

การพัฒนาเกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายวัสดุอุปกรณ์สำนักงานระบบเครื่องกล ไฟฟ้า และสุขาภิบาล ของโครงการก่อสร้าง โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์โครงข่ายแบบคลุมเครือ

ธนัชฐาน พรหมหงษ์<sup>1</sup>

สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรุงเทพมหานคร 10900

พัชรภรณ์ ญาณภิต<sup>2</sup> และ ศันสนีย์ สุภาภา<sup>3</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Received: 02 April 2025; Revised: 22 May 2025; Accepted: 28 May 2025

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ สำหรับคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง สำหรับกรณีศึกษาผู้จัดจำหน่ายวัสดุอุปกรณ์สิ่งทำ โดยรวบรวมเกณฑ์เบื้องต้นจากการทบทวนบทความวิชาการ แล้วใช้เทคนิคเดลฟายในการรวบรวมความคิดเห็นจากมุมมองของผู้เชี่ยวชาญแบบไม่เปิดเผยรายชื่อเพื่อหาข้อสรุปเกณฑ์ในการประเมิน จากนั้นจึงวิเคราะห์น้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ด้วยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์โครงข่ายแบบคลุมเครือ เนื่องจากทฤษฎีเซตความคลุมเครือสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้วิธีการกระบวนการวิเคราะห์โครงข่ายยังช่วยให้การประเมินแบบรอบด้านโดยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบย่อยในแต่ละลำดับชั้น หรือ ภายในระดับชั้นเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่า เกณฑ์ประเมินสำหรับกระบวนการคัดเลือกของกรณีศึกษา ประกอบด้วยเกณฑ์หลักจำนวน 6 เกณฑ์ และ เกณฑ์รองทั้งหมดจำนวน 17 เกณฑ์ ซึ่งครอบคลุมต่อปัจจัยความสำเร็จของโครงการก่อสร้างด้านราคา ด้านคุณภาพ ด้านการขนส่ง ด้านบริการหลังการขาย ด้านการปฏิบัติตามเงื่อนไข และด้านโครงสร้างองค์กรผู้จัดจำหน่าย ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** กระบวนการวิเคราะห์โครงข่ายแบบคลุมเครือ, เทคนิคเดลฟาย, การคัดเลือกผู้จัดจำหน่าย

\* Corresponding author. E-mail: fengppy@ku.ac.th

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2,3</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Developing selection criteria for mechanical, electrical and plumbing custom-made product suppliers in construction projects using the fuzzy analytical network process

Thanittan Promhong<sup>1</sup>

Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,  
Kasetsart University, Bangkok 10900

Patcharaporn Yanpirat<sup>\*2</sup> and Sansanee Supapa<sup>3</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

Received: 02 April 2025; Revised: 22 May 2025; Accepted: 28 May 2025

### Abstract

The research applies a multi-criteria decision-making method to select suppliers in the construction industry, specifically for custom-made material and equipment suppliers. The initial criteria were gathered from a review of academic articles, and the Delphi technique was used to collect expert opinions confidentially in order to determine the evaluation criteria. The weights of each criterion were then analyzed using the Fuzzy Analytical Network Process (FANP), as fuzzy set theory effectively handles uncertainty. Furthermore, the Analytical Network Process enables a comprehensive evaluation by considering the relationships between sub- criteria at each level or within the same level. The research findings revealed that the evaluation criteria for the case study's selection process include 6 main criteria and 17 sub-criteria, covering key success factors for construction projects in terms of price, quality, transportation, after-sales service, required operating condition and supplier's organizational structure, respectively.

**Keywords:** fuzzy analytical network process, Delphi technique, supplier selection

---

\* Corresponding author. E-mail: fengppy@ku.ac.th

<sup>1</sup> Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of engineering, Kasetsart University

<sup>2,3</sup> Associate Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of engineering, Kasetsart University

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างมีบทบาทสำคัญในเศรษฐกิจ ส่งผลกระทบอย่างมากต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product, GDP) และการจ้างงาน โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา [1] ประเทศไทยในช่วงปีพ.ศ. 2557 ถึงพ.ศ. 2566 มูลค่าการลงทุนก่อสร้างโดยรวมมีสัดส่วนเฉลี่ย 8 เปอร์เซ็นต์ แม้จากวิกฤต COVID-19 มีส่วนทำให้มูลค่าการลงทุนก่อสร้างภาคเอกชนโดยรวมเติบโตในอัตราชะลอตัว แต่ภาครัฐยังคงเร่งลงทุนก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานอย่างต่อเนื่องเพื่อขับเคลื่อนการเติบโตทางเศรษฐกิจและดึงดูดการลงทุนจากต่างชาติ [2] ความล้มเหลวในอุตสาหกรรมก่อสร้างไม่เพียงแต่กระทบต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวม [3] โดยปัจจัยความสำเร็จของโครงการก่อสร้าง คือ การดำเนินงานให้แล้วเสร็จตามระยะเวลาสัญญา ภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนด และดำเนินงานให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพหลักวิศวกรรม [4] การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายแบบดั้งเดิมจะพิจารณาด้านราคาเพียงอย่างเดียว [4-7] แต่การพิจารณามิติราคาเพียงด้านเดียวไม่เพียงพอในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่มีการแข่งขันสูง การพิจารณาเกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายที่ครอบคลุมควบคุมคู่กับราคา สร้างความได้เปรียบในการแข่งขันและทำให้มั่นใจได้ว่าการดำเนินโครงการก่อสร้างจะประสบความสำเร็จอย่างยั่งยืน [4]

บริษัทกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจรับเหมาก่อสร้างแบบครบวงจร ประกอบด้วยงานก่อสร้างโยธา งานสถาปัตยกรรม และงานระบบประกอบอาคาร มีบทบาทเป็นผู้รับจ้างในโครงการก่อสร้าง ดำเนินธุรกิจภายใต้เป้าหมาย ผลประกอบการที่ดี และดำเนินงานที่ตอบสนองต่อความต้องการ ตลอดจนความพึงพอใจของผู้ว่าจ้างจนส่งมอบโครงการ การตอบสนองต่อความต้องการของผู้ว่าจ้าง หรือข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละโครงการ ทำให้ผู้รับจ้างต้องเลือกสรรวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้งในโครงการให้ตรงตามวัตถุประสงค์การออกแบบของระบบภายในอาคารให้ใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ จากความต้องการของผู้ว่าจ้างที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง ดังนั้นผู้รับจ้างจำเป็นต้องเลือกวัสดุอุปกรณ์สั่งทำ (Custom Made Product) โดยถูกออกแบบมาเฉพาะโครงการ ทั้งในด้านเทคนิค กระบวนการผลิตที่

ซับซ้อน และระยะเวลาการจัดส่งที่ยาวนาน ผู้จัดจำหน่ายที่ถูกคัดเลือกจำเป็นต้องมีความชำนาญสูงกว่าวัสดุอุปกรณ์ทั่วไปที่ถูกผลิตไว้ รวมถึงความสามารถในการส่งมอบวัสดุอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดี ระยะเวลาการจัดส่งที่ทันตามแผนงาน และราคาที่สมเหตุสมผล ผู้จัดจำหน่ายที่มีความยืดหยุ่นจึงส่งผลต่อความง่ายในการบริหารจัดการโครงการให้อยู่ในกรอบระยะเวลา ต้นทุน และควบคุมความเสี่ยงต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานก่อสร้าง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายวัสดุอุปกรณ์สั่งทำงานระบบเครื่องกล ไฟฟ้า และสุขาภิบาล ของโครงการก่อสร้าง โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์โครงข่ายแบบคลุมเครือ

