# การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน ด้วยวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือ

**นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์*[1] และ วาสนา จันทร์ขำ[2]**
**คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2086 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240**

Received: 24 May 2022; Revised: 19 October 2022; Accepted: 21 October 2022

**บทคัดย่อ**

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสมด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ฐานข้อมูล ซึ่งรวบรวมข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางด้วยการใช้รูปแบบการคำนวณต้นทุนการขนส่งสินค้าของเบเรสฟอร์ดและเกณฑ์มาตรฐานการประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนแบบคลุมเครือ ส่วนที่ 2 การคำนวณน้ำหนักความสำคัญ ซึ่งถูกออกแบบเพื่อคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ และส่วนที่ 3 การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน ซึ่งถูกใช้ในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสมด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ กลไกหลักของส่วนการคัดเลือกพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า ระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือลักษณะทางกายภาพในแต่ละด้าน และน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ โดยส่วนการคัดเลือกสามารถจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนด้วยการเรียงลำดับค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติที่มีค่ามากที่สุดไปยังน้อยที่สุด การศึกษาวิจัยนี้ได้ประยุกต์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอใช้กับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนจากคลังสินค้าไปยังด่านศุลกากรมุกดาหาร ผลการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอสามารถแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนได้เป็นอย่างดี โดยประนีประนอมองค์ประกอบการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ทั้งหมดเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมและให้ผลลัพธ์การตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสูง

**คำสำคัญ**: การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์, การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า, ตรรกศาสตร์คลุมเครือ, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

* Corresponding author. E-mail: Nitidetch.k@rumail.ru.ac.th
[1] ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[2] ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

# Creating Decision Support System for Road Freight Transportation Route Selection with Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Approach

Nitidetch Koohathongsumrit[*1] and Wasana Chankham[2]
Faculty of Science, Ramkhamhaeng University
2086, Hua Mak, Bangkapi, Bangkok 10240, Thailand

Received: 24 May 2022; Revised: 19 October 2022; Accepted: 21 October 2022

## Abstract

The objective of this study is to create a decision support system in order to select an appropriate road freight transportation route by applying fuzzy multiple criteria decision-making approaches. The decision support system comprises three parts. The first part is a database, which collects data of road freight transportation routes between origins and destinations by using the Beresford's cost model and standard criteria for fuzzy risk assessment of road freight physical characteristics. The second part is a weight calculation, which is designed to calculate weights of decision criteria by fuzzy analytic hierarchy process. The third part is route selection part, which is used to select the most appropriate road freight transportation route by using fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution. The main mechanism of the route selection part considers transportation cost, transit time, fuzzy risk levels of each aspect, and weights of each decision criterion. The route selection part can prioritize road freight transportation route by ordering the closeness coefficients in descending order. This research study applied the proposed decision support system with the road freight transportation route selection from a warehouse to Mukdahan customs. The results demonstrated that the proposed decision support system can well solve the problem of road freight transportation route selection. It compromises all decision-making elements to find the most appropriate alternative, and yields high effective decision results.

**Keywords**: multiple criteria decision-making, freight transportation route selection, fuzzy logic, decision support system

* Corresponding author. E-mail: Nitidetch.k@rumail.ru.ac.th
[1] Faculty of Science, Ramkhamhaeng University
[2] Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

## 1. บทนำ

การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) เนื่องจากเกี่ยวข้องกับเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกจำนวนมาก [1] โดยเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกเหล่านี้มีความขัดแย้งกัน อีกทั้งเส้นทางการขนส่งสินค้ามีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่บรรลุวัตถุประสงค์แต่ละเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดในการตัดสินใจครั้งเดียวเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ยาก นอกจากนี้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้ายังมีความคลุมเครือที่เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ความคลุมเครือจากเกณฑ์การตัดสินใจ เนื่องจากขาดข้อมูล หรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจในเส้นทางการขนส่งสินค้า ความต้องการขององค์กรที่ต่างกัน การจัดสรรทรัพยากรเพื่อการขนส่ง รวมถึงความคลุมเครือจากผู้ตัดสินใจอันเนื่องจากพื้นฐานความรู้ หรือประสบการณ์ ความสับสน ความไม่มั่นใจในระดับการประเมิน เป็นต้น ดังนั้นหากผู้ประกอบการ หรือผู้ตัดสินใจมีเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์และการสร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภค หรือลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง

มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ประยุกต์วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) วิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSSIS) ฯลฯ [2], [3] อย่างไรก็ตาม นอกจากต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งสินค้าแล้ว ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้ายังเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงซึ่งเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพอย่างหนึ่ง ดังนั้นการใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพียงวิธีเดียวเพื่อแก้ปัญหาอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากแต่ละวิธีมีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกัน จึงได้มีงานวิจัยจำนวนมากนำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มากกว่าหนึ่งวิธีและการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA) มาใช้เพื่อแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น งานวิจัยของ Kengpol, et al. [4] ที่พัฒนาโปรแกรมตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และการโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง (Zero-One Goal Programming: ZOGP) งานวิจัยของ Kengpol and Tuammee [5] ที่เสนอวิธีการจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) งานวิจัยของ Kaewfak, et al. [6] ที่เสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงเพื่อระบุเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความเสี่ยงต่ำสุด โดยวิธีที่เสนอได้รวมกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) และการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูลไว้ด้วยกัน งานวิจัยของ Guo, et al. [7] ที่ได้ศึกษาการประเมินความเสี่ยงเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) แต่ไม่ได้นำผลลัพธ์ที่ได้มาพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสม งานวิจัยของ Gul, et al. [8] ที่ออกแบบวิธีการประเมินความเสี่ยงกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งน้ำมัน งานวิจัยของ Koohathongsumrit and Meethom [9] ที่เสนอวิธีเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยตัวแบบการประเมินความเสี่ยงแบบคลุมเครือภายใต้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล และการโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง งานวิจัยของ Koohathongsumrit and Meethom [10] ที่ออกแบบวิธีการตัดสินใจแบบสามขั้นตอนสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม งานวิจัยของ Koohathongsumrit and Chankham [11] ที่พัฒนาวิธีการประเมินความเสี่ยงด้วยการวิเคราะห์จุดศูนย์กลางภายในและวิธีไวโกร์ (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje: VIKOR) เพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับวิธีการอื่น ๆ ในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) เพื่อแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า แต่งานวิจัยเหล่านี้ไม่ได้นำระดับความเสี่ยงมาเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ งานวิจัยของ Meethom and Koohathongsumrit [12] ที่ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนซึ่งรวม

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งหลายชั้น (Multilayer Zero-One Goal Programming: MZOGP) งานวิจัยของ Meethom and Koohathongsumrit [13] ที่พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ งานวิจัยของ Sarraf and McGuire [14] ที่เปรียบเทียบวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อเส้นทางการขนส่งสินค้าผ่านระบบสนับสนุนการตัดสินใจ งานวิจัยของ Gohari et al. [15] ที่นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีของไดก์สตรา (Dijkstra's algorithm) แต่ไม่ได้นำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มาใช้ในการแก้ปัญหา

จากการทบทวนวรรณกรรมในข้างต้น พบว่ามีงานวิจัยที่นำการประเมินความเสี่ยงและวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มาใช้แก้ปัญหาการเลือกเส้นทางขนการส่งสินค้า แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่สร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคุลมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: FTOPSIS) ซึ่งนำระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้ามาเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อประกอบการตัดสินใจ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ต้องการนำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสม พิจารณาจากต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง และระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยความจำเป็นของการนำวิธีการตัดสินใจทั้งสองที่กล่าวในข้างต้นดำเนินการให้อยู่ในลักษณะของระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้น เนื่องจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีจุดเด่นหลายประการ ได้แก่ สามารถรวบรวมข้อมูลประกอบการตัดสินใจไว้ในฐานข้อมูล อำนวยความสะดวกในการใช้งานด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สะท้อนความต้องการของผู้ตัดสินใจผ่านการกำหนดน้ำหนักความสำคัญ การหาคำตอบอย่างตรงไปตรงมา และการพัฒนากระบวนการตัดสินใจในอนาคต [16] ทั้งนี้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอสามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจผ่านกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและสามารถสังเคราะห์ข้อมูลประกอบการตัดสินใจทั้งหมดด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ สุดท้ายประยุกต์ใช้ระบบสนับสุนนการตัดสินใจที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าจากที่ตั้งของคลังสินค้าไปยังด่านศุลกากรมุกดาหาร เพื่อเป็นการยืนยันว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการ

## 2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเป็นเทคนิคที่เกิดจากการประยุกต์รวมตรรกศาสตร์คลุมเครือกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบดั้มเดิมของ Saaty [17] เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในเรื่องของความคิดเห็นและลดความคลุมเครือที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ โดยมีข้อสมมติฐานว่าองค์ประกอบในการตัดสินใจมีความสัมพันธ์แบบลำดับชั้น โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือที่นำเสนอโดย Chang [18] ได้ถูกใช้เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด เนื่องจากวิธีการนี้สามารถเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ วิเคราะห์ได้ทั้งเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ภายใต้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดของมนุษย์ และสามารถใช้ควบคู่กับวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่นได้ดี [19] อย่างไรก็ตามกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือไม่สามารถพิจารณาทางเลือกซึ่งมีระยะห่างจากแนวคิดอุดมคติเชิงบวกและลบได้ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือร่วมกับวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

### 2.2 การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ เป็นวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบ

หลายหลักเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาจากวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบดั้งเดิมซึ่งคิดค้นโดย Hwang and Yoon [20] เพื่อลดความคลุมเครือที่เกิดขึ้นในการประเมินทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจจากชุดตัวเลขแบบคลุมเครือและตัวแปรภาษาที่ครอบคลุมความคิดเห็น อีกทั้งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเพื่อใช้ในการจัดลำดับทางเลือกได้เป็นอย่างดีและมีความแม่นยำสูง แม้ว่าเกณฑ์การตัดสินใจ หรือทางเลือกมีจำนวนมาก [21] โดยวิธีการนี้สามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจจะทำในวิธีใดก็ได้ตามที่ผู้ตัดสินใจคิดว่าเหมาะสม ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงประยุกต์การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือร่วมกับวิธีการกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจที่สามารถเปรียบเทียบความสำคัญเป็นรายคู่ ดังนั้นกลไกของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอจะใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและใช้การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือเพื่อหาคำตอบที่ดีสุด

