บทความวิจัย

ปัจจัยสำคัญในการจัดลำดับรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย

ศศิประภา ตรีพูนสุข และ ฆนิศา รุ่งแจ้ง*
สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 2738 5665 อีเมล: fengksr@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.03.007
รับเมื่อ 17 พฤษภาคม 2565 แก้ไขเมื่อ 11 กรกฎาคม 2565 ตอบรับเมื่อ 4 สิงหาคม 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 19 มีนาคม 2567
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่ (FAHP) เพื่อจัดลำดับรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนโดยการจัดเป็นโครงสร้างการตัดสินใจ วิธี FAHP เป็นการวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์ที่นิยมมากวิธีหนึ่งในการหาลำดับความสำคัญโดยการเปรียบเทียบคู่ในการตัดสินใจจากผู้เชี่ยวชาญ ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาเลือกรูปแบบการพัฒนาพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียน ได้แก่ ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี การยอมรับจากสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ และทางเลือกที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ รูปแบบโรงไฟฟ้าที่ผสาน 3 เทคโนโลยี รองลงมาเป็นรูปแบบโรงไฟฟ้าที่ผสาน 2 เทคโนโลยี คือ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีเดียว คือ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ ตามลำดับ การวิเคราะห์โดยจำแนกกลุ่มผู้ตัดสินใจแสดงให้เห็นว่า กลุ่มผู้กำหนดนโยบายและผู้รับผิดชอบโครงการให้ความสำคัญกับราคาต้นทุนค่าไฟฟ้าและความเข้ากันได้ของเทคโนโลยีมากกว่าการยอมรับของสาธารณะและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้งนี้สำหรับหน่วยงานเอกชนให้ความสำคัญกับราคาต้นทุนค่าไฟฟ้าและการยอมรับของสาธารณะมากกว่าความเข้ากันได้ของเทคโนโลยีและการใช้ประโยชน์ที่ดิน งานวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ในกระบวนการกำหนดนโยบายเชิงบูรณาการเพื่อพัฒนาด้านพลังงานอย่างยั่งยืนโดยอาศัยดุลพินิจต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้อย่างรอบด้านยิ่งขึ้น ดังเช่นการประยุกต์ใช้ในการวางแผนบูรณาการพลังงานระยะยาวของประเทศไทย (TIEB) เป็นต้น

คำสำคัญ: กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี พลังงานหมุนเวียน พลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

การอ้างอิงบทความ: ศศิประภา ตรีพูนสุข และ ฆนิศา รุ่งแจ้ง, "ปัจจัยสำคัญในการจัดลำดับรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 2, หน้า 1–11, เลขที่บทความ 242-086054, เม.ย.–มิ.ย. 2567.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 34 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2567
The Journal of KMUTNB., Vol. 34, No. 2, Apr.–Jun. 2024

Research Article

Significant Factors for Prioritize the Development of Renewable Energy Power Plants in Thailand

Sasiprapa Treepoonsuk and Kanisa Rungjang*
Major of Infrastructure Engineering and Management, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 2738 5665, E–mail: fengksr@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.03.007
Received 17 May 2022; Revised 28 July 2022; Accepted 4 August 2022; Published online: 19 March 2024
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

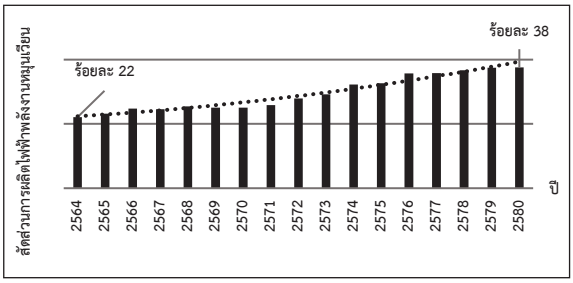
This research aims to apply Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), which employs the hierarchy structure as a framework for making decisions in accordance with the objective that focuses on the renewable energy prioritization. FAHP technique has been most widely used through the pairwise comparisons of expert judgments to derive the priority scales. As a result, the significant factors for developing renewable energy plants are cost, technology compatibility, public acceptance, and land use, respectively. Alternatives to renewable power plants are a combination of 3 technologies, a combination of 2 technologies: hybrid hydro and solar power plant, and single technological power plant, which is hydropower plant, respectively. According to the analysis of decision-makers, public policy agencies and public operating agencies focus more on cost and technology compatibility than public acceptance and land use while private agencies focus on cost and public acceptance rather than technology compatibility and land use. The research reveals that FAHP can be applied to the integrated sustainable energy policy on agencies' and stakeholder's discretion, or Thailand Integrated Energy Blueprint (TIEB).

