอียดของบ้านกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลบ้านกรณีศึกษา

รายการ	รายละเอียด
1.ลักษณะบ้าน	บ้านเดี่ยวขนาด 50 ตารางวา
2.ลักษณะหลังคา	หลังคาบ้านทรงปั้นหยา
3.พื้นที่หลังคา	พื้นที่ของหลังคาบ้านมีขนาด 172 ตารางเมตร
4.วัสดุของหลังคา	กระเบื้อง
5.ลักษณะในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์	ความลาดชันในการติดตั้งแผงระหว่าง 15-20 องศา

โดยกำหนดการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 7,000 วัตต์ บ้านกรณีศึกษามีพื้นที่ 50 ตารางวา มีพื้นที่หลังคา 172 ตารางเมตร ลักษณะหลังคาบ้านเป็นทรงปั้นหยาและวัสดุของหลังคาเป็นกระเบื้อง ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างหลังคาบ้านกรณีศึกษา

(ที่มา: <https://www.scgbuildingmaterials.com/>)

จากนั้นพิจารณาข้อมูลของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาแต่ละรูปแบบ และนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (TOPSIS) เพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

3. ผลการวิจัย

เพื่อเลือกระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคา โดยใช้บ้านกรณีศึกษาเป็นบ้านพื้นที่ 50 ตารางวา มีพื้นที่หลังคา 172 ตารางเมตร และมีขนาดระบบ 7,000 วัตต์ จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่า ในท้องตลาดมีเทคโนโลยีของระบบการผลิตจำนวน 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ โมโนคริสตัลไลน์ โพลีคริสตัลไลน์ และชนิดฟิล์มบาง แต่ละชนิด

อินทวดี จันทร์ทักขิโนภาส ทศพร อัครวงษ์ และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์. (2568). “การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ในมุมมองของผู้ใช้งาน กรณีศึกษาบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.”



มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 รูปแบบนี้ ในบ้านกรณีศึกษา 1 หลัง ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างอ้างอิงเฉพาะข้อมูลการติดตั้งและใช้งานระบบการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบโมโนคริสตัลไลน์ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบโมโนคริสตัลไลน์ [16]

ปีที่	รายละเอียด	ต้นทุน การติดตั้ง (บาท)	ต้นทุนดำเนินงาน (บาท/ปี)	ค่าไฟที่ลด (ผลประโยชน์) (บาท)
1.	- ค่าแผง Solar Cell Mono Crystalline ขนาด 600W 12 แผง	-77,400		
	- ค่าบริการจัดทำเอกสารวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ	-5,000		
	- ค่าบริการออกแบบจัดเตรียมเอกสารเพื่อขออนุญาต	-25,000		
	- ค่าบริการควบคุมงานบริหารงานติดตั้ง ตรวจสอบงานติดตั้งระบบ	-10,000		
	- ค่าแรงในการติดตั้ง	-30,000		
	- ค่าไฟฟ้าที่ลด/ปี			+91,688
	- ค่าบริการตรวจเช็คแผง Solar Cell (2 ครั้ง/ปี)		-5,000×2 = -10,000	
	- งานบริการล้างแผ่น (2 ครั้ง/ปี)		-5,000×2 = -10,000	
รวม		-147,400	-20,000	+91,688

รายการที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบโมโนคริสตัลไลน์ [16] เป็นดังนี้ งบประมาณ 147,400 บาท รายรับต่อปี 91,688 บาท ผลตอบแทนสุทธิต่อปี 71,688 บาท มีค่าบำรุงรักษารายปี 20,000 บาท ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 4.4217 บาท นำมาคำนวณผลตอบแทนภายใน (IRR) ในระยะเวลา 25 ปี ได้เป็น 20.75% ระยะเวลาในการคืนทุน 2 ปี และกำลังการผลิต 57.6 กิโลวัตต์ต่อวัน ภายใต้ชั่วโมงการทำงานในรอบ 1 ปี ของระบบไฟฟ้า 30 วันต่อเดือนและ 12 เดือนต่อปี มีจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีเท่ากับ 20,736 กิโลวัตต์ต่อปี น้ำหนักแผงโซลาร์เซลล์ 1 แผง เท่ากับ 31 กิโลกรัม (12 แผง เท่ากับ 372 กิโลกรัม) มีขนาดโซลาร์เซลล์ (กว้าง×ยาว) 1 แผง เท่ากับ 2.020 เมตร × 1.345 เมตร เท่ากับ 2.717 ตารางเมตร (12 แผง เท่ากับ 32.602 ตารางเมตร) พื้นที่หลังคาคงเหลือหลังจากติดตั้งโซลาร์เซลล์ (ขนาดหลังคา 172 ตารางเมตร) เท่ากับ 139.398 ตารางเมตร อ้างอิงจาก [16] อาคารดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน



อาคารเฉลี่ยประมาณ วันละ 580 กิโลวัตต์ ซึ่งระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยประมาณวันละ 57.6 กิโลวัตต์ ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ประมาณร้อยละ 11.1 ต่อวัน

เมื่อศึกษาเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจเลือกเพื่อใช้งานในบ้านเรือน 12 เกณฑ์ ได้กำหนดนิยามเกณฑ์และคะแนนในแต่ละระดับ หลังจากนั้นผู้เชี่ยวชาญประชุมร่วมกันเพื่อประเมินทางเลือก โดยใช้รูปแบบการกำหนดคะแนนเป็น 5 ระดับ (1,3,5,7,9) โดยกำหนดนิยามของคะแนนแต่ละระดับในแต่ละเกณฑ์ ระดับ 1 มีความเหมาะสมน้อยที่สุด และระดับ 9 มีความเหมาะสมมากที่สุด หลังจากการประเมิน ได้ผลคะแนนของ 3 รูปแบบทางเลือกดังในตารางที่ 5 ถึง 7

ตารางที่ 5 ผลการประเมินเกณฑ์ในทางเลือกที่ 1 โมโนคริสตัลไลน์

เกณฑ์	ผลคะแนน	คำอธิบายเพิ่มเติม
1. กำลังวัตต์ต่อแผง	9	กำลังวัตต์อยู่ที่ 600 วัตต์/แผง
2. ข้อมูลด้านต้นทุน	9	ค่าผลตอบแทนภายใน (IRR) = 20.75 %
3. อายุการใช้งาน	9	อายุการใช้งาน = 25 ปี
4. ระยะเวลาในการคืนทุน	7	ระยะเวลาในการคืนทุน = 2 ปี
5. วัสดุของหลังคา	9	บ้านกรณีสึกษาใช้วัสดุหลังคากระเบื้องคอนกรีต
6. ความเข้มแสง	9	พื้นที่ที่ทำการติดตั้งโซลาร์เซลล์มีความเข้มแสง = $5 \text{ KW h/m}^2 - \text{day}$
7. อุณหภูมิ	9	อุณหภูมิ = 34 องศาเซลเซียส
8. พื้นที่ในการติดตั้ง	9	พื้นที่หลังคาบ้านหลังจากติดตั้งแผง เหลือประมาณ 80% ของพื้นที่หลังคา
9. ความแข็งแรงของหลังคา	7	บ้านกรณีสึกษามีขนาดหลังคา 170 ตร.ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 1,870 กก.
10. ตำแหน่งการติดตั้ง	9	จากการสำรวจพบว่า ทิศที่ดีที่สุดของการติดตั้งคือทิศใต้
11. ลักษณะการติดตั้ง	9	ในการติดตั้งต้องมีความเอียงหรือความลาดชันของแผงอยู่ที่ 15 องศา
12. เงาบังแสง	5	ติดตั้งในพื้นที่ของบ้านที่อยู่ในเมือง

ตารางที่ 6 ผลการประเมินเกณฑ์ในทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์

เกณฑ์	ผลคะแนน	คำอธิบายเพิ่มเติม
1. กำลังวัตต์ต่อแผง	7	กำลังวัตต์อยู่ที่ 340 วัตต์/แผง
2. ข้อมูลด้านต้นทุน	7	ค่าผลตอบแทนภายใน (IRR) = 19.08 %
3. อายุการใช้งาน	9	อายุการใช้งาน = 30 ปี
4. ระยะเวลาในการคืนทุน	7	ระยะเวลาในการคืนทุน = 2 ปี
5. วัสดุของหลังคา	9	บ้านกรณีสึกษาใช้วัสดุหลังคากระเบื้องคอนกรีต
6. ความเข้มแสง	9	พื้นที่ที่ทำการติดตั้งโซลาร์เซลล์มีความเข้มแสง = $5 \text{ KW h/m}^2 - \text{day}$
7. อุณหภูมิ	9	อุณหภูมิ = 34 องศาเซลเซียส
8. พื้นที่ในการติดตั้ง	7	พื้นที่หลังคาบ้านหลังจากติดตั้งแผง เหลือประมาณ 75% ของพื้นที่หลังคา
9. ความแข็งแรงของหลังคา	5	บ้านกรณีสึกษามีขนาดหลังคา 170 ตร.ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 1,870 กก.
10. ตำแหน่งการติดตั้ง	7	จากการสำรวจพบว่า ทิศที่ดีที่สุดของการติดตั้งคือทิศใต้