**2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นได้กล่าวรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 1 โดยพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่เสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ได้แก่ 1. กลุ่มงานวิจัยที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์วิธีเดียว 2. กลุ่มงานวิจัยที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับการประเมินความเสี่ยง และ 3. กลุ่มงานวิจัยที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับปัญหาเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า แต่งานวิจัยกลุ่มนี้ไม่ได้ใช้การประเมินความเสี่ยงในการตัดสินใจ พร้อมทั้งระบุรูปแบบของวิธีการในแต่ละงานวิจัย สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงดังตารางที่ 1 โดยพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน แต่มีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่นำเสนอวิธีการตัดสินใจในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือซึ่งสามารถพิจารณาระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยด้วยการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่สามารถประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง รวมถึงการกำหนดน้ำหนักความสำคัญและหาคำตอบด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| ผู้แต่ง | เครื่องมือที่ใช้ | กลุ่ม | รูปแบบ |
|---|---|---|---|
| Arunyanart [2] | AHP | 1 | วิธีการ |
| Moon, et al. [3] | TOPSIS | 1 | วิธีการ |
| Kengpol, et al [4] | RA + AHP + ZOGP | 2 | DSS |
| Kengpol and Tuammee [5] | RA + AHP + AHP | 2 | วิธีการ |
| Kaewfak, et al. [6] | FAHP + RA + DEA | 2 | วิธีการ |
| Guo, et al. [7] | RA + QFD | 2 | วิธีการ |
| Gul, et al. [8] | RA + FAHP | 2 | วิธีการ |
| Koohathongsumrit and Meethom [9] | RA + DEA + FAHP + ZOGP | 2 | วิธีการ |
| Koohathongsumrit and Meethom [10] | AHP + RA + DEA + TOPSIS | 2 | วิธีการ |
| Koohathongsumrit and Chankham [11] | RA + FAHP + VIKOR | 2 | วิธีการ |
| Meethom and Koo-hathongsumrit [12] | FAHP + MZOGP | 3 | DSS |
| Meethom and Koo-hathongsumrit [13] | FAHP + TOPSIS | 3 | DSS |
| Sarraf and McGuire [14] | AHP, FAHP, TOPSIS | 3 | DSS |
| Gohari et al. [15] | Dijkstra's algorithm | 3 | DSS |

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนสามารถแบ่งได้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ($C_1$) และระยะเวลาการขนส่งสินค้า ($C_2$) ทั้งนี้ไม่ได้นำระยะทางมาร่วมวิเคราะห์ในการตัดสินใจด้วยเนื่องจากระยะทางกับระยะเวลาการขนส่งสินค้ามีความสัมพันธ์กัน หากเส้นทางการขนส่งสินค้ามีระยะทางไกลเส้นทางดังกล่าวก็จะใช้ระยะเวลาในการขนส่งมากขึ้น แต่ในกรณีที่เส้นทางการขนส่งสินค้ามีระยะทางใกล้ เส้นทางก็จะใช้ระยะเวลาในการขนส่งลดลง ดังนั้นการพิจารณาระยะเวลาและระยะทางอาจเป็นการตัดสินใจซ้ำซ้อน ทำให้ผู้ตัดสินใจสับสนได้ และไม่สอดคล้องกับระบบการตัดสินใจของมนุษย์ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาการขนส่งสินค้ามาศึกษาเพราะว่าสื่อความหมายให้ผู้ตัดสินใจทำความเข้าใจการใช้ทรัพยากรในการขนส่งได้ดีกว่า สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพคือความเสี่ยงจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มที่มีเกณฑ์การตัดสินใจรอง ได้แก่ กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านองค์ประกอบของเส้นทาง ($C_3$) ประกอบไปด้วย จำนวนช่องจราจรต่อทิศทาง ($C_{31}$) ความกว้างของช่องจราจร ($C_{32}$) วัสดุพื้นผิวการจราจร ($C_{33}$) ความกว้างของไหล่ทาง ($C_{34}$) ชนิดของเกาะกลางถนน ($C_{35}$) และความกว้างของเกาะกลางถนน ($C_{36}$) กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านจุดอันตรายของเส้นทาง ($C_4$) ประกอบไปด้วย อัตราส่วนจำนวนสะพาน ($C_{41}$) อัตราส่วนจำนวนทางโค้ง ($C_{42}$) และอัตราส่วนจำนวนจุดทางเชื่อม ($C_{43}$) กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านการอำนวยความสะดวกในการขนส่งของเส้นทาง ($C_5$) ประกอบไปด้วย อัตราส่วนเส้นแบ่งช่องจราจรและเส้นแบ่งทิศทางจราจร ($C_{51}$) อัตราส่วนเส้นทางที่มีเกาะกลางถนน ($C_{52}$) อัตราส่วนทางขนาน ($C_{53}$) อัตราส่วนราวกั้นข้างทาง ($C_{54}$) อัตราส่วนจุดเชื่อมทางที่มีช่องปรับความเร็ว ($C_{55}$) และอัตราส่วนจำนวนสะพานที่มีช่องทางการไต่ ($C_{56}$) กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านความสามารถของเส้นทาง ($C_6$) ประกอบไปด้วย อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวจราจร ($C_{61}$) ความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน ($C_{62}$) ระยะลอดแนวดิ่งของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์ ($C_{63}$) อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวไหล่ทาง ($C_{64}$) และความลาดชันของเส้นทาง ($C_{65}$) เมื่อ $C_1$ และ $C_2$ มีหน่วยเป็นบาทและนาที ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจอื่นมีหน่วยเป็นระดับทั้งหมด