Keywords: Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Renewable Energy, Hybrid Renewable Energy

Please cite this article as: S. Treepoonsuk and K. Rungjang, "Significant factors for prioritize the development of renewable energy power plants in Thailand," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 2, pp. 1–11, ID. 242-086054, Apr.–Jun. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

พลังงานหมุนเวียนเป็นทางเลือกในการส่งเสริมความยั่งยืนด้านพลังงานตามเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) ที่ประชาคมโลกตกลงร่วมกันโดยองค์การสหประชาชาติ (United Nations; UN) [1] การใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นการทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับการผลิตไฟฟ้าตามยุทธศาสตร์ชาติด้านการพัฒนาความมั่นคงพลังงานของประเทศ โดยสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) [2] และกำหนดไว้ในแผนยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน แผนยุทธศาสตร์สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และแผนวิสาหกิจการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักสำคัญด้านพลังงานของชาติ [3]–[5] ทั้งนี้ กระทรวงพลังงานโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กำหนดนโยบายในการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนให้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนร้อยละ 38 ภายใน พ.ศ. 2580 ซึ่งการใช้พลังงานหมุนเวียนใน พ.ศ. 2564 เท่ากับร้อยละ 22 [6] ดังแสดงในรูปที่ 1



ที่มา: ดัดแปลงจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของ ประเทศไทย พ.ศ. 2561–2580 [6]

รูปที่ 1 คาดการณ์สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย

รูปแบบของโรงไฟฟ้าสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ และ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนจากนานาประเทศมีหลายรูปแบบ [7] เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโรงไฟฟ้าพลังงานลม ประกอบกับมีการผสานระหว่างเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เนื่องด้วยมีผู้รับผิดชอบเกี่ยวข้อง และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่ายซึ่งมีปัจจัยสำคัญ (Significant Factors; SF) ในการตัดสินใจที่แตกต่างกัน เช่น ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า [8], [9] ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี การใช้ประโยชน์ที่ดิน การยอมรับจากสาธารณะ และปัจจัยด้านความยั่งยืน [1], [10] จึงทำให้การตัดสินใจในการวางแผนพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเป็นการตัดสินใจที่มี ความซับซ้อน

งานวิจัยมากมายที่ทำการวิเคราะห์การลงทุนโดย การประยุกต์ใช้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-criteria Decision Making; MCDM) [11] การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process; AHP) เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย สำหรับใช้ในการตัดสินใจที่หลักเกณฑ์หรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจไม่สามารถเปรียบเทียบในหน่วยวัดเดียวกันได้อย่างชัดเจน [12]–[14] ถึงแม้ว่ากระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น สามารถจัดการกับปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ดี ทั้งนี้เพื่อลดความคลุมเครือและความไม่แน่นอนในการตัดสินใจอยู่ จึงมีการนำทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น สำหรับแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดการกับข้อมูลด้วยวิธีที่มีความคล้ายคลึงกับความคิดของมนุษย์ [15]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับปัจจัยสำคัญ ในการคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย โดยใช้กระบวนการลำดับชั้น เชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytical Hierarchy Process; FAHP)

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิเคราะห์ FAHP เพื่อคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ 1) การกำหนดวัตถุประสงค์และปัจจัย 2) การกำหนดโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ 3) การสำรวจข้อมูลการตัดสินใจ 4) การวิเคราะห์ความสอดคล้องการตัดสินใจ และ 5) การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจด้วยวิธี FAHP ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

2.1 การกำหนดวัตถุประสงค์และปัจจัย

การวางแผนพัฒนาการผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในอนาคตอยู่ภายใต้ความกดดันของปัญหาด้านเศรษฐกิจ เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และสังคม การคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนโดยความสำคัญของปัจจัยในแต่ละภูมิภาคของแต่ละประเทศมีความหลากหลายแตกต่างกันออกไป ซึ่งงานวิจัยหลายเรื่องได้นำเสนอถึงปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและกำหนดปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความยั่งยืนของการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนประกอบด้วย