## 2. การทบทวนวรรณกรรม

การเลือกผู้จัดจำหน่ายที่เหมาะสม ส่งผลให้การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์เกิดประสิทธิภาพต่อโครงการสูงสุด ทั้งด้านคุณภาพ ระยะเวลา และต้นทุน มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความสำเร็จของโครงการก่อสร้าง

### 2.1 ความสำคัญการคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายสำหรับจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ของโครงการก่อสร้าง

การจัดหาและจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์มีนัยสำคัญต่อต้นทุนโดยรวมของโครงการก่อสร้าง จากการศึกษาพบว่า ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอุปกรณ์คิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนการก่อสร้างทั้งหมด โครงการจึงให้ความสำคัญในกระบวนการจัดหาและจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของโครงการ [8] ในทางตรงกันข้ามหากกระบวนการจัดหาและจัดซื้อที่ไม่เหมาะสมนำไปสู่การเพิ่มระยะเวลาของโครงการเป็นสองเท่า [9] การจัดซื้อจึงเป็นสิ่งสำคัญ ที่ส่งผลต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้าง การปรับปรุงกระบวนการจัดซื้อและเงื่อนไขในการเจรจาต่อรองที่มีประสิทธิภาพนำไปสู่ผลลัพธ์ของโครงการที่ดีขึ้น [10] การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสมกับเป้าหมายของโครงการ ก่อสร้างนำไปสู่การเพิ่มระยะเวลาของสัญญาและต้นทุนที่สูงขึ้น [11-13] การจัดหาและจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางตรงต่อโครงการ แต่การหาสมดุลของเป้าหมายที่ขัดแย้ง

กันระหว่างต้นทุนและระยะเวลาของโครงการเพื่อให้บรรลุความสำเร็จทั้งในแง่กำไรและส่งมอบงานให้ทันระยะเวลาตามสัญญา เป็นความท้าทายในกระบวนการ ดังนั้นการตัดสินใจเลือกผู้จัดจำหน่ายเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานโครงการก่อสร้าง [14]

## 2.2 การประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์

ปัญหาการตัดสินใจอันละเอียดอ่อนเกิดขึ้นบ่อยครั้ง เช่น ปัญหาการจัดอันดับ หรือ เรียงลำดับทางเลือก ที่ไม่ได้พิจารณาเพียงเกณฑ์ข้อเดียว หากต้องพิจารณาเกณฑ์หลายประการในกระบวนการตัดสินใจ โดยทั่วไป ไม่มีตัวเลือกไหนที่สมบูรณ์แบบ หรือ ได้ตามอุดมคติทั้งหมด จึงจำเป็นต้องหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-criteria Decision Making, MCDM) เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในงานวิจัยหลากหลายสาขาอย่างต่อเนื่อง โดยวิธี MCDM ช่วยแก้ปัญหาที่มีความหลากหลายตามลักษณะของข้อจำกัดปัญหา และมุมมองของแต่ละบุคคล [15] MCDM ที่หลากหลายถูกมองว่ามีจุดแข็งในหลายด้าน แต่ก็สามารถมีจุดอ่อนได้เช่นกัน จนถึงขณะนี้ ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดเหมาะสมมากกว่า ซึ่งแต่ละวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่จะนำวิธีการดังกล่าวไปใช้งาน [16] MCDM มีวิธีการที่หลากหลาย และถูกใช้อย่างแพร่หลายในบทความวิชาการต่าง ๆ จากฐานข้อมูล ScienceDirect ระหว่างปีค.ศ. 2012 ถึง ค.ศ.2022 พบว่ามีมากกว่า 60 วิธี [17] สามารถแบ่งเป็น Crisp MCDM จำนวนประมาณ 40 วิธี ตัวอย่างเช่น

2.2.1 เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปีค.ศ. 1950 โดย Kaplan ที่ บริษัท แรนต์ (RAND Corporation) เป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นระบบ ไม่ระบุตัวตน และมีการตรวจสอบซ้ำ จนกว่าผู้เชี่ยวชาญจะมีความคิดเห็นพ้องต้องกัน และมีความสำคัญอย่างมาก [18]

2.2.2 ทฤษฎีอรรถประโยชน์หลายคุณลักษณะ (Multi-Attribute Utility Theory: MAUT) เป็นการใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ ในการกำหนดความพึงพอใจ หรือ ความต้องการ โดยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาในการตัดสินใจที่มีข้อจำกัดของทางเลือก ยอมรับข้อเสียบางอย่างเพื่อให้บรรลุเป้าหมายอื่น ๆ ให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยรวม [19]

2.2.3 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ถูกใช้สำหรับการตัดสินใจเลือกผู้จำหน่าย กรณีศึกษาของอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศปากีสถาน โดยมีการเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์และทางเลือกเป็นคู่ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบความสอดคล้องการแสดงความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจ [20]

2.2.4 กระบวนการวิเคราะห์แบบโครงข่าย (Analytical Network Process: ANP) ให้ผลลัพธ์ที่สมจริงมากกว่าวิธีดั้งเดิมอย่าง กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เนื่องจากสนใจความสัมพันธ์ที่มีอิทธิพลระหว่างเกณฑ์ [21]

2.2.5 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ถูกพัฒนาโดย Hwang และ Yoon ในปีค.ศ. 1981 โดยทางออกที่เป็นอุดมคติเชิงบวก จะเพิ่มเกณฑ์ด้านผลประโยชน์สูงสุด และลดเกณฑ์ด้านต้นทุนให้น้อยที่สุด ในขณะที่ทางออกที่เป็นอุดมคติเชิงลบ จะเพิ่มเกณฑ์ด้านต้นทุนสูงสุดและลดเกณฑ์ด้านผลประโยชน์ให้น้อยที่สุด [22]

2.2.6 Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่ม Outranking Methods คือการเปรียบเทียบทางเลือกแต่ละคู่ภายใต้ทุกเกณฑ์ และคำนวณค่าการพึงพอใจจากการเปรียบเทียบ ถูกประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกรถชุดดิน ซึ่งได้ผลการจัดอันดับเหมือนกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ [23]

2.2.7 Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) ถูกประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกโครงการ โดยมีการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์แบบนิวโทรโซฟิค (Neutrosophic) ซึ่งเป็นวิธีจัดการกับความไม่แน่นอนและความไม่แม่นยำ [24]

โดย Crisp MCDM มีข้อดีและข้อจำกัดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อจำกัดของ Crisp MCDM

วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
Delphi	เป็นการรวบรวมความคิดเห็นจากหลายมุมมองของผู้เชี่ยวชาญแบบไม่เปิดเผยชื่อเพื่อหาข้อสรุป	ใช้เวลามาก ต้องทำแบบสำรวจหลายรอบ และผลลัพธ์อาจได้รับอิทธิพลจากการเลือกผู้เชี่ยวชาญ
MAUT	ให้กรอบการตัดสินใจที่มีเหตุผลภายใต้ความไม่แน่นอน สามารถจำลองการแลกเปลี่ยนระหว่างเกณฑ์ได้	ซับซ้อนและต้องสร้างฟังก์ชันยูทิลิตี้ที่ละเอียด ทำให้ยากต่อการประยุกต์ใช้งานจริง
AHP	เข้าใจง่าย มีโครงสร้างในการแก้ปัญหา ออกเป็นส่วนย่อยอย่างชัดเจน	วิธีนี้อาจยุ่งยากเมื่อมีเกณฑ์จำนวนมาก ส่งผลต่อความคาดเคลื่อน
ANP	จัดการกับการพึ่งพาระหว่างกันและกันระหว่างเกณฑ์ และอนุญาตให้มีการป้อนกลับภายในโครงสร้างการตัดสินใจ	การคำนวณซับซ้อนและใช้เวลา ต้องเชี่ยวชาญในการสร้างแบบจำลองเครือข่าย
TOPSIS	พิจารณาทั้งสถานการณ์ที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุด ให้การจัดอันดับที่ชัดเจนใกล้เคียงกับวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด	ไม่จัดการกับความไม่แน่นอน และสมมติว่าเกณฑ์มีความสำคัญเท่ากันหรือ ต้องหาน้ำหนักเกณฑ์ก่อน
PROMETHEE	จัดการกับเกณฑ์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ มีความยืดหยุ่นของฟังก์ชันการตั้งค่าที่แตกต่างกัน	การเลือกฟังก์ชันการตั้งค่าขึ้นกับเหตุผลส่วนบุคคล และยากในการคำนวณเมื่อเทียบกับวิธี TOPSIS
DEMATEL	วิเคราะห์และแสดงความสัมพันธ์การพึ่งพาระหว่างปัจจัยอย่างชัดเจนและเป็นระบบ	ฟังก์ชันการประเมินเชิงคุณภาพอาจส่งผลต่อความเชื่อถือได้