การรวบรวมข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณดำเนินการด้วยรูปแบบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งของเบเรสฟอร์ด [22] ทั้งนี้การประยุกต์รูปแบบการคำนวณต้นทุนดังกล่าวมาใช้ประมาณต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งทางถนนสามารถกระทำได้ โดยกำหนดให้จุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากรถบรรทุกไปยังรถบรรทุกอีกคันหนึ่งของการขนส่งทางถนนเปรียบเสมือนกับจุดเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพรวบรวมได้ด้วยเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงแบบคลุมเครือซึ่งได้จากการดัดแปลงเกณฑ์การประเมินศักยภาพลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าจากการศึกษาของ Meethom and Koohathongsumrit [13] ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการศึกษาการสร้างเกณฑ์มาตรฐานการประเมินลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าอย่างเป็นระบบและมีการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในการสร้างเกณฑ์ฯ ดังกล่าว และสินค้าที่ขนส่งในงานวิจัยข้างต้นเป็นสินค้าที่ถูกบรรจุในตู้บรรทุกสินค้า เกณฑ์ประเมินลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าแสดงดังตารางที่ ก ในภาคผนวก (ส่วนท้ายของบทความ) กำหนดให้ $\tilde{1}$ = (1, 1, 2) คือมีความเสี่ยงน้อยที่สุด หรือไม่มีความเสี่ยงเลย $\tilde{2}$ = (1, 2, 3) คือมีความเสี่ยงน้อย $\tilde{3}$ = (2, 3, 4) คือมีความเสี่ยงปานกลาง $\tilde{4}$ = (3, 4, 5) คือมีความเสี่ยงมาก และ $\tilde{5}$ = (4, 5, 5) คือมีความเสี่ยงสูงมาก เมื่อค่ากลางของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือแต่ละชุดนั้นมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงถึงความสมบูรณ์ของระดับการประเมินนั้น ในขณะที่ค่าบนและค่าล่างของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 ซึ่งแสดงถึงขอบเขตความเป็นสมาชิกที่ต่ำของระดับการประเมิน ดังนั้นค่าระหว่างค่าบนหรือค่าล่างกับค่ากลางจะมีค่าระดับความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินระหว่าง 0 ถึง 1 เมื่อระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือเกณฑ์การตัดสินใจรองแต่ละเกณฑ์จะถูกรวมกันเป็นระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของกลุ่มและนำไปพิจารณาเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมต่อไป

**3.2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ**

การคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดดำเนินการด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือภายใต้การวิเคราะห์ขอบเขตตามแนวทางของ Chang [18] มีรายละเอียดดังนี้

**3.2.1 สร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่**

ผู้ตัดสินใจแต่ละรายสร้างเมทริกซ์เพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ด้วยตัวแปรภาษาและระดับการประเมินความสำคัญแบบคลุมเครือ 9 ระดับ [23] ทั้งนี้หากมีผู้ตัดสินใจมากกว่า 1 ราย หรือดำเนินการด้วยกลุ่มผู้ตัดสินใจต้องนำระดับการประเมินความสำคัญมาคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตเพื่อกำหนดระดับการประเมินความสำคัญรวมและสร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่รวมโดยการเลือกใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเนื่องจากข้อมูลระดับการประเมินความสำคัญจากผู้ตัดสินใจไม่มีค่าใดค่าหนึ่งสูงหรือต่ำผิดปกติ [24]

**3.2.2 คำนวณค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ**

ค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Synthetic Value) คำนวณได้จากผลคูณระหว่างระดับการประเมินความสำคัญรวมกับเวกเตอร์ส่วนกลับของระดับการประเมินความสำคัญรวมดังกล่าว การคำนวณค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ แสดงดังสมการ (1) เมื่อ $S_j$ คือค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือของเกณฑ์การตัดสินใจที่ j $M_{pj}$ คือระดับการประเมินความสำคัญรวมของเกณฑ์การตัดสินใจที่ p และ j; p และ j = 1, ..., m; p = m; m คือจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ

$$S_j = \sum_{j=1}^{m} M_{pj} \; e \left[ \sum_{p=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} M_{pj} \right]^{-1} \qquad (1)$$