2.1.1 ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า (F1)

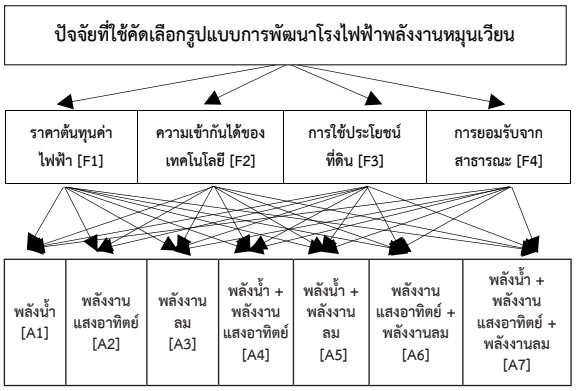
ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า เป็นปัจจัยที่เป็นเกณฑ์ในการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาครอบคลุมถึงต้นทุน 3 ประการ ได้แก่ ต้นทุนทางการเงินที่ใช้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า รวมถึงค่าแรง และค่าอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ต้นทุนในการดำเนินงานและบำรุงรักษา เช่น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และค่าใช้จ่ายสำหรับบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน และต้นทุนในการปรับปรุงโรงไฟฟ้าตามระยะเวลาโครงการ [16]–[19]

2.1.2 ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี (F2)

เทคโนโลยีและความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี เป็นปัจจัยที่พิจารณาครอบคลุมถึง ความแพร่หลายของเทคโนโลยี ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากโครงการที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในระยะทดลอง ระยะพัฒนาโครงการนำร่อง หรือพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ รวมถึงความน่าเชื่อถือของระบบผลิตไฟฟ้า หมายถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ อีกทั้งยังต้องพิจารณากำลังการผลิตไฟฟ้าหมายถึงการพิจารณาถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้า [16], [18]–[20]

2.1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน (F3)

โดยปัจจัยนี้พิจารณาครอบคลุมถึง หลักเกณฑ์ทางด้านพื้นที่ และข้อกำหนดด้านพื้นที่ สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า [17], [19], [20] ซึ่งรูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในแต่ละรูปแบบก็มีความต้องการด้านพื้นที่ที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงทางเลือกใน การพัฒนาพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [18]–[20]



รูปที่ 2 โครงสร้างการคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

2.1.4 การยอมรับจากสาธารณะ (F4)

การยอมรับจากสาธารณะ เป็นการพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับความคิดเห็นของประชาชน หน่วยงานท้องถิ่น และผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียกับการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยการได้รับการยอมรับจากสังคมนั้นเป็น การรับรู้ถึงข้อดีและข้อเสีย และผลประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ การไม่ได้รับการยอมรับจากสาธารณะนั้นอาจส่งผลให้โครงการล่าช้าและไม่บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการได้ [16], [19], [20]

2.2 การกำหนดโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

โครงสร้างการตัดสินใจ (Hierarchy Structure) เป็นโครงสร้าง 3 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 ได้แก่ โครงสร้างระดับที่ 1 คือ วัตถุประสงค์ในการตัดสินใจเพื่อคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โครงสร้างระดับที่ 2 คือ ปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจ จำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการยอมรับจากสาธารณะ โครงสร้างระดับที่ 3 คือ ทางเลือกของรูปแบบ การพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจำนวน 7 ทางเลือก แบ่งเป็น โรงไฟฟ้าพลังหมุนเวียนที่ใช้เทคโนโลยีเดียว ซึ่งมี 3 ทางเลือก ได้แก่

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโรงไฟฟ้าพลังงานลม โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ผสาน 2 เทคโนโลยี ซึ่งมี 3 ทางเลือก ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ผสาน 3 เทคโนโลยี ซึ่งมี 1 ทางเลือก คือ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