และเป็น Fuzzy MCDM จำนวน 20 วิธี ตัวอย่างเช่น

2.2.8 ทฤษฎีเซตความคลุมเครือ (Fuzzy Set Theory) ถูกเสนอครั้งแรกโดยศาสตราจารย์ Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ

ความไม่แน่นอนและความคลุมเครือของตัวแปรทางภาษาที่อาจนำไปสู่ความกำกวมในกระบวนการตัดสินใจ [15] เพื่อเอาชนะข้อจำกัดนี้ ได้มีการกำหนดขอบเขตด้านล่างและด้านบนของค่าการตัดสินใจในรูปแบบช่วงค่า [25] โดยการใช้ตัวเลขที่ซี้สามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number: TFN) ในรูปฟังก์ชันสมาชิกพารามิเตอร์  $l$ ,  $m$  และ  $r$  คือ ชุดขอบเขตตัวเลขที่ชัดเจนสำหรับอธิบายเหตุการณ์คลุมเครือ ช่วยให้ผู้ใช้ประเมินสามารถระบุสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แนวทางนี้สามารถแสดงข้อมูลที่ไม่แน่นอนให้มีความชัดเจนและช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของการประเมินมากขึ้น [26]

2.2.9 กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นแบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytical Hierarchy Process: FAHP) เป็นการผสมผสานระหว่างทฤษฎีเซตความคลุมเครือ และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ถูกใช้ในการออกแบบสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กบนทางหลวงที่ซับซ้อน เพื่อให้มั่นใจในด้านความปลอดภัย การใช้งาน และความคุ้มค่า [27]

2.2.10 Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (Fuzzy-TOPSIS) เป็นการจัดลำดับความพึงพอใจโดยพิจารณาจากคำตอบในอุดมคติรวมเข้ากับทฤษฎีเซตความคลุมเครือ ถูกประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายในอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ ผ่านโปรแกรม MATLAB [28]

2.2.11 Fuzzy Data Envelopment Analysis (Fuzzy-DEA) เป็นวิธีการที่สามารถแยกแยะระหว่างหน่วยการตัดสินใจ (DMUs) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดีกว่าวิธีการดั้งเดิมอย่างกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ [29]

2.2.12 Fuzzy Best Worst Method (Fuzzy-BWM) และ Fuzzy Multi-objective Optimization by Ratio Analysis (Fuzzy-MOORA) ถูกประยุกต์ใช้ในการเลือกผู้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์สีเขียว โดยใช้วิธีการ Fuzzy-BWM หรือน้ำหนักของเกณฑ์เชิงอัตนัย และวิธีการ Fuzzy-MOORA เพื่อจัดอันดับ [30]

2.2.13 Induced Intuitionistic Fuzzy Hamacher Power Ordered Weighted Average (I-FHPOWA) เป็นวิธีจัดการกับปัญหาการตัดสินใจที่มีความคลุมเครือของข้อมูลที่รวมถึงระดับของการเป็นสมาชิก ระดับของการไม่เป็นสมาชิก และระดับความไม่แน่นอนเข้ากับความยืดหยุ่น

ของตัวดำเนินการ Hamacher ค่าเฉลี่ยพลัง และตัวดำเนินการค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามลำดับ [31]

โดย Fuzzy MCDM มีข้อดีและข้อจำกัดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อจำกัดของ Fuzzy MCDM

วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
FAHP	จัดการกับความไม่แน่นอนในกระบวนการเปรียบเทียบคู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	ใช้เวลานานและมีความซับซ้อนในการคำนวณ เนื่องจากต้องเชี่ยวชาญทั้ง AHP และทฤษฎีเซตความคลุมเครือ
Fuzzy-TOPSIS	เข้าใจและใช้งานง่าย ผสมทฤษฎีเซตความคลุมเครือในเกณฑ์ให้การจัดลำดับทางเลือกที่ตรงไปตรงมา	ต้องมีความเข้าใจทฤษฎีเซตความคลุมเครือ ประสิทธิภาพอาจได้รับการกระทบจากการเลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิก
Fuzzy-DEA	สามารถจัดการกับปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์หลาย ๆ อย่างได้ และอนุญาตให้เปรียบเทียบหน่วยการตัดสินใจ	ผลลัพธ์อาจมีความไวต่อการเลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิก
Fuzzy-MOORA	จัดการกับความไม่แน่นอน และมีประสิทธิภาพในการจัดการหลายเกณฑ์ในการตัดสินใจ	อาจต้องการการปรับเกณฑ์ ซึ่งอาจทำให้สูญเสียข้อมูล
Fuzzy-BWM	จัดการความคลุมเครือลดการเปรียบเทียบคู่ที่จำเป็น	ต้องการความเชี่ยวชาญในทฤษฎีเซตความคลุมเครือเพื่อกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก
I-IFHPOWA	จัดการกับความไม่แน่นอน โดยให้การวิเคราะห์ที่ละเอียดและยืดหยุ่น	ซับซ้อนในการดำเนินการและตีความ ผลลัพธ์อาจไวต่อการป้อนข้อมูลและการเลือกพารามิเตอร์

งานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธี FANP เนื่องจากทฤษฎีเซตความคลุมเครือสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนและข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ (Imperfect Information) นอกจากนี้วิธีการกระบวนการวิเคราะห์แบบโครงข่ายยังช่วยให้การประเมินแบบรอบด้านโดยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์

ในแต่ละลำดับชั้น หรือ ภายในระดับชั้นเดียวกัน ทำให้การวิเคราะห์น้ำหนักของเกณฑ์มีความสมจริงยิ่งขึ้น

### 2.3 เกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์วัสดุอุปกรณ์ของโครงการก่อสร้าง

จากการทบทวนบทความวิชาการ สามารถสรุปเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายเบื้องต้น ดังตารางที่ 3 ซึ่งครอบคลุม และทันสมัยต่อการคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทยปัจจุบัน โดยมีทั้งเกณฑ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ดังนั้นวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เกณฑ์เบื้องต้นทั้งหมด 23 เกณฑ์ [32] มาตั้งชื่อและคำนิยามของแต่ละเกณฑ์ใหม่ให้สอดคล้องกับบริบทการประเมินผู้จัดจำหน่ายของบริษัทกรณีศึกษา แล้วใช้เทคนิคเดลฟายให้ผู้เชี่ยวชาญตัดสินใจคัดเลือกเกณฑ์ประเมินสุดท้าย

ตารางที่ 3 เกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายและแหล่งที่มาที่เกี่ยวข้อง