**3.2.2 คำนวณระดับความเป็นไปได้**

การคำนวณระดับความเป็นไปได้ (Degree of Possibility) ของระดับการประเมินคำนวณมีเงื่อนไขคือถ้า $V(M_j \geq M_p) = 1$ เมื่อ $m_j \geq m_p$ และ $V(M_p \geq M_j) = hgt(M_j \cap M_p) = l_j - u_p/((m_p - u_p) - (m_j - l_j))$ เมื่อ $m_p \geq m_j$ โดยที่ $M_j = (S_j) = (l_j, m_j, u_j)$ และ $M_p = (S_p) = (l_p, m_p, u_p)$; l, m และ u คือค่าล่าง ค่ากลาง และค่าบนของระดับการประเมินความสำคัญ ทั้งนี้หากทำการคำนวณค่าระดับความเป็นไปได้แล้วพบว่าค่า $l_j - u_p$ แล้วมีค่ามากกว่า 0 ต้องทำการปรับบรรทัดฐานสำหรับชุดตัวเลขการประเมินความสำคัญก่อนคำนวณค่าสังเคราะห์ทางคลุมเครือ [25]

**3.2.3 คำนวณระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือ**

การคำนวณระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือ (Degree of Possibility for Convex Fuzzy Number) พิจารณาจากค่าต่ำสุดของระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์การตัดสินใจเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์การตัดสินใจอื่น แสดงดังสมการที่ (2) เมื่อ $d'(a_j)$ คือระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือของเกณฑ์การตัดสินใจที่ j เมื่อ k = 1, ..., m; j ≠ k

$$d'(a_j) = \min V(S_j \geq S_k) \qquad (2)$$

**3.2.4 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ**

น้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจคำนวณได้ด้วยการปรับบรรทัดฐานระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือ แสดงดังสมการที่ (3) [26] เมื่อ $w_j$ คือน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจที่ j ทั้งนี้ผลรวมของ $w_j$ ต้องมีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น

$$w_j = d'(a_j) / \sum_{j=1}^{m} d'(a_j) \qquad (3)$$

**3.2.5 ตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล**

น้ำหนักความสำคัญและค่ากลางของระดับการประเมินความสำคัญรวมถูกนำมาคำนวณค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ขั้นตอนการตรวจความสอดคล้องกันของเหตุผลศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยของ Saaty [27] ทั้งนี้อัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลที่คำนวณได้ต้องมีค่าไม่เกินค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลที่ยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเมทริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่ [28] หากอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลที่คำนวณได้ไม่เป็นไปตามที่กำหนด ผู้ตัดสินใจต้องทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ และตรวจสอบค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลอีกครั้ง จนกว่าค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลจะมีค่าที่ยอมรับได้

ทั้งนี้ให้ดำเนินการในขั้นตอนที่ 3.2 กับเกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรองแต่ละกลุ่ม จากนั้นนำน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักและน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจรองที่อยู่ในกลุ่มเกณฑ์การตัดสินใจหลักนั้นมาคูณกันเพื่อกำหนดเป็นน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งนำไปใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอต่อไป [29]

### 3.3 เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า

ภายหลังจากที่ทราบต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า และระดับความเสี่ยงคลุมเครือแล้ว ข้อมูลทั้งหมดถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือเพื่อจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่มีลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ

ผู้ตัดสินใจแต่ละรายสร้างเมทริกซ์เพื่อการตัดสินใจแบบคลุมเครือจากจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจและเส้นทางการขนส่งสินค้าทั้งหมด อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนค่าขนส่งสินค้าและระยะเวลาการขนส่งสินค้านั้นเป็นข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในรูปของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือจึงต้องทำการปรับให้ข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือ ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่ต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งอาจคลาดเคลื่อนจากที่คาดการณ์ไว้จากหลายสาเหตุ เช่น ปัญหาจราจร การชำรุดของลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง พฤติกรรมส่วนตัวของพนักงานขนส่ง ฯลฯ โดยการปรับต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งให้อยู่ในรูปของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือกระทำโดยกำหนดให้ค่ากลาง (m) คือต้นทุน หรือระยะเวลาที่ประมาณได้ ส่วนค่าด้านล่าง (l) และด้านบน (u) มีความคลาดเคลื่อนจากค่ากลาง ±15% ซึ่งดัดแปลงจากอัตราต้นทุนค่าขนส่งที่คิดเป็นร้อยละ 10 ถึง 15 ของราคาผลิตภัณฑ์ [30] เมื่อ $X_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ คือข้อมูลประกอบการตัดสินใจแบบคลุมเครือของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ i ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจที่ j; n คือจำนวนเส้นทางการขนส่งสินค้าทางเลือก; i = 1, ..., n; j = 1, ..., m ตัวอย่างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือแสดงดังรูปที่ 1

$$\begin{array}{c} \\ C_1 \\ \vdots \\ C_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} A_1 & \cdots & A_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1m} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}_{nxm} \end{array}$$