2.3 การสำรวจข้อมูลการตัดสินใจ

งานวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยแบบสอบถามเป็นการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักเป็นรายคู่เพียงอย่างเดียว จึงไม่จำเป็นต้องทำการประเมินผู้เชี่ยวชาญ การรวบรวมข้อมูลการตัดสินใจได้จากผู้เชี่ยวชาญทั้งสิ้น 17 ท่าน จากสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และหน่วยงานจากภาคเอกชน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเป้าหมาย อาศัยตามแนวทางการบริหารนโยบายพลังงานของกระทรวงพลังงาน [21] และแนวทางการศึกษาพัฒนาโครงการของ กฟผ. [22] ประกอบด้วย กลุ่มผู้กำหนดนโยบาย กลุ่มผู้รับผิดชอบโครงการ และหน่วยงานเอกชน ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องด้านพลังงาน โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมีประสบการณ์หน้าที่ความรับชอบที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงการ เช่น วิศวกร เศรษฐกร นักสิ่งแวดล้อม นักกฎหมาย และผู้รับผิดชอบงานชุมชนสัมพันธ์ โดยมีประสบการณ์ทำงานเฉลี่ย 15 ปี

การตัดสินใจเป็นการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญ (w_i/w_j) ระหว่างปัจจัยหรือทางเลือกเป็นรายคู่ i และ j ใด ๆ จำนวนทั้งสิ้น n ปัจจัย หรือทางเลือก โดยใช้ตัวเลข w_i, w_j แทนค่าความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของส่วนย่อยในแต่ละระดับชั้น เมื่อพิจารณาภายใต้ปัจจัยหรือทางเลือก หรือส่วนประกอบในระดับที่เหนือกว่าขึ้นไป ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบระดับความสำคัญเป็นตัวเลข 1 ถึง 9 แสดงระดับความสำคัญที่เท่ากันจนถึงระดับความสำคัญที่สูงกว่าอย่างมากโดยแสดงดังตารางที่ 1 [14]

ตารางที่ 1 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

ระดับความความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด
2,4,6,8	ค่าความสำคัญระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saaty [12]

2.4 การวิเคราะห์ความสอดคล้องการตัดสินใจ

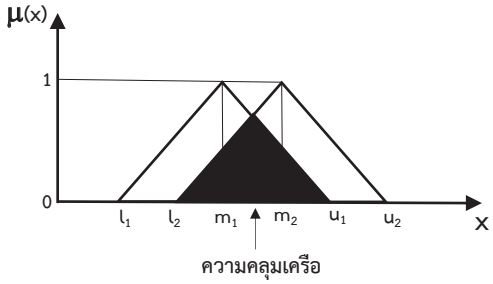
การทดสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจเป็น การวิเคราะห์เมทริกซ์ค่าน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) โดยวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio; C.R.) จากสัดส่วนระหว่างดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index; C.I.) และค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Index; R.I.) หากมีค่าน้อยกว่า 0.1 แสดงว่าความ ไม่สอดคล้องของการตัดสินใจมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 หรือขึ้นอยู่กับขนาดของเมทริกซ์ ตามการพิสูจน์ของ Saaty [12] ดังสมการที่ (1)

$$C.I. = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (1)$$

โดยที่ λ_{max} เป็นค่าสูงสุดของ Eigenvalue ของ เมทริกซ์ และค่า $R.I.$ สำหรับจำนวนปัจจัยหรือทางเลือก n ปัจจัย หรือทางเลือก งานวิจัยนี้พิจารณา 4 ปัจจัย ซึ่งต้องมีค่า $C.I.$ น้อยกว่า 0.90 [12]

2.5 การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจด้วยวิธี FAHP

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี FAHP เป็นแสดงข้อมูลด้วยเซตความคลุมเครือแบบสามเหลี่ยม (Triangular



รูปที่ 3 เซตความคลุมเครือแบบสามเหลี่ยม

Fuzzy Member) [13] ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยอาศัยการทำงานของ Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel

โดยการแสดงตรรกะให้เป็นตัวเลขในรูปแบบสามเหลี่ยมเพราะง่ายต่อความเข้าใจ การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลในวิธีการ FAHP ทำได้หลายวิธีแต่วิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม คือ วิธีของ Chang [23] โดยคงรูปแบบการเปรียบเทียบระดับความสำคัญเชิงคู่ของปัจจัย แต่ในการแปลงภาษาระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบซึ่งเป็นให้เป็นตัวเลข Fuzzy แบบสามเหลี่ยมมาแทนการใช้ตัวเลขเดี่ยว 1–9 โดยรูปแบบตัวเลข Fuzzy เป็นรูปแบบ (*l, m, u*) โดย x เป็นค่าคะแนน m เป็นค่ากลางของตัวเลขสามเหลี่ยมฟัซซี และ *l, u* เป็นค่าขอบเขตล่างและบนตามลำดับ ดังสมการที่ (2) และสามารถแสดงเป็นตัวเลข Fuzzy สามเหลี่ยม (*l, m, u*) ได้ โดยแสดง ดังตารางที่ 2