อินทวดี จันทรทักษิณาส ทศพร อัครรังษี และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์. (2568). “การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ในมุมมองของผู้ใช้งาน กรณีศึกษาบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.”



ตารางที่ 6 ผลการประเมินเกณฑ์ในทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์ (ต่อ)

เกณฑ์	ผลคะแนน	คำอธิบายเพิ่มเติม
11. ลักษณะการติดตั้ง	9	ในการติดตั้งต้องมีความเอียงหรือความลาดชันของแผงอยู่ที่ 15 องศา
12. เงาบังแสง	5	ติดตั้งในพื้นที่ของบ้านที่อยู่ในเมือง

ตารางที่ 7 ผลการประเมินเกณฑ์ในทางเลือกที่ 3 ฟิล์มบาง

เกณฑ์	ผลคะแนน	คำอธิบายเพิ่มเติม
1. กำลังวัตต์ต่อแผง	3	กำลังวัตต์อยู่ที่ 140 วัตต์/แผง
2. ข้อมูลด้านต้นทุน	5	ค่าผลตอบแทนภายใน (IRR) = 11.78 %
3. อายุการใช้งาน	9	อายุการใช้งาน = 30 ปี
4. ระยะเวลาในการคืนทุน	3	ระยะเวลาในการคืนทุน = 4 ปี
5. วัสดุของหลังคา	9	บ้านกรณีศึกษาใช้วัสดุหลังคากระเบื้องคอนกรีต
6. ความเข้มแสง	9	พื้นที่ที่ทำการติดตั้งโซลาร์เซลล์มีความเข้มแสง = 5 KW h/m ² – day
7. อุณหภูมิ	9	อุณหภูมิ = 34 องศาเซลเซียส
8. พื้นที่ในการติดตั้ง	5	พื้นที่หลังคาบ้านหลังจากติดตั้งแผง เหลือประมาณ 70% ของพื้นที่หลังคา
9. ความแข็งแรงของหลังคา	1	บ้านกรณีศึกษามีขนาดหลังคา 170 ตร.ม. สามารถรับน้ำหนักได้ 1,870 กก.
10. ตำแหน่งการติดตั้ง	3	จากการสำรวจพบว่า ทิศที่ดีที่สุดของการติดตั้งคือทิศใต้
11. ลักษณะการติดตั้ง	9	ในการติดตั้งต้องมีความเอียงหรือความลาดชันของแผงอยู่ที่ 15 องศา
12. เงาบังแสง	3	ติดตั้งในพื้นที่ของบ้านที่อยู่ในเมือง

ขั้นที่ 1 นำทางเลือกไปประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังในตารางที่ 8 และสร้างตารางแสดงการตัดสินใจปรับบรรทัดฐาน (Normalize Decision Matrix) ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 คะแนนเปรียบเทียบทางเลือกตามเกณฑ์

เกณฑ์	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ผลคะแนนทางเลือกที่ 1 โมโนคริสตัลไลน์	ผลคะแนนทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์	ผลคะแนนทางเลือกที่ 3 ฟิล์มบาง
1. กำลังวัตต์ต่อแผง*	0.2586	9	7	3
2. ข้อมูลด้านต้นทุน*	0.1753	9	7	5
3. อายุการใช้งาน	0.1336	9	9	9
4. ระยะเวลาคืนทุน*	0.1058	7	7	3
5. วัสดุของหลังคา	0.0849	9	9	9
6. ความเข้มแสง	0.0683	9	9	9
7. อุณหภูมิ	0.0544	9	9	9

อินทวดี จันทร์ทักษิณภาส ทศพร อัครังษี และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์. (2568). “การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ในมุมมองของผู้ใช้งาน กรณีศึกษาบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.”