รูปที่ 1 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ

#### 3.3.2 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือ

เมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือ ($R = [r_{ij}]_{nxm}$) สามารถสร้างได้ด้วยการปรับบรรทัดฐานให้กับค่า $X_{ij}$ ตามคุณลักษณะเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (4) [31] เมื่อ $r_{ij}$ คือค่าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ i ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจที่ j

$$r_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+}\right); \text{if } j \text{ is benefial} \\ \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}}\right); \text{if } j \text{ is cost} \end{cases} \quad (4)$$

#### 3.3.3 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ

การสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ ($V = [v_{ij}]_{nxm}$) สามารถกระทำได้โดยคูณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจกับค่าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือ แสดงดังสมการที่ (5) เมื่อ $v_{ij}$ คือค่าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ

$$v_{ij} = r_{ij} \otimes w_j \quad (5)$$

#### 3.3.4 คำนวณค่าอุดมคติเชิงบวกและค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือ

โดยค่าอุดมคติเชิงบวกและลบแบบคลุมเครือคำนวณได้จากค่าตัวแทนข้อมูลนำเข้าสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านการปรับบรรทัดฐานและกำหนดความสำคัญในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ [32] เมื่อ $A^+$ และ $A^-$ คือเซตของค่าอุดมคติเชิงบวกและลบ $v_j^+$ และ $v_j^-$ คือค่าอุดมคติเชิงบวกและลบของเกณฑ์การตัดสินใจที่ j

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, ..., v_m^+) \quad (6)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, ..., v_m^-) \quad (7)$$

**3.3.5 คำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือ**

ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบพิจารณาจากระยะห่างยูคลิเดียนระหว่างค่าการตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญกับค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ [33] เมื่อ $d_i^+$ และ $d_i^-$ คือระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ i

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^{m} d(v_{ij}, v_j^+) \quad (8)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{m} d(v_{ij}, v_j^-) \quad (9)$$

**3.3.6 คำนวณสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ**

สัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเป็นค่าสถิติที่วัดระยะห่างจากจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบ สามารถใช้ในการจัดลำดับทางเลือก โดยทางเลือกที่ดีสุดจะมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบคลุมเครือที่ต่ำสุดและมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือที่สูงสุด หรือกล่าวได้ว่าทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติที่สูงสุด การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ แสดงดังสมการที่ 10 [34] เมื่อ $CC_i$ คือค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ i

$$CC_i = d_i^-/(d_i^+ + d_i^-) \quad (10)$$

**3.4 สร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ**

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำวิธีการประมาณต้นทุนและระยะเวลา การประเมินระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือ การคำนวณน้ำหนักความสำคัญ และการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า กำหนดในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานข้อมูล ส่วนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ และส่วนการเลือกเส้นทาง โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ แสดงดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังนี้

**3.3.1 ส่วนที่ 1 ฐานข้อมูล**

เป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้าเพื่อประกอบการตัดสินใจ โดยข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูล ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง และระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน

รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ

**3.3.2 ส่วนที่ 2 การคำนวณน้ำหนักความสำคัญ**

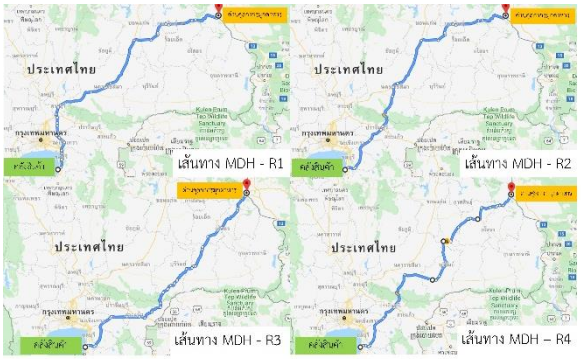
เป็นส่วนที่ผู้ตัดสินใจต้องเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดเป็นรายคู่ จากนั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ พร้อมทั้งตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล อย่างไรก็ตามหากในกรณีที่ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลไม่เป็นไปตามที่กำหนด ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะแสดงให้ผู้ตัดสินใจทราบว่า “การเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจไม่มีความสอดคล้องกัน โปรดตรวจสอบ”

**3.3.3 ส่วนที่ 3 การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า**

เป็นส่วนที่สำคัญมากที่สุดของระบบสนับสนุนการตัดสินใจซึ่งใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยสังเคราะห์ข้อมูลของเส้นทางการขนส่งสินค้าจากฐานข้อมูลและน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ ส่วนนี้ใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาตามแนวคิดของวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ พร้อมทั้งทางเลือกที่เหมาะสมมากที่สุดและลำดับของเส้นทางการขนส่งสินค้าทั้งหมด