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0 & x < 1 \\ (x-1)/(m-1) & l \le x \le m \\ (u-x)/(u-m) & m \le x \le u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (2)$$

ตารางที่ 2 การแทนที่ตัวเลขแสดงความสำคัญของการเปรียบเทียบรายคู่

ระดับ	ตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม	ส่วนกลับตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม
1	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
2	(3/4, 5/4, 7/4)	(4/7, 4/5, 4/3)

ตารางที่ 2 การแทนที่ตัวเลขแสดงความสำคัญของการเปรียบเทียบรายคู่ (ต่อ)

ระดับ	ตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม	ส่วนกลับตัวเลขฟัซซีแบบสามเหลี่ยม
3	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
4	(5/4, 7/4, 9/4)	(4/9, 4/7, 4/5)
5	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
6	(7/4, 9/4, 11/4)	(4/11, 4/9, 4/7)
7	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
8	(9/4, 11/4, 13/4)	(4/13, 4/11, 4/9)
9	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Saaty [12]

สามารถคำนวณค่าความสำคัญของปัจจัยที่ i (w_i) ตั้งแต่ 1 ถึง n ดังสมการที่ (3)

$$W_i = \frac{w_i'}{\sum_{i=1}^{n} w_i'} \quad (3)$$

เมื่อเวกเตอร์ความสำคัญ (w_i') สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (4)

$$w_i' = \min V(S_i \ge S_j \,|\, j = 1,2,...,m; i \ne j) \quad (4)$$

เมื่อค่าระดับความเป็นไปได้ (V) ของ $S_i \ge S_j$ เมื่อ $S_i = (l, m, u)$, $S_j = (l, m, u)$; $i \ne j$ ดังสมการที่ (5)

$$V(S_i \ge S_j) = \begin{cases} 1, & m_i \ge m_j \\ 0, & l_j \ge u_i \\ \dfrac{(l_j - u_i)}{(m_i - u_i) - (m_j - l_j)}, & Other \end{cases} \quad (5)$$

เมื่อขอบเขตสังเคราะห์ฟัซซี (S_i) คือ ขอบเขตสังเคราะห์ของปัจจัยที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจซึ่งเป็นผลคูณของผลรวมตัวเลขฟัซซี่และผลต่างตอบแทนรวมของ *l, m, u* ทุกเกณฑ์การตัดสินใจ ดังสมการที่ (6)

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \quad (6)$$

3. ผลการทดลอง

ข้อมูลรวบรวมได้จากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญประสบการณ์เฉลี่ย 15 ปี จากหน่วยงานกลุ่มผู้กำหนดนโยบาย ได้แก่ สศช. สนพ. และ พพ. (จำนวน 4 ท่าน) กลุ่มผู้รับผิดชอบโครงการ ได้แก่ กฟผ. และ กฟภ. (จำนวน 11 ท่าน) และกลุ่มผู้พัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจากภาคเอกชน (จำนวน 2 ท่าน)

ผลการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องการตัดสินใจ (C.R.) พบว่า ค่า C.R. อยู่ระหว่าง 0.011 ถึง 0.098 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลการตัดสินใจที่รวบรวมได้มีความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มีค่า C.R. น้อยกว่า 0.10) [13] ผลการวิเคราะห์ประกอบด้วย ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ และค่าน้ำหนักทางเลือกในการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนดังนี้

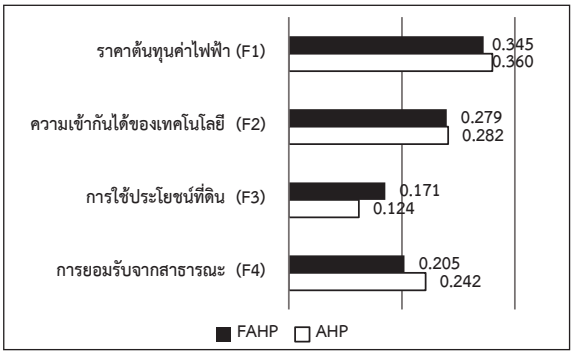
3.1 ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