ตารางที่ 8 คะแนนเปรียบเทียบทางเลือกตามเกณฑ์ (ต่อ)

เกณฑ์	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ผลคะแนน ทางเลือกที่ 1 โมโนคริสตัลไลน์	ผลคะแนน ทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์	ผลคะแนน ทางเลือกที่ 3 ฟิล์มบาง
8. พื้นที่ในการติดตั้ง*	0.0425	9	7	5
9. ความแข็งแรงของหลังคา*	0.0321	7	5	1
10. ตำแหน่งในการติดตั้ง*	0.0228	9	7	3
11. ลักษณะการติดตั้ง	0.0145	9	9	9
12. เงาบังแสง*	0.0069	5	5	3

หมายเหตุ (*) คือเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจในกรณีศึกษา

จากข้อมูลจะเห็นได้จากการกำหนดกรณีศึกษาบ้านในเขตเมืองเป็นรูปแบบเดียวกัน ส่งผลให้เกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจ (*) ได้แก่ กำลังวัตต์ต่อแผง ต้นทุน ระยะเวลาคืนทุน พื้นที่เหลือหลังจากการติดตั้ง ความแข็งแรงของหลังคาเมื่อเทียบกับรูปแบบที่เลือก ตำแหน่งในการติดตั้ง และเงาบังแสง ส่วนเกณฑ์ที่เหลือ จะมีคะแนนเท่ากันทุกรูปแบบ

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณตามสมการเพื่อแปลงเป็นค่า Normalize

เกณฑ์	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ผลคะแนน ทางเลือกที่ 1 โมโนคริสตัลไลน์	ผลคะแนน ทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์	ผลคะแนน ทางเลือกที่ 3 ฟิล์มบาง
1. กำลังวัตต์ต่อแผง*	0.2586	0.7634	0.5937	0.2545
2. ข้อมูลด้านต้นทุน*	0.1753	0.7229	0.5623	0.4016
3. อายุการใช้งาน	0.1336	0.5774	0.5774	0.5774
4. ระยะเวลาคืนทุน*	0.1058	0.6767	0.6767	0.2900
5. วัสดุของหลังคา	0.0849	0.5774	0.5774	0.5774
6. ความเข้มแสง	0.0683	0.5774	0.5774	0.5774
7. อุณหภูมิ	0.0544	0.5774	0.5774	0.5774
8. พื้นที่ในการติดตั้ง*	0.0425	0.7229	0.5623	0.4016
9. ความแข็งแรงของหลังคา*	0.0321	0.8083	0.5774	0.1155
10. ตำแหน่งในการติดตั้ง*	0.0228	0.7634	0.5937	0.2545
11. ลักษณะการติดตั้ง	0.0145	0.5774	0.5774	0.5774
12. เงาบังแสง*	0.0069	0.6509	0.6509	0.3906

หมายเหตุ (*) คือเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจในกรณีศึกษา



ขั้นที่ 2 คำนวณเพื่อให้ค่าของข้อมูลที่เป็นปกติ โดยหาจากการคำนวณผลจากค่าถ่วงน้ำหนัก โดยนำค่าถ่วงน้ำหนัก คูณกับค่าของข้อมูลที่เป็นปกติซึ่งอยู่ในเมทริกซ์การตัดสินใจ

ขั้นที่ 3 หาค่าเชิงอุดมคติในเชิงบวก (Positive Ideal, A^+) และเชิงลบ (Negative Ideal, A^-) ดังในตารางที่ 10

ขั้นที่ 4 หาระยะห่างของค่าคะแนนเชิงตัวเลขของแต่ละเกณฑ์โดยแยกคำนวณออกเป็นแนวคิดเชิงบวกและแนวคิดเชิงลบ โดยการหาระยะห่างของแนวคิดเชิงบวก S^+ และระยะห่างของค่าคะแนนเชิงลบ S^-

ขั้นที่ 5 หาความสัมพันธ์ในเชิงเข้าใกล้แนวคิดเชิงบวก ดังตารางที่ 11

ขั้นที่ 6 จัดลำดับค่าคะแนนเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยเลือกกระยะที่ใกล้ที่สุดของทางเลือกในแนวคิดที่เป็นเชิงบวก และเลือกกระยะไกลที่สุดของทางเลือกที่เป็นเชิงลบนั่นคือทางเลือกที่มีคะแนน C_i^+ มากที่สุด เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก V_{ij} และค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบของแต่ละปัจจัย