## 4. ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนจากคลังสินค้า ณ ท่าเรือแหลมฉบังไปให้ตัวแทนของผู้ส่งสินค้า ณ ด่านศุลกากรมุกดาหาร ด้วยรถกึ่งพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ บรรทุกตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต โดยสินค้าที่ขนส่งเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งเป็นสินค้าต่างชนิดกับสินค้าที่ได้ศึกษาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แต่ชนิดสินค้าไม่มีผลต่อการตัดสินใจ เนื่องจากสินค้าถูกบรรจุในตู้บรรทุกสินค้าเช่นเดียวกัน สำหรับเส้นทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางดังกล่าวนั้นประกอบด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้จำนวนมาก เนื่องจากถนนสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้หมดขึ้นอยู่กับการตัดสินใจว่าจะใช้เส้นทางใดเชื่อมต่อกัน แต่จากการสัมภาษณ์พนักงานขนส่งพบว่าจากประสบการณ์ในอดีตมีทางเลือกจำนวน 4 เส้นทาง โดยทั้งหมดเป็นเส้นทางหลักที่ผู้ประกอบการใช้ขนส่งสินค้าโดยทั่วไปและรถบรรทุกสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ได้แก่ เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R1 ($A_1$) เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R2 ($A_2$) เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R3 ($A_3$) และเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R4 ($A_4$) แสดงดังรูปที่ 3




รูปที่ 3 เส้นทางขนส่งสินค้าทางถนนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้

รูปแบบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งของเบเรสฟอร์ดถูกใช้เพื่อคำนวณข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณของเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยการสัมภาษณ์ผู้บริหารของบริษัทกรณีศึกษาและพนักงานที่เคยมีประสบการณ์การขนส่งสินค้าไปยังปลายทางดังกล่าวอย่างน้อย 3 ครั้ง พร้อมลงพื้นที่สำรวจข้อมูลภาคสนามในแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้าและประยุกต์เกณฑ์ประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพเพื่อคำนวณระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของกลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านต่าง ๆ ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบคลุมเครือและการเปรียบเทียบร้อยละ [13] เงื่อนไขในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีคำนวณระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือสรุปได้ดังตารางที่ 2 และข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้า เมื่อสำรวจเส้นทางในเดือนมิถุนายน 2564 ซึ่งมีราคาน้ำมันในช่วง 29 ถึง 30 บาท แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการตัดสินใจ

| เกณฑ์การตัดสินใจ | วิธีการ |
|---|---|
| $C_1$, $C_2$ | การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ [13] |
| $C_{31}$, $C_{32}$, $C_{33}$, $C_{34}$, $C_{35}$, $C_{36}$, $C_{65}$ | วิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบคลุมเครือ [13] |
| $C_{41}$, $C_{42}$, $C_{43}$, $C_{51}$, $C_{52}$, $C_{53}$, $C_{54}$, $C_{55}$, $C_{56}$, $C_{61}$, $C_{62}$, $C_{63}$, $C_{64}$ | วิธีการเปรียบเทียบร้อยละ [13] |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| เกณฑ์การตัดสินใจ | วิธีการ |
|---|---|
| $C_3$, $C_4$, $C_5$, $C_6$ | ผลรวมของระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือเกณฑ์การตัดสินใจรองที่เกี่ยวข้อง [13] |

ตารางที่ 3 ข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้า

| | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ |
|---|---|---|---|---|
| $C_1$ (บาท) | 9024 | 8580 | 8220 | 8976 |
| $C_2$ (นาที) | 631 | 637 | 629 | 663 |
| $C_3$ (ระดับ) | (11.968, 17.339, 22.911) | (11.508, 16.820, 22.459) | (11.536, 16.657, 22.247) | (11.679, 16.885, 22.322) |
| $C_4$ (ระดับ) | (9, 12, 14) | (10, 13, 14) | (10, 13, 14) | (10, 13, 14) |
| $C_5$ (ระดับ) | (17, 23, 28) | (18, 24, 28) | (16, 22, 27) | (16, 22, 27) |
| $C_6$ (ระดับ) | (7.612, 12.211, 17.117) | (7.576, 11.115, 16.053 | (6.001, 8.574, 13.467) | (9.731, 13.376, 18.330) |

ต่อมาทำการคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือที่มีการเก็บข้อมูลตามหลักการของวิธีเดลฟายจำนวน 3 รอบ จากผู้ตัดสินใจที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการบริหารการขนส่งสินค้าอย่างน้อย 10 ปี จำนวน 17 ราย ได้แก่ รอบที่ 1 การรวบรวมข้อมูลความเห็นแบบปลายเปิดโดยให้ผู้ตัดสินใจเปรียบเทียบความสำคัญผ่านตัวแปรภาษาและระดับการประเมินความสำคัญแบบคลุมเครือ รอบที่ 2 เป็นการให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินระดับความเหมาะสมของระดับการประเมินความสำคัญที่ตนเองประเมินไว้ และรอบที่ 3 มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันของความเห็นที่รวบรวมได้จากผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย โดยนำระดับการประเมินความเหมาะสมที่รวบรวมได้ในรอบที่ 2 มาทำการคำนวณค่าสถิติทดสอบ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าพิสัยควอไทล์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามลำดับ ทั้งนี้หากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมีความสอดคล้องกัน ค่าสถิติทดสอบต้องเป็นไปตามเงื่อนไข ได้แก่ ค่าเฉลี่ยต้องมากกว่า 3.50 ค่าพิสัยควอไทล์ต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับ 1.00 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต้องมีค่าน้อยกว่า 1.50