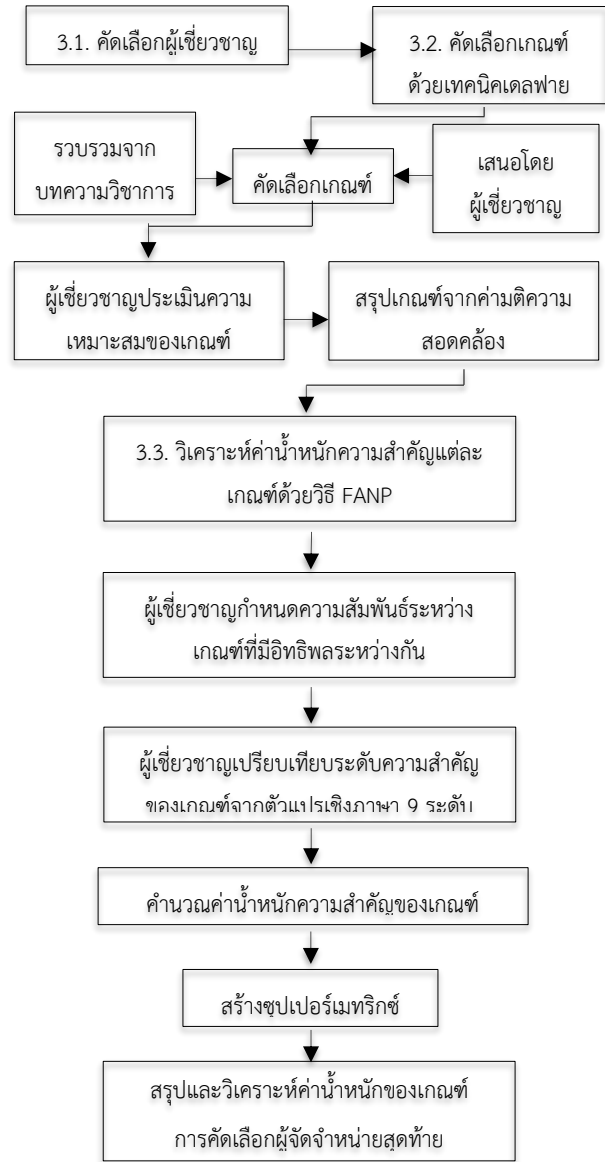
ลำดับ	ชื่อเกณฑ์	คำนิยาม	แหล่งที่มาที่เกี่ยวข้อง
1	คุณภาพ	มาตรฐานวัสดุอุปกรณ์	[4-5], [7], [32-35]
2	การส่งมอบ	ความสามารถในการส่งมอบ	[4-5], [7], [32-35]
3	ประวัติผลงาน	ผลงานอ้างอิงย้อนหลัง	[6-7], [32], [36]
4	นโยบายการรับประกันและการเคลม	ข้อกำหนดและเงื่อนไขการรับประกัน	[7], [32], [36]
5	สิ่งอำนวยความสะดวกและกำลังการผลิต	ความพร้อมของเครื่องจักรและความสามารถในการผลิต	[4-7], [32-33], [36]
6	ราคา	ต้นทุนวัสดุอุปกรณ์	[5-7], [32-36]
7	ความสามารถทางเทคนิค	ความเชี่ยวชาญและทักษะทางเทคนิค	[6-7], [32-33], [36]
8	สถานะทางการเงิน	ความมั่นคงและสภาพคล่องทางการเงิน	[6-7], [32], [34], [36]
9	การปฏิบัติตามขั้นตอน	การปฏิบัติตามกฎระเบียบและมาตรฐาน	[32]

ลำดับ	ชื่อเกณฑ์	คำนิยาม	แหล่งที่มาที่เกี่ยวข้อง
10	ระบบการสื่อสาร	ระบบและกระบวนการในการสื่อสาร	[6-7], [32]
11	ชื่อเสียงและตำแหน่งในอุตสาหกรรม	ความน่าเชื่อถือและสถานะของบริษัท	[32], [36]
12	ความต้องการทางธุรกิจ	ความเข้ากันได้ทางธุรกิจ	[32]
13	การจัดการและองค์กร	โครงสร้างและการบริหารจัดการองค์กร	[6-7], [32-33]
14	การควบคุมการปฏิบัติงาน	กระบวนการควบคุมและตรวจสอบการทำงาน	[6], [32-33]
15	บริการซ่อมบำรุง	บริการในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา	[4], [6-7], [32-33], [35]
16	ทัศนคติ	ทัศนคติและพฤติกรรมของพนักงาน	[4-5], [7], [32-34], [36]
17	ภาพลักษณ์	ความประทับใจต่อบริษัท	[7], [32], [36]
18	บรรทัดฐาน	ความเหมาะสมของมาตรฐานบรรทัดฐาน	[6-7], [32-33]
19	ประวัติความสัมพันธ์กับแรงงาน	ความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างแรงงาน	[7], [32]
20	สถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์	ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงาน	[6-7], [32-33], [35-36]
21	จำนวนธุรกิจที่ผ่านมา	จำนวนธุรกิจที่บริษัทในอดีต	[32]
22	สื่อการฝึกอบรม	กิจกรรมฝึกอบรม	[6], [32]
23	ข้อตกลงซึ่งกันและกัน	ข้อตกลงหรือสัญญาในการซื้อขาย	[32]

### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงเกณฑ์และค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมินสำหรับกระบวนการคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายอุปกรณ์สิ่งทำ งานระบบเครื่องกล ไฟฟ้า และสุขภาพของโครงการก่อสร้าง โดยมี

การรวบรวมเกณฑ์เบื้องต้นจากการทบทวนบทความวิชาการ และใช้เทคนิคเดลฟายในการรวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในสายงานมากกว่า 15 ปี เพื่อกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายที่เหมาะสม และใช้กระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างแบบคลุมเครือสำหรับกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย หรือ ผู้เกี่ยวข้องหลักในโครงการก่อสร้าง ได้แก่ ผู้ว่าจ้าง หรือ เจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ ที่ปรึกษาโครงการ ผู้รับจ้าง หรือ ผู้รับเหมา และผู้จัดจำหน่าย

### 3.2 คัดเลือกเกณฑ์การประเมิน

งานวิจัยนี้คัดเลือกเกณฑ์ด้วยเทคนิคเดลฟายซึ่งเป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นระบบ ไม่ระบุตัวตน และมีการตรวจสอบซ้ำ [17] มี 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทบทวนบทความทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้เกณฑ์เบื้องต้นดังตารางที่ 3 เกณฑ์ดังกล่าวจะถูกนำมาจัดกลุ่ม ตั้งชื่อ และคำนิยามใหม่ สำหรับสร้างแบบสอบถามเพื่อขอความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญถึงความเหมาะสมในการจัดกลุ่มและการคัดเลือกเกณฑ์ประเมินผู้จัดจำหน่าย

ขั้นตอนที่ 2 ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินว่าการจัดกลุ่มเกณฑ์และเกณฑ์นั้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปพิจารณาหรือไม่ โดยผู้เชี่ยวชาญสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ โดยต้องให้เหตุผลคำตอบที่ไม่นำไปพิจารณา เพื่อเป็นข้อมูลย้อนกลับไปยังผู้เชี่ยวชาญของการตอบแบบสอบถามในรอบถัดไป นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญยังสามารถแก้ไขปรับปรุงและเสนอแนะเกณฑ์เพิ่มเติมที่จะนำไปพิจารณาได้

ขั้นตอนที่ 3 รวบรวมผลแบบสอบถาม โดยจะต้องคำนวณอัตราส่วนมิติความสอดคล้อง (Consistency Validity Ratio: CVR) ได้จากสมการที่ (1) [37] โดยเกณฑ์ที่จะถูกคัดเลือกจะต้องมีค่า CVR ขั้นต่ำเท่ากับ 0.99 [38] เกณฑ์ที่ไม่ถูกนำไปพิจารณาจะถูกตัดออก หรือ ปรับปรุงเพื่อให้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นอีกรอบจนกว่าค่า CVR จะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เมื่อมิติความสอดคล้องของเกณฑ์จากผู้เชี่ยวชาญเป็นเอกฉันท์แล้ว จะนำเกณฑ์ดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดความสำคัญต่อไป

$$CVR = \frac{N_{PE} - \binom{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (1)$$