เกณฑ์	ค่าถ่วง น้ำหนัก	ทางเลือกที่ 1 โมโนคริสตัลไลน์	ทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์	ทางเลือกที่ 3 ฟิล์มบาง	A^+	A^-
1. กำลังวัตต์ต่อแผง*	0.2586	0.1974	0.1535	0.0658	0.1974	0.0658
2. ข้อมูลด้านต้นทุน*	0.1753	0.1267	0.0986	0.0704	0.1267	0.0704
3. อายุการใช้งาน	0.1336	0.0771	0.0771	0.0771	0.0771	0.0771
4. ระยะเวลาคืนทุน*	0.1058	0.0716	0.0716	0.0307	0.0716	0.0307
5. วัสดุของหลังคา	0.0849	0.0490	0.0490	0.0490	0.0490	0.0490
6. ความเข้มแสง	0.0683	0.0394	0.0394	0.0394	0.0394	0.0394
7. อุณหภูมิ	0.0544	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314
8. พื้นที่ในการติดตั้ง*	0.0425	0.0307	0.0239	0.0171	0.0307	0.0171
9. ความแข็งแรงของหลังคา*	0.0321	0.0259	0.0185	0.0037	0.0259	0.0037
10. ตำแหน่งในการติดตั้ง*	0.0228	0.0174	0.0135	0.0058	0.0174	0.0058
11. ลักษณะการติดตั้ง	0.0145	0.0084	0.0084	0.0084	0.0084	0.0084
12. เจาะดบังแสง*	0.0069	0.0045	0.0045	0.0027	0.0045	0.0027

หมายเหตุ (*) คือเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจในกรณีศึกษา

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณการหาความสัมพันธ์ในเชิงเข้าใกล้แนวคิดเชิงบวก

	ทางเลือกที่ 1 โมโนคริสตัลไลน์	ทางเลือกที่ 2 โพลีคริสตัลไลน์	ทางเลือกที่ 3 ฟิล์มบาง
C_i^+	0.6577*	0.6036	0.3428

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 สรุปผลการวิจัย

หลังจากรวบรวมเกณฑ์จากงานวิจัย และคัดกรองให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ผลลัพธ์เป็นเกณฑ์เชิงปริมาณจำนวน 5 เกณฑ์ และเกณฑ์เชิงคุณภาพจำนวน 7 เกณฑ์ นำมาจัดลำดับความสำคัญในการเลือกด้วยเทคนิค ROC โดยมีเกณฑ์สำคัญเรียงตามลำดับได้แก่ กำลังวัตต์ต่อแผง ข้อมูลด้านต้นทุน อายุการใช้งาน ระยะเวลาคืนทุน วัสดุของหลังคา ความเข้มแสง อุณหภูมิ พื้นที่ในการติดตั้ง ความแข็งแรงของหลังคา ตำแหน่งในการติดตั้ง ลักษณะการติดตั้ง และเงาบังแสง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลของแต่ละทางเลือกในแต่ละเกณฑ์ ทำการศึกษาผ่านกรณีศึกษาบ้านตัวอย่างในกรุงเทพมหานครเพื่อให้ผลคะแนนประเมินมีความชัดเจนขึ้น ใช้การตัดสินใจด้วยเทคนิค TOPSIS เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด พบว่ารูปแบบทางเลือกที่ 1 โซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีความเหมาะสมที่สุด มีค่าเข้าใกล้อุดมคติเชิงบวกมากที่สุดและห่างไกลจากค่าอุดมคติเชิงลบมากที่สุด

4.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาหลักเกณฑ์ในการเลือกรูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบติดตั้งบนหลังคาบ้าน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเกณฑ์และทางเลือกของระบบมีความซับซ้อน ทำให้การตัดสินใจเป็นไปได้ยาก ข้อมูลเกณฑ์การเลือกรูปแบบที่พบในงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นข้อมูลทางเทคนิคของรูปแบบระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตและผู้ติดตั้ง ซึ่งเป็นการยากในการทำความเข้าใจและตัดสินใจจากมุมมองของผู้ใช้งาน นอกจากนี้หลายหลักเกณฑ์ยังส่งผลถึงการตัดสินใจเลือกที่แตกต่างกัน ขึ้นกับรูปแบบลักษณะทางกายภาพ และภูมิศาสตร์ของอาคารบ้านเรือน ในการนี้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรณีศึกษาเป็นบ้านในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อให้ขอบเขตและผลการศึกษชัดเจน นอกจากนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาหลักเกณฑ์ และสามารถนำไปใช้ประกอบการเลือกรูปแบบของผู้ใช้งานในวงกว้าง