จากนั้นนำความคิดเห็นทั้งหมดมาสร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่รวม แสดงดังตารางที่ 4 ต่อมาทำการคำนวณค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ ดังนี้ $S_1$ = (0.112, 0.201, 0.351) $S_2$ = (0.097, 0.176, 0.315) $S_3$ = (0.102, 0.175, 0.297) $S_4$ = (0.094, 0.168, 0.293) $S_5$ = (0.090, 0.159, 0.283) และ $S_6$ = (0.075, 0.122, 0.216)

ถัดมาคำนวณระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์และกำหนดค่าระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคลุมเครือคอนเว็กซ์ ดังนี้ $d'(a_1)$ = min(1, 1, 1, 1, 1) = 1 $d'(a_2)$ = min(0.892, 1, 1, 1, 1) = 0.892 $d'(a_3)$ = min(0.875, 0.990, 1, 1, 1) = 0.875 $d'(a_4)$ = min(0.846, 0.958, 0.967, 1, 1) = 0.846 $d'(a_5)$ = min(0.806, 0.915, 0.921, 0.954, 1) = 0.806 และ $d'(a_6)$ = min(0.568, 0.683, 0.682, 0.725, 0.772) = 0.568

การคำนวณน้ำหนักความสำคัญสามารถดำเนินการได้จากการปรับบรรทัดฐานค่าระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคลุมเครือคอนเว็กซ์ น้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจแสดงดังนี้ $w_1$ = 0.201, $w_2$ = 0.179, $w_3$ = 0.175, $w_4$ = 0.169, $w_5$ = 0.162 และ $w_6$ = 0.114 เมื่อนำน้ำหนักความสำคัญและค่ากลางของระดับการประเมินความสำคัญรวมมาคำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลได้เท่ากับ 0.029 จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าน้ำหนักความสำคัญที่มีความน่าเชื่อถือสูงสามารถนำไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไปได้ [35], [36]

ข้อมูลทั้งหมดถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับวิธีการตัดสินใจและสร้างเป็นเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ แสดงดังตารางที่ 5 ต่อมาเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือถูกทำการปรับบรรทัดฐาน เนื่องจากเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ไม่เป็นประโยชน์ ค่าปรับบรรทัดฐานจึงได้จากค่าล่างที่น้อยสุดหารด้วยส่วนกลับของข้อมูลนำเข้าในแต่ละทางเลือก พร้อมทั้งคูณกับน้ำหนักความสำคัญเพื่อสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 6 โดยสามารถกำหนดเซตของค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือมีค่าเท่ากับ $A^+$ = {(0.148, 0.170, 0.201), (0.132, 0.152, 0.179), (0.091, 0.121, 0.176), (0.109, 0.127, 0.170), (0.096, 0.118, 0.162), (0.051, 0.080, 0.114)} และ $A^-$ = {(0.135, 0.155, 0.183), (0.125,

0.144, 0.1697), (0.088, 0.117, 0.169), (0.102, 0.117, 0.153), (0.092, 0.108, 0.144), (0.037, 0.051, 0.070)}

ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือได้ถูกประมาณบนพื้นฐานของแนวคิดระยะห่างยูคลิเดียนระหว่างข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงบวก ส่วนระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือพิจารณาจากข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงลบ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของแต่ละเส้นทาง พร้อมทั้งจัดลำดับทางเลือก แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 4 เมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่รวม

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_1$ | (1, 1, 1) | (1.359, 1.976, 2.637) | (0.838, 1.157, 1.50) | (0.917, 1.343, 1.912) | (1.010, 1.392, 1.794) | (1.472, 2.235, 3.000) |
| $C_2$ | (0.742, 1.034, 1.402) | (1, 1, 1) | (1.152, 1.667, 2.265) | (0.928, 1.299, 1.814) | (0.924, 1.495, 2.137) | (1.020, 1.500, 2) |
| $C_3$ | (1.093, 1.431, 1.853) | (0.721, 1.071, 1.515) | (1, 1, 1) | (1.058, 1.373, 1.716) | (1.054, 1.490, 1.972) | (1.129, 1.544, 1.961) |
| $C_4$ | (0.775, 1.186, 1.588) | (0.927, 1.382, 1.794) | (1.078, 1.343, 1.647) | (1, 1, 1) | (0.956, 1.373. 1.912) | (0.804, 1.324, 1.941) |
| $C_5$ | (0.9284, 1.1520, 1.5196) | (0.8676, 1.2941, 1.8529) | (0.7696, 1, 1.3235) | (0.8059, 1.2598, 1.7843) | (1, 1, 1) | (0.9706, 1.4804, 2.0588) |
| $C_6$ | (0.4578, 0.5559, 0.8284) | (0.6814, 0.8137, 1.0882) | (0.8284, 0.9412, 1.1471) | (0.6863, 1.0588, 1.5882) | (0.7892, 1.1471, 1.6176) | (1, 1, 1) |

ตารางที่ 5 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | (7670.4, 9024, 10377.6) | (536.35, 631, 725.65) | (11.968, 17.339, 22.911) | (19, 12, 14) | (17, 23, 28) | (7.612, 12.211, 17.117) |
| $A_2$ | (7293, 8580, 9867) | (541