โดยที่ CVR คือ อัตราส่วนความเที่ยงตรงของเนื้อหา  
 N<sub>PE</sub> คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ  
 N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

### 3.3 วิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์

วิจัยนี้วิเคราะห์น้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงข่ายแบบคลุมเครือ เนื่องจากทฤษฎีเซตความคลุมเครือสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์

โครงข่ายยังช่วยให้การประเมินแบบรอบด้านโดยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบย่อยในแต่ละลำดับชั้น หรือ ภายในระดับชั้นเดียวกัน โดยมีขั้นตอนที่สำคัญมีดังต่อไปนี้ [39]

ขั้นตอนที่ 1 จากผลสรุปเกณฑ์การคัดเลือกสุดท้ายจะนำเกณฑ์ดังกล่าวมาสร้างแบบสอบถาม เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญกำหนดและวิเคราะห์การพึ่งพากันระหว่างกลุ่มต่าง ๆ (Clusters) และองค์ประกอบภายในกลุ่ม (Elements) รวมไปถึง การพึ่งพากันระหว่างภายนอก หรือ ภายในด้วยตนเอง (Feedback) ซึ่งเป็นรากฐานสำหรับกระบวนการ ANP

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อทราบความสัมพันธ์แต่ละเกณฑ์จากนั้นผู้เชี่ยวชาญจะเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ ด้วยตัวแปรทางภาษาแบบ 9 ระดับ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ โดยนำผลการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในขั้นตอนที่ 2 แปลงเป็นชุดตัวเลขฟัซซีสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number: TFN) 9 ระดับของเมทริกซ์ดังสมการที่ (2)

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} = (1,1,1) & a_{12} = (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & a_{1n} = (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ a_{21} = (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & a_{22} = (1,1,1) & \dots & a_{2n} = (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} = (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & a_{n2} = (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & a_{nn} = (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าขอบเขตสังเคราะห์ (S<sub>i</sub>) จากค่าผลรวมการตัดสินใจด้วยสมการที่ (3)

$$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}]^{-1} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าระดับความเป็นไปได้ ด้วยสมการที่ (4) และสมการที่ (5)

$$V(S_i \geq S_j) = \sup [\min (S_j(x_j), S_i(x_i))] \cdot x_i > x_j \quad (4)$$

$$\text{โดยที่ } V(S_i \geq S_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_i \geq m_j \\ 0 & \text{if } l_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - l_j)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณน้ำหนักเวกเตอร์ของเกณฑ์ด้วยสมการที่ (6)

$$W'(x_i) = \min \{V(S_i \geq S_j)\} \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) โดยต้องแปลงตัวเลขฟัซซีที่มี

ความคลุมเครือกลับมาเป็นตัวเลขเดี่ยวที่มีความชัดเจน ( $P_{crisp}$ ) [40] ตามสมการที่ (7)

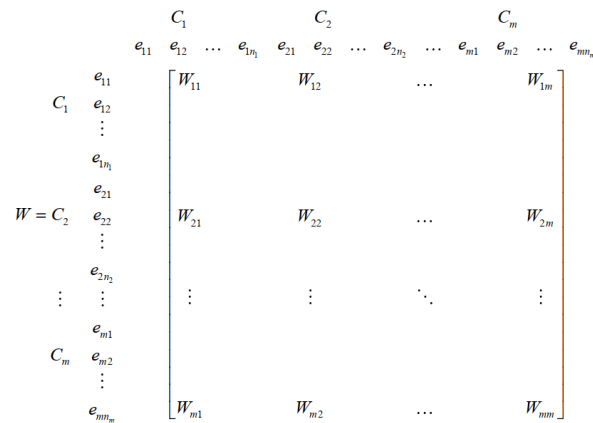
$$P_{crisp} = \frac{4m+1+u}{6} \quad (7)$$

หลังจากนั้นสามารถคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องของเมทริกซ์ [22] ได้ดังสมการที่ (8)

$$CR = \frac{\lambda_{max}-n}{(n-1) \cdot RI} \quad (8)$$

โดยที่  $\lambda_{max}$  คือ ค่ามากที่สุดของเวกเตอร์เมทริกซ์ A  
 n คือ จำนวนเกณฑ์  
 RI คือ ดัชนีสุ่มของความไม่สอดคล้อง

ขั้นตอนที่ 8 สร้างซูเปอร์เมทริกซ์ (Supermatrix) [23] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบทั่วไปของซูเปอร์เมทริกซ์ (Supermatrix)

ขั้นตอนที่ 9 คำนวณซูเปอร์เมทริกซ์จำกัด (Limit Supermatrix) ดังสมการที่ (9)

$$W^* = \lim_{g \rightarrow \infty} (W_w)^g \quad (9)$$

#### 4. ผลการวิจัย

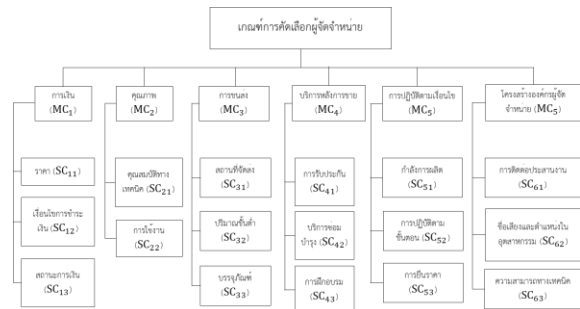
##### 4.1 ผลการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญพิจารณาจาก ผู้เกี่ยวข้องหลักในโครงการก่อสร้าง โดยผู้เชี่ยวชาญที่ถูกคัดเลือกจะต้องมีอำนาจอนุมัติในการให้จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเครื่องกล ไฟฟ้า และสุขาภิบาล พร้อมทั้งเป็นผู้มีประสบการณ์ในสายงานมากกว่า 15 ปี ผลการคัดเลือก

ผู้เชี่ยวชาญ คือ แผนกจัดซื้อจัดหา จำนวน 3 ท่าน และแผนกโครงการ จำนวน 2 ท่าน

##### 4.2 ผลการคัดเลือกเกณฑ์การประเมิน

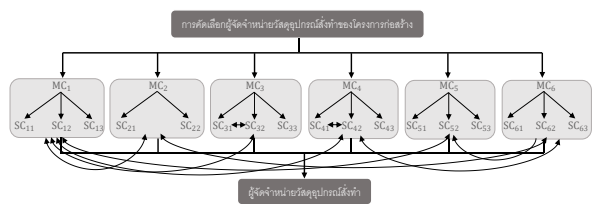
จากแบบสอบถามโดยใช้เทคนิคเดลฟาย ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นว่าการจัดกลุ่มเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองมีความเหมาะสม และผลการคัดเลือกเกณฑ์จากผู้เชี่ยวชาญเป็นมติเอกฉันท์ และมีค่า CVR อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในครั้งที่ 2 ซึ่งคำนวณด้วยสมการที่ (1) จึงได้ข้อสรุปเป็นเกณฑ์หลักจำนวน 6 เกณฑ์ และเกณฑ์รองจำนวน 17 เกณฑ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เกณฑ์การคัดเลือกผู้จัดจำหน่าย

##### 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์

จากผลสรุปเกณฑ์การคัดเลือกดังรูปที่ 4 ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน จะทำการกำหนดและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองสำหรับสร้างโครงข่าย ANP ได้ผลดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงข่ายการประเมินผู้จัดจำหน่าย

จากความสัมพันธ์แต่ละเกณฑ์ในรูปที่ 4 ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน จะทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลัก ด้วยตัวแปรทางภาษาแบบ 9 ระดับ หลังจากนั้นจะคำนวณตามสมการที่ (2) ถึง สมการที่ (7) เช่น ผลการคำนวณของเกณฑ์หลักภายใต้ MC1 โดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 เริ่มต้นจากการนำผลการแสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