จากผลการวิจัย เกณฑ์สำคัญสามลำดับแรกได้แก่ กำลังวัตต์ต่อแผง ข้อมูลด้านต้นทุน และอายุการใช้งาน ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับ [10] และ [13] ที่ใช้คำว่า ระยะเวลาคืนทุน และสอดคล้องกับ [9–15] ที่ใช้คำว่าต้นทุนการติดตั้ง ซึ่งผู้ใช้งานโดยทั่วไปมักใช้คำว่า ความคุ้มค่าในการลงทุน

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ใช้งานโดยทั่วไป ถึงการพิจารณาให้ความสำคัญกับเกณฑ์ในด้านอายุการใช้งาน ดังแสดงเกณฑ์นี้ในงาน [9–10], [13–14] อย่างไรก็ตามเมื่อกำหนดขอบเขตของกรณีศึกษาดังแสดงในงานวิจัยนี้ ทำให้มีข้อค้นพบที่แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้า ถึงเกณฑ์ที่ส่งผลอย่างชัดเจนต่อการเลือกรูปแบบของโซลาร์เซลล์ตามกรณีศึกษา ได้แก่ เกณฑ์ที่ 1 กำลังวัตต์ต่อแผง เกณฑ์ที่ 2 ข้อมูลด้านต้นทุน เกณฑ์ที่ 4 ระยะเวลาคืนทุน เกณฑ์ที่ 8 พื้นที่ในการติดตั้ง เกณฑ์ที่ 9 ความแข็งแรงของหลังคา เกณฑ์ที่ 10 ตำแหน่งในการติดตั้ง และเกณฑ์ที่ 12 เงาบังแสง

ส่วนเกณฑ์ที่ไม่มีผลต่อการตัดสินใจในกรณีศึกษานี้ (หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือทุกทางเลือกมีค่าเท่ากัน) ได้แก่ เกณฑ์ที่ 3 อายุการใช้งาน (ทุกทางเลือกมีค่าสูงสุด คือมากกว่า 25 ปี หมายถึงทุกรูปแบบมีอายุการใช้งานนานใกล้เคียงกัน แต่จะเห็นได้ว่าในงาน [9–10], [13–14] เกณฑ์นี้เป็นเกณฑ์ที่ผู้ใช้งานโดยทั่วไปมักให้ความสำคัญ) เกณฑ์ที่ 5 วัสดุของหลังคา เกณฑ์ที่ 6 ความเข้มแสง เกณฑ์ที่ 7 อุณหภูมิ และเกณฑ์ที่ 11 ลักษณะการติดตั้ง (เกณฑ์เหล่านี้เป็นเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปตามกรณีศึกษาและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ที่ติดตั้ง ไม่เกี่ยวข้องกับทางเลือกรูปแบบระบบโซลาร์เซลล์)



หลังจากนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลของแต่ละทางเลือกในแต่ละเกณฑ์ ทำการศึกษาผ่านกรณีศึกษาบ้านตัวอย่างใน กรุงเทพมหานคร ทำให้ผลคะแนนประเมินมีความชัดเจนขึ้น จากการประยุกต์ใช้วิธีการ TOPSIS เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น และมั่นใจในการตัดสินใจ งานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจของผู้ใช้งาน ในการเลือกระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคา โดยสามารถประยุกต์ใช้ในการประเมิน คัดเลือก โดยพิจารณาเกณฑ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ และทำการปรับค่าน้ำหนักเพื่อประเมินทางเลือกที่มีใหม่ ตามอาคาร และพื้นที่ที่ประยุกต์ใช้งาน