3.1.1 ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยสำคัญ จากวิธี AHP ปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า (0.360) ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี (0.282) การยอมรับจากสาธารณะ (0.242) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (0.124) ตามลำดับ

3.1.2 ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยสำคัญ จากวิธี FAHP ปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า (0.345) ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี (0.279) การยอมรับจากสาธารณะ (0.205) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (0.171) ตามลำดับ

3.1.3 การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญ ระหว่างวิธี AHP และวิธี FAHP ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญที่ได้จาก AHP และ FAHP มีค่าใกล้เคียงกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4) แสดงให้เห็นว่าความคลุมเครือและความไม่แน่นอนในการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญมีไม่มากนัก

ปัจจัยสำคัญ (Significant Factors) ได้แก่ ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า และความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี ซึ่งมีค่าน้ำหนักรวมประมาณร้อยละ 63 (ร้อยละ 35 และร้อยละ 28 ตามลำดับ) และปัจจัยการยอมรับจากสาธารณะและการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าน้ำหนักรวมประมาณร้อยละ 37 (ร้อยละ 22 และร้อยละ 15 ตามลำดับ)



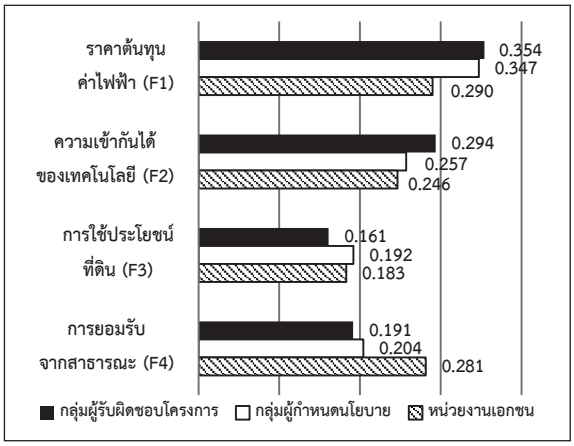
รูปที่ 4 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยในการคัดเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ดังนั้นสามารถแบ่งกลุ่มปัจจัยได้เป็น 2 ส่วนคือ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม (ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้าและความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี) และปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม (การยอมรับจากสาธารณะและ การใช้ประโยชน์ที่ดิน)

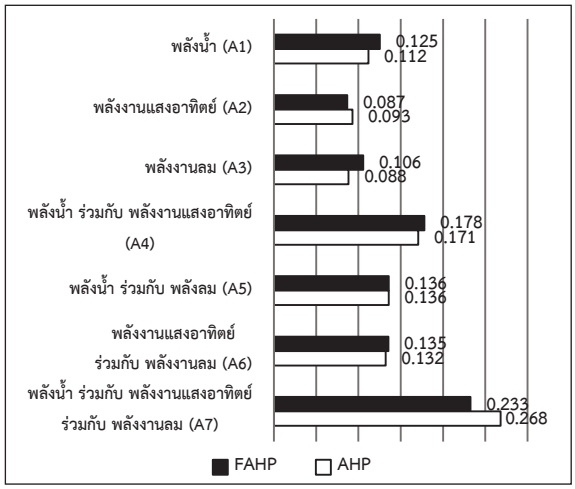
3.2 ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

3.2.1 ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดและน้อยที่สุดในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ปัจจัยราคาต้นทุนค่าไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุด และปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยที่สำคัญน้อยที่สุดในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าสำหรับทุกกลุ่มผู้ตัดสินใจ ดังแสดงในรูปที่ 5 และตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับปัจจัยสำคัญ ผู้ตัดสินใจกลุ่มผู้กำหนดนโยบาย และกลุ่มผู้รับผิดชอบโครงการ ให้ลำดับปัจจัยสำคัญที่มีการเรียงลำดับ สอดคล้องกัน (ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี การยอมรับจากสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ) และกลุ่ม



รูปที่ 5 ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ



รูปที่ 6 ค่าน้ำหนักทางเลือกในการพัฒนาโรงไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน

ผู้กำหนดนโยบายให้ความสำคัญการยอมรับจากสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใกล้เคียงกัน ในขณะที่กลุ่มหน่วยงานเอกชนให้การยอมรับจากสาธารณะมากกว่าความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี (ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า การยอมรับจากสาธารณะ ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ) โดยได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานเอกชนให้ความเห็นว่า นอกจากการพิจารณาปัจจัยด้านเทคโนโลยีแล้วการพัฒนาโครงการยังต้องการเร่งการดำเนินงานเพื่อลดค่าเสียโอกาสในการลงทุน โดยต้องได้รับการยอมรับจากสาธารณะ