คนที่ 1 แปลงเป็นชุดตัวเลขฟuzzy 9 ระดับ ในรูปของเมทริกซ์  
 ดังสมการที่ (2) ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการแปลงตัวเลขฟuzzy สามเหลี่ยม

j	MC <sub>2</sub>			MC <sub>3</sub>			MC <sub>4</sub>			MC <sub>5</sub>		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
MC <sub>2</sub>	1.0000	1.0000	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	1.0000	2.0000	3.0000	2.0000	3.0000	4.0000
MC <sub>3</sub>	0.2500	0.3333	0.5000	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.5000	1.0000	0.3333	0.5000	1.0000
MC <sub>4</sub>	0.3333	0.5000	1.0000	1.0000	2.0000	3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2500	0.3333	0.5000
MC <sub>5</sub>	0.2500	0.3333	0.5000	1.0000	2.0000	3.0000	2.0000	3.0000	4.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<b>ผลรวม</b>	1.8333	2.1667	3.0000	5.0000	8.0000	11.0000	4.3333	6.5000	9.0000	3.5833	4.8333	6.5000

ผลการคำนวณค่าขอบเขตสังเคราะห์ (Synthetic Extent Value: Si) ของเกณฑ์หลักภายใต้ MC<sub>1</sub> โดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ด้วยสมการที่ 3 ได้ผลดังตารางที่ 5 เช่น ผลรวมขอบเขตล่างของค่าตัดสินใจเกณฑ์หลัก MC<sub>2</sub> เปรียบเทียบกับเกณฑ์ MC<sub>3</sub>, MC<sub>4</sub> และ MC<sub>5</sub> จะได้  $S_i(MC_2) = \sum_{j=1}^n l_{ij} \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}]^{-1} = 6 \otimes (\frac{1}{29.5000}) = 0.2034$

ตารางที่ 5 ผลค่าขอบเขตสังเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1

MC <sub>i</sub>	l	m	u
MC <sub>2</sub>	0.2034	0.4186	0.8136
MC <sub>3</sub>	0.0650	0.1085	0.2373
MC <sub>4</sub>	0.0876	0.1783	0.3729
MC <sub>5</sub>	0.1441	0.2946	0.5763

ผลการหาค่าระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์หลักภายใต้ MC<sub>1</sub> โดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ด้วยสมการที่ 4 และสมการที่ 5 ได้ผลดังตารางที่ 6 เช่น การเปรียบเทียบคู่เกณฑ์ MC<sub>2</sub> เทียบกับ MC<sub>3</sub> โดยที่  $S_{MC_2} = (0.2034, 0.4186, 0.8136)$ ,  $S_{MC_3} = (0.0650, 0.1085, 0.2373)$  จะได้

$$V(S_{MC_2} \geq S_{MC_3}) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0.4186 \geq 0.1085 \\ 0 & \text{if } 0.0650 \geq 0.8136 \\ \frac{0.0650-0.8136}{(0.4186-0.8136)-(0.1085-0.0650)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

พบว่า MC<sub>2</sub> มีค่าเท่ากับ 0.4186 MC<sub>3</sub> มีค่าเท่ากับ 0.1085 ซึ่ง MC<sub>2</sub> มีค่ามากกว่า MC<sub>3</sub> ดังนั้นค่าระดับความเป็นไปได้เป็นไปตามเงื่อนไขแรก

ตารางที่ 6 ผลการหาค่าระดับความเป็นไปได้

MC <sub>2</sub>	≥	MC <sub>3</sub>	MC <sub>4</sub>	MC <sub>5</sub>	Min = 1.0000
		1.0000	1.0000	1.0000	
MC <sub>3</sub>	≥	MC <sub>2</sub>	MC <sub>4</sub>	MC <sub>5</sub>	Min = 0.0985
		0.0985	0.6821	0.3338	
MC <sub>4</sub>	≥	MC <sub>2</sub>	MC <sub>3</sub>	MC <sub>5</sub>	Min = 0.4136
		0.4136	1.0000	0.6630	
MC <sub>5</sub>	≥	MC <sub>2</sub>	MC <sub>3</sub>	MC <sub>4</sub>	Min = 0.7504
		0.7504	1.0000	1.0000	

ผลการคำนวณน้ำหนักของเกณฑ์หลักภายใต้ MC<sub>1</sub> ด้วยสมการที่ 6 ได้ผลดังตารางที่ 7 เช่น น้ำหนักของเกณฑ์ MC<sub>2</sub> จะได้  $\min(MC_2 \geq MC_3 \geq MC_4 \geq MC_5) = 1.0000$

ตารางที่ 7 ผลน้ำหนักเกณฑ์หลักภายใต้ MC<sub>1</sub>

เกณฑ์	w'	w
MC <sub>2</sub>	1.0000	0.4420
MC <sub>3</sub>	0.0985	0.0436
MC <sub>4</sub>	0.4136	0.1828
MC <sub>5</sub>	0.7504	0.3317
<b>ผลรวม</b>	2.2625	1.0000

ผลการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้องของเกณฑ์หลักภายใต้ MC<sub>1</sub> โดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ด้วยสมการที่ 7 และสมการที่ 8 ได้ผลดังตารางที่ 8 เช่น ผลการแปลงตัวเลขฟuzzy ที่มีความคลุมเครือกลับมาเป็นตัวเลขเดี่ยวที่มีความชัดเจนระหว่างเกณฑ์ MC<sub>2</sub> เทียบเกณฑ์ MC<sub>3</sub> = (2,3,4) ได้แก่  $P_{crisp} = \frac{4(3)+2+4}{6} = 3$  จากนั้นทำการคำนวณหาค่า  $\lambda_{max} = (0.4420*2.2500) + (0.0436*8.0000) + (0.1828*6.5556) + (0.3317*4.9028) = 4.1673$  สุดท้ายสามารถคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องได้เท่ากับ

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1) \cdot RI} = \frac{4.1673 - 4}{(4 - 1) \cdot 0.9} = 0.0620$$

ตารางที่ 8 ผลอัตราส่วนความสอดคล้อง

j	MC <sub>2</sub>	MC <sub>3</sub>	MC <sub>4</sub>	MC <sub>5</sub>
MC <sub>2</sub>	1.0000	3.0000	2.0000	3.0000
MC <sub>3</sub>	0.3472	1.0000	0.5556	0.5556
MC <sub>4</sub>	0.5556	2.0000	1.0000	0.3472
MC <sub>5</sub>	0.3472	2.0000	3.0000	1.0000
<b>ผลรวม</b>	2.2500	8.0000	6.5556	4.9028
$\lambda_{max}$	4.1673	CR	0.0620	

สรุปผลการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้องเฉลี่ยตามสมการที่ (8) ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เท่ากับ 0.0361 จากนั้นจึงนำน้ำหนักเกณฑ์หลักมาจัดเรียงในซูเปอร์เมทริกซ์ตามรูปที่ 3 ได้ผลการจัดเรียงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เมทริกซ์น้ำหนักเกณฑ์หลัก

MC	1	2	3	4	5	6
1	0.0000	0.8385	1.0000	0.2590	1.0000	0.0000
2	0.4012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7627
3	0.0352	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.1651	0.0000	0.0000	0.1143	0.0000	0.0000
5	0.3984	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2373
6	0.0000	0.1615	0.0000	0.6268	0.0000	0.0000

จากตารางที่ 9 จะทำการคำนวณซูเปอร์เมทริกซ์จำกัดของเกณฑ์หลักด้วยการคำนวณค่าจำกัด (Taking Limit) ตามสมการที่ (9) ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ซูเปอร์เมทริกซ์จำกัดของเกณฑ์หลัก