5. องค์ความรู้ใหม่

การใช้งานโซลาร์เซลล์ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจของครัวเรือนสังคมและประเทศชาติ นอกจากจะเป็นการรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบการผลิตในปัจจุบัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและชีวิตของประชาชนแล้ว งานวิจัยนี้ช่วยให้เห็น แนวทางการตัดสินใจติดตั้งโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสมที่สุดจากมุมมองของผู้ใช้งาน โดยใช้วิธี ROC และ TOPSIS นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบ 3 รูปแบบของโซลาร์เซลล์ ทั้งในด้านประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของการใช้งาน และการคืนทุนเพื่อให้เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับบุคคลและครัวเรือนที่เหมาะสมกับลักษณะบ้านของตน สามารถปรับค่าน้ำหนักของปัจจัยให้เหมาะสมกับพื้นที่และความต้องการเฉพาะของแต่ละบ้าน งานวิจัยนี้ช่วยให้การตัดสินใจติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นเรื่องที่เข้าใจง่ายขึ้นสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป ซึ่งองค์ความรู้เหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการใช้งานโซลาร์เซลล์เป็นอย่างยิ่ง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ Res-CIT0624/2023 ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและหัวหน้างานของบริษัทกรณีศึกษาที่สนับสนุนข้อมูลและร่วมวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hayashi, D. (2020). Green Innovation in China and India: Technological Learning, Technology Transfer, And Public Policies in The Wind Power and Solar Photovoltaic Industries (Doctoral dissertation, University of Zurich). <https://doi.org/10.5167/uzh-183446>
- [2] Energy Policy and Planning Office (EPPO). (2016, March 28). Thailand Power Development Plan. <https://www.eppo.go.th/index.php/en/policy-and-plan/en-tieb/tieb-pdp> (In Thai)
- [3] Engineering Institute of Thailand (2022). Thai Electrical Code: Solar rooftop Power Supply Installations (1st ed.). Bangkok. (in Thai).



- [4] Sriwattananusart, K. & Sureeyatanapas, P. (2017). Supplier Selection Using TOPSIS and ROC Methods: A Case Study of Restaurant Industry. *KMUTT Research & Development Journal*, 40(3), 385–403. (in Thai).
- [5] Jantawong, P. (2021). Transport Route Selection for Transporting Products to China with TOPSIS-ROC Technique. *MUT Journal of Business Administration*, 18(2), 130–155. (in Thai).
- [6] Sureeyatanapas, P. (2016). Comparison of Rank-Based Weighting Methods for Multi-Criteria Decision Making. *Engineering and Applied Science Research*, 43, 376–379. <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/easr/article/view/70803>
- [7] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making. In *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* (pp. 58–191). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- [8] Ransikarbum, K. (2022). *Decision Analysis for Engineering* (1st ed.). Chulalongkorn University Press. (In Thai)
- [9] Pisetthanakitkul, W., & Rassameethes, B. (2021). Factors Affecting Intention to Use Residential solar Photovoltaic Technology in Bangkok. *Journal of Multidisciplinary in Humanities and Social Sciences*, 4(3), 955–969. (In Thai)
- [10] Somasri, N., Ketsuda, N., & Kongtong, P. (2013). *Feasibility Study on Application of Solar Cell to Generate Electricity for Faculty of Industry and Management* [Unpublished Bachelor's Thesis]. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (In Thai)
- [11] Lordnakhon, T., Deenan, M., & Tongtae, S. (2014). *Feasibility Study on Design of Solar Cell Electricity Generation System for Agro-Industry King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus* [Unpublished Bachelor's Thesis]. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (In Thai)
- [12] Yiemwattana, S., & Charenkit, S. (2018). The Prototype Solar House for Tropical Climate of Thailand. *Art and Architecture Journal Naresuan University*, 9(1), 25–41. (In Thai)
- [13] Thippongton, A. (2019). *Feasibility Study of Installing A Rooftop PV Systems in Suranaree University of Technology* [Unpublished Master's Thesis]. Suranaree University of Technology. (In Thai)
- [14] Jošt, M., Lipovšek, B., Glažar, B., Al-Ashouri, A., Brecl, K., Matič, G., & Albrecht, S. (2020). Perovskite solar cells go outdoors: Field Testing and Temperature Effects on Energy Yield. *Advanced Energy Materials*, 10(25), 2000454. <https://doi.org/10.1002/aenm.202000454>



- [15] Mangiante, M. J., Whung, P. Y., Zhou, L., Porter, R., Cepada, A., Campirano Jr, E., & Torres, M. (2020). Economic and technical assessment of rooftop solar photovoltaic potential in Brownsville, Texas, USA. *Computers, Environment and Urban Systems*, 80, 101450. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101450>
- [16] Nopajanasupap, S. (2021). The Office of Academic Resources, Prince of Songkla University, Pattani Campus, solar cell system for electricity cost reduction. *PULNET Journal*, 4(2), 194–205. (In Thai)