ตารางที่ 3 ลำดับปัจจัยสำคัญจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจ

ความสำคัญ / กลุ่มผู้ตัดสินใจ	มากที่สุด	มาก	น้อย	น้อยที่สุด
ผู้รับผิดชอบโครงการ	F1	F2	F4	F3
ผู้กำหนดนโยบาย	F1	F2	F4	F3
หน่วยงานเอกชน	F1	F4	F2	F3

3.3 ค่าน้ำหนักทางเลือกในการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ค่าน้ำหนักของทางเลือกระหว่างวิธี AHP และ FAHP มีค่าใกล้เคียงกันทั้งนี้รูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสม คือ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ผสาน 3 เทคโนโลยี (ร้อยละ 25) รองลงมา คือ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ผสาน 2 เทคโนโลยี (ระหว่างร้อยละ 13 ถึงร้อยละ 18) ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ใช้เทคโนโลยีเดียว (ระหว่างร้อยละ 8 ถึงร้อยละ 13) ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6

ทางเลือกโรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรูปแบบที่ผสาน 2 เทคโนโลยี เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทางเลือกดังกล่าว กฟผ. ได้ศึกษาและพัฒนาเป็นโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิรินธร และ สนพ. ได้บรรจุโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บน ทุ่นลอยน้ำให้มีกำลังการผลิตรวม 2,725 เมกะวัตต์ ภายใน พ.ศ 2580 ในแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561–2580 [6]

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสานเทคโนโลยี โดยผลวิจัย

ระบุว่าทางเลือกโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ใช้เทคโนโลยีแบบผสานระหว่าง 3 เทคโนโลยี และ 2 เทคโนโลยี มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงกว่าทางเลือก ที่ใช้เทคโนโลยีเดียว [24]

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (FAHP) เพื่อจัดลำดับปัจจัยสำคัญและทางเลือกรูปแบบการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ค่าน้ำหนักความสำคัญวิเคราะห์ได้จากข้อมูลการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เฉลี่ย 15 ปี (ระหว่าง 5–33 ปี) ปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกรูปแบบโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี การยอมรับจากสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งกลุ่มปัจจัยได้เป็น 2 ส่วน คือ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม (ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้าและความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี) และปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม (การยอมรับจากสาธารณะและการใช้ประโยชน์ที่ดิน)

การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญ ระหว่างวิธี AHP และวิธี FAHP ค่าน้ำหนักปัจจัยสำคัญที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าความคลุมเครือ และความไม่แน่นอนในการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญมีไม่มากนัก

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจำแนกตามกลุ่มผู้ตัดสินใจพบว่า ทุกกลุ่มให้ความสำคัญกับราคาต้นทุนค่าไฟฟ้ามากที่สุด และให้ความสำคัญกับ การใช้ประโยชน์ที่ดินสำคัญน้อยที่สุด ทั้งนี้กลุ่มผู้กำหนดนโยบายและกลุ่มผู้รับผิดชอบโครงการให้ความสำคัญกับปัจจัยในลำดับที่สอดคล้องกัน (ราคาต้นทุนค่าไฟฟ้า ความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี การยอมรับจากสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ) โดยกลุ่มผู้กำหนดนโยบายให้ความสำคัญการยอมรับจากสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดินใกล้เคียงกัน ในขณะที่กลุ่มหน่วยงานเอกชนให้การยอมรับจากสาธารณะมากกว่าความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานเอกชนให้ความเห็นว่า นอกจากการพิจารณาปัจจัยด้านเทคโนโลยีแล้วการพัฒนาโครงการยังต้องการเร่งการดำเนินงาน เพื่อลดค่าเสียโอกาสในการลงทุน ด้วยเหตุนี้การยอมรับจากสาธารณะจึงเป็นปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักความสำคัญไม่น้อยไปกว่าปัจจัยความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี

โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสม ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ผสาน 3 เทคโนโลยี รองลงมา ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ผสาน 2 เทคโนโลยี ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ใช้เทคโนโลยีเดียว ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานลม และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับ ดังนั้นการผลักดันรูปแบบพลังงานที่ผสมผสานเทคโนโลยีที่เข้ากันได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่หน่วยงานทุกกลุ่มเห็นสอดคล้องกันจะเป็นทางเลือกในการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทยได้อย่างเหมาะสมโดยความร่วมมือของทุกภาคส่วน

งานวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ในกระบวนการกำหนดนโยบายเชิงบูรณาการเพื่อพัฒนาด้านพลังงานอย่างยั่งยืนโดยอาศัยดุลพินิจต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้อย่างรอบด้านยิ่งขึ้น ดังเช่นการประยุกต์ใช้ในการวางแผนบูรณาการ พลังงานระยะยาวของประเทศไทย (TIEB) เป็นต้น [25]

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญจาก สศช. สนพ. พพ. กฟผ. และ กฟภ. และหน่วยงานจากภาคเอกชนที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม และให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] UN General Assembly, “The Sustainable Development Goals Report,” United Nations, San Francisco, CA, 2021.

[2] Office of the National Economic and Social Development Board, “National Strategy

2018–2037," Secretariat Office, Bangkok, Thailand, 2018 (in Thai).

[3] Ministry of Energy "Ministry of Energy Strategy Plan 2016–2020," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2016 (in Thai).

[4] Energy Policy and Planning Office, "Energy Policy and Planning Office Strategy Plan 2017–2021," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2017 (in Thai).

[5] Electricity Generating Authority of Thailand, "Electricity Generating Authority of Thailand Enterprise Plan 2021 – 2030," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2021 (in Thai).

[6] Energy Policy and Planning Office, "Power Development Plan 2018 Rev.1," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2020 (in Thai).

[7] Electricity Generating Authority of Thailand, "Explore the renewable energy world," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2020 (in Thai).

[8] Global petrol prices, "Electricity prices," (2022, March) [Online] Available: https://www.globalpetrolprices.com/.

[9] Electricity Generating Authority of Thailand, "Average cost of electricity production in front of power plants," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2021 (in Thai).

[10] B. Nasae, *Movement in the affected area*, Bangkok: Community Development Institute, Thailand, 2018 (in Thai).

[11] E. Løken, "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 7, pp. 1584–1595, 2007.

[12] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, Pittsburgh, PA: RWS Publications, 1980.

[13] T. L. Saaty, *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, New York, NY: Springer, 2012.

[14] S. Kubler, J. Robert, W. Derigent, A. Voisin, Y. Traon, "A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP applications," *Expert Systems with Applications*, vol. 65, pp. 398–422, 2016.

[15] A. Mardani, A. Jusoh, E. K. Zavadskas "Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications," *Expert System with Applications*, vol. 42, no. 8, pp. 4126–4148, 2015.

[16] B. Haddad, A. Liazid, and P. Ferreira, "A multi-criteria approach to rank renewables for the Algerian electricity system," *Renewable Energy*, vol. 107, pp. 462–472, 2017.

[17] S. Ahmad, R. M. Tahar, "Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia," *Renewable Energy*, vol. 63, pp. 458–466, 2014.

[18] E. Karakaş, "Evaluation of Renewable Energy Alternatives for Turkey via Modified Fuzzy AHP," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 9, no. 2, pp. 31–39, 2019.

[19] B. Karatop, B. Taşkan, E. Adar, and C. Kubat, "Decision analysis related to the renewable energy investments in Turkey based on a Fuzzy AHP-EDAS-Fuzzy FMEA approach," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 151, 2021.

[20] Ö. Alkan and Ö. K. Albayrak, "Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based fuzzy COPRAS and fuzzy MULTIMOORA," *Renewable Energy*, vol. 162, pp. 712–726, 2020.

[21] Energy Policy and Planning Office, "Order of the Energy Policy Executive Committee," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2014 (in Thai).

[22] Electricity Generating Authority of Thailand, "Order appointing a working group to study the feasibility of developing alternative energy power plants," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2021 (in Thai).

[23] D. Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," *European Journal of Operational Research*, vol. 95, no. 3, pp. 649–655, 1996.

[24] J. C. Mourmouris, C.Potolias, "A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece," *Energy Policy*, vol. 52, pp. 522–530, 2013.

[25] Energy Policy and Planning Office, "Thailand Integrated Energy Blueprint," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2016 (in Thai).