MC	1	2	3	4	5	6
1	0.5173	0.5173	0.5173	0.5173	0.5173	0.5173
2	0.1944	0.1944	0.1944	0.1944	0.1944	0.1944
3	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059
4	0.0467	0.0467	0.0467	0.0467	0.0467	0.0467
5	0.1062	0.1062	0.1062	0.1062	0.1062	0.1062
6	0.1316	0.1316	0.1316	0.1316	0.1316	0.1316

ในลำดับถัดมาผู้เชี่ยวชาญจะทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์รอง โดยคำนวณตามสมการที่ (2) ถึง สมการที่ (7) แล้วทำการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้องตามสมการที่ (8) ผลการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้องเฉลี่ยจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เท่ากับ 0.0220 แล้วนำน้ำหนักเกณฑ์รองมาจัดเรียงในซูเปอร์เมทริกซ์ได้ผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เมทริกซ์น้ำหนักเกณฑ์รอง

SC	11	12	13	21	22	31	32	33	41	42	43	51	52	53	61	62	63
11	0.00	0.00	0.00	0.60	0.59	0.52	0.54	0.54	0.64	0.63	0.41	0.62	0.40	0.57	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.39	0.33	0.38	0.37	0.37	0.34	0.36	0.39	0.38	0.34	0.39	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	0.10	0.09	0.09	0.02	0.01	0.20	0.00	0.27	0.04	0.00	0.00	0.00
21	0.82	0.58	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.38	0.60
22	0.18	0.42	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.62	0.40
31	0.39	0.32	0.33	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.41	0.36	0.38	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.20	0.32	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	0.64	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.52
42	0.35	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.40	0.52
43	0.01	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.08	0.36
51	0.41	0.38	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.41	0.41
52	0.01	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.18	0.18
53	0.58	0.62	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.41	0.41
61	0.00	0.00	0.00	0.08	0.32	0.00	0.00	0.00	0.41	0.35	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	0.00	0.00	0.00	0.52	0.43	0.00	0.00	0.00	0.41	0.35	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0.00	0.00	0.00	0.40	0.25	0.00	0.00	0.00	0.18	0.30	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

จากนั้นจะทำการหาซูเปอร์เมทริกซ์ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Supermatrix) ด้วยการนำเมทริกซ์น้ำหนักเกณฑ์หลัก ตารางที่ 9 คูณด้วยเมทริกซ์น้ำหนักเกณฑ์รอง ตารางที่ 11 ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ซูเปอร์เมทริกซ์ถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์รอง

SC	11	12	13	21	22	31	32	33	41	42	43	51	52	53	61	62	63
11	0.00	0.00	0.00	0.51	0.50	0.52	0.54	0.54	0.16	0.16	0.11	0.62	0.40	0.57	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.32	0.28	0.38	0.37	0.37	0.09	0.09	0.10	0.38	0.34	0.39	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.10	0.09	0.09	0.01	0.00	0.05	0.00	0.27	0.04	0.00	0.00	0.00
21	0.33	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.29	0.46
22	0.07	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.47	0.31
31	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	0.11	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.06	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
51	0.16	0.15	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10
52	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04
53	0.23	0.25	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10
61	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.26	0.22	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	0.00	0.00	0.00	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.26	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0.00	0.00	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.11	0.19	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

จากตารางที่ 12 จะทำการคำนวณซูเปอร์เมทริกซ์จำกัดของเกณฑ์รองด้วยการคำนวณค่าจำกัด (Taking Limit) ตามสมการที่ (9) ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ซูเปอร์เมทริกซ์จำกัดของเกณฑ์รอง

SC	11	12	13	21	22	31	32	33	41	42	43	51	52	53	61	62	63
11	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
13	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
21	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
22	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
41	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
42	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
43	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
51	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
62	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
63	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

สามารถสรุปค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลัก และเกณฑ์รอง ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าน้ำหนักของเกณฑ์หลักและเกณฑ์รอง

เกณฑ์หลัก	น้ำหนัก <sup>1</sup>	เกณฑ์รอง	น้ำหนัก <sup>2</sup>	น้ำหนักรวม <sup>1*2</sup>
MC <sub>1</sub>	0.5162	SC <sub>11</sub>	0.5461	0.2819
		SC <sub>12</sub>	0.3686	0.1903
		SC <sub>13</sub>	0.0853	0.0440
MC <sub>2</sub>	0.1940	SC <sub>21</sub>	0.5506	0.1068
		SC <sub>22</sub>	0.4494	0.0872
MC <sub>3</sub>	0.0059	SC <sub>31</sub>	0.0079	0.0000
		SC <sub>32</sub>	0.0086	0.0001
		SC <sub>33</sub>	0.9835	0.0058
MC <sub>4</sub>	0.0466	SC <sub>41</sub>	0.5411	0.0252
		SC <sub>42</sub>	0.1251	0.0058
		SC <sub>43</sub>	0.3338	0.0156
MC <sub>5</sub>	0.1059	SC <sub>51</sub>	0.9531	0.1009
		SC <sub>52</sub>	0.0223	0.0024
		SC <sub>53</sub>	0.0246	0.0026
MC <sub>6</sub>	0.1314	SC <sub>61</sub>	0.5461	0.0718
		SC <sub>62</sub>	0.3686	0.0484
		SC <sub>63</sub>	0.0853	0.0112

### 5. การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การรวบรวมเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์สำหรับเลือกผู้จัดจำหน่ายวัสดุอุปกรณ์ชิ้นงานระบบเครื่องกล ไฟฟ้า และสุขาภิบาลของโครงการก่อสร้าง โดยมีการทบทวนบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องดังตารางที่ 3 ทำการจัดกลุ่มเกณฑ์ พร้อมทั้งตั้งชื่อและค่านิยามของแต่ละเกณฑ์ใหม่ แล้วใช้เทคนิคเดลฟายในการคัดเลือกเกณฑ์ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลการคัดเลือกเกณฑ์จากผู้เชี่ยวชาญเป็นมติเอกฉันท์จากแบบสอบถามในครั้งที่ 2 ผลการคัดเลือกเกณฑ์สุดท้ายประกอบด้วย เกณฑ์หลักจำนวน 6 เกณฑ์ และเกณฑ์รองทั้งหมดจำนวน 17 เกณฑ์ แสดงดังรูปที่ 4

การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การคัดเลือก โดยใช้วิธีกระบวนการ FANP ผลจากการแสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญสำหรับค่าน้ำหนักของเกณฑ์

หลักและเกณฑ์รองในตารางที่ 3 พบว่าเกณฑ์หลักด้านการเงิน (MC<sub>1</sub>) และเกณฑ์รองด้านราคา (SC<sub>11</sub>) ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด

### 6. ข้อจำกัดและงานวิจัยในอนาคต

วิธี FANP มีความซับซ้อนในการคำนวณ และอาจเกิดความลำเอียงจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าน้ำหนักของเกณฑ์การประเมิน ดังนั้นควรออกแบบกระบวนการเก็บข้อมูลอย่างรอบคอบ และอาจใช้เทคโนโลยีเช่น Machine Learning มาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก เพื่อลดความซับซ้อนและเพิ่มความแม่นยำก่อนเข้าสู่กระบวนการ FANP

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ที่ให้ความคิดเห็นและสละเวลาในการตอบแบบสอบถามสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Abas, S. B. Khattak, T. Habib, and U. Nadir, "Assessment of critical risk and success factors in construction supply chain: a case of Pakistan," *International Journal of Construction Management.*, vol. 22, no. 2, 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106557.
- [2] พุทธชาติ ลุนคำ, "แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2567-69 ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง," *วิจัยกรุงศรี, ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, หน้า 4, 2567.*
- [3] M. H. Hanafi, S. Abdulla, R. Hasan, H. Ahmad, and A. Rauzana, "Critical success factors of building materials availability at construction sites using a qualitative approach," *Journal of Project Management Practice.*, vol. 3, no. 1, pp. 23-43, 2023.

- [4] J. Sarkis and S. Talluri, "A model for strategic supplier selection," *Journal of Supply Chain Management.*, vol. 6, no. 4, pp. 18–28, 2002.
- [5] C. Gencer and D. Gurpinar, "Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm," *Applied Mathematical Modelling.*, vol. 31, pp. 2475–2486, 2007.
- [6] H. Taherdoost and A. Brard, "Analyzing the process of supplier selection criteria and methods," *Procedia Manufacturing.*, vol. 32, pp. 1024–1034, 2019.
- [7] G. Polat, "A semi-systematic literature review on supplier selection in construction projects," *Journal of Construction Engineering and Management Innovation.*, vol. 4, no. 4, 2021, doi: 10.31462/jcemi.2021.04256266.
- [8] P. Jaskowski, A. Sobotka, and A. Czarnigowska, "Decision model for planning material supply channels in construction," *Automation in Construction.*, vol. 90, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.02.026.
- [9] J. Liu and M. Lu, "Constraint programming approach to optimizing project schedules under material logistics and crew availability constraints," *Journal of Construction Engineering and Management.*, vol. 144, no. 7, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001507.
- [10] M. Bajomo, A. Ogbeyem, and W. Zhang, "A systems dynamics approach to the management of material procurement for engineering, procurement and construction industry," *International Journal of Production Economics.*, vol. 244, 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2021.108390.
- [11] K. T. Yeo and J. H. Ning, "Integrating supply chain and critical chain concepts in engineer-procure-construct (EPC) projects," *International Journal of Project Management.*, vol. 20, pp. 253–262, 2002.
- [12] P. E. Eriksson, "Improving construction supply chain collaboration and performance: a lean construction pilot project," *Supply Chain Management: An International Journal.*, vol. 15, no. 5, pp. 394–403, 2010.
- [13] H. L. Ma, Z. X. Wang, and F. T. S. Chan, "How important are supply chain collaborative factors in supply chain finance? A view of financial service providers in China," *International Journal of Production Economics.*, vol. 219, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.07.002.
- [14] P. L. Le, W. Elmughrabi, T. M. Dao, and A. Chaabane, "Present focuses and future directions of decision making in construction supply chain management: a systematic review," *International Journal of Construction Management.*, vol. 20, no. 50, 2018, doi: 10.1080/15623599.2018.1488089.
- [15] A. Ishizaka and P. Nemery, *Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [16] B. Roy and D. Bouyssou, *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*. Paris: IAE Paris Sorbonne Business School, 1993.
- [17] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods and concepts," *Encyclopedia.*, vol. 3, 2023, doi: 10.3390/encyclopedia3010006.
- [18] I. Emovon, R. A. Norman, and A. J. Murphy, "Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems," *Journal of*

- Intelligent Manufacturing.*, vol. 29, 2015, doi: 10.1007/s10845-015-1133-6.
- [19] L. Keeney and H. Raiffa, "Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.*, vol. 9, no. 7, pp. 403, 1976.
- [20] F. Dweiri, S. Kumar, S. A. Khan, and V. Jain, "Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry," *Expert Systems with Applications.*, vol. 62, 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2016.06.030.
- [21] E. Onder and N. Kabadayi, "Supplier selection in hospitality industry using ANP," *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.*, vol. 5, no. 1, pp. 166–186, 2015.
- [22] S. K. Yadav, D. Joseph, and N. Jigeesh, "A review on industrial applications of TOPSIS approach," *Service Operations Management.*, vol. 30, no. 1, pp. 23–38, 2018.
- [23] I. Temiz and G. Calis, "Selection of construction equipment by using multi-criteria decision making methods," *Procedia Engineering.*, vol. 196, pp. 286–293, 2017.
- [24] M. Abdel-Basset, A. Atef, and F. Smarandache, "A hybrid neutrosophic multiple criteria group decision making approach for project selection," *Cognitive Systems Research.*, vol. 57, pp. 216–227, 2019.
- [25] N. Chai, W. Zhou, and Z. Jiang, "Sustainable supplier selection using an intuitionistic and interval-valued fuzzy MCDM approach based on cumulative prospect theory," *Information Sciences.*, vol. 626, pp. 710–737, 2023.
- [26] Q. Wu, X. Liu, J. Qin, and L. Zhou, "Multi-criteria group decision-making for portfolio allocation with consensus reaching process under interval type-2 fuzzy environment," *Information Sciences.*, vol. 570, 2021, doi: 10.1016/j.ins.2021.04.096.
- [27] P. Jakiel and D. Fabianowski, "FAHP model used for assessment of highway RC bridge structural and technological arrangements," *Expert Systems with Applications.*, vol. 42, pp. 4054–4061, 2015.
- [28] A. N. Haddad, B. B. F. D. Costa, L. S. D. Andrade, A. Hammad, and C. A. P. Soares, "Application of fuzzy-TOPSIS method in supporting supplier selection with focus on HSE criteria: A case study in the oil and gas industry," *Infrastructures.*, vol. 6, no. 8, 2021, doi: 10.3390/infrastructures6080105.
- [29] C. M. Tsai, H. S. Lee, and G. Y. Gan, "A new fuzzy DEA model for solving the MCDM problems in supplier selection," *Journal of Marine Science and Technology.*, vol. 29, no. 1, pp. 91–95, 2021.
- [30] A. Liu et al., "A novel two-stage integrated model for supplier selection of green fresh product," *Sustainability.*, vol. 10, no. 7, 2018, doi: 10.3390/su10072371.
- [31] S. Liu, J. Lin, and X. Xu, "Selection and application of building material suppliers with intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making method," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems.*, vol. 44, no. 3, pp. 4383–4395, 2023.
- [32] G. W. Dickson, "An analysis of vendor selection systems and decisions," *Journal of Purchasing.*, vol. 2, pp. 5–17, 1996.

- [33] C. A. Weber, J. R. Current, and W. C. Benton, "Vendor selection criteria and methods," *European Journal of Operational Research.*, vol. 50, pp. 2–18, 1991.
- [34] B. D. Rouyendegh and T. E. Erkan, "Selecting the best supplier using analytic hierarchy process (AHP) method," *African Journal of Business Management.*, vol. 6, no. 4, pp. 1455–1462, 2011.
- [35] M. B. Ayhan, "A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: A case study in a gearmotor company," *International Journal of Managing Value and Supply Chains.*, vol. 38, no. 4, pp. 11–23, 2013.
- [36] M. Kotula, W. Ho, P. K. Dey, and C. K. M. Lee, "Strategic sourcing supplier selection misalignment with critical success factors: Findings from multiple case studies in Germany and the United Kingdom," *International Journal of Production Economics.*, vol. 166, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.12.039.
- [37] J. Bokrantz, A. Skoogh, C. Berlin, and J. Stahre, "Maintenance in digitalized manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030," *International Journal of Production Economics.*, vol. 191, pp. 154–169, 2017.
- [38] C. H. Lawshe, "A quantitative approach to content validity," *Personnel Psychology.*, vol. 28, pp. 563–575, 1975.
- [39] P. K. Tarei, J. J. Thakkar, and B. Nag, "A hybrid approach for quantifying supply chain risk and prioritizing the risk drivers: A case of Indian petroleum supply chain," *Journal of Manufacturing Technology Management.*, vol. 29, no. 3, 2018, doi: 10.1108/JMTM-10-2017-0218.
- [40] M. A. Akbar, M. Shameem, S. Mahmood, A. Alsanad, and A. Gumaei, "Prioritization based taxonomy of cloud-based outsource software development challenges: Fuzzy AHP analysis," *Applied Soft Computing.*, vol. 95, 2020, doi: 10.1080/15623599.2020.1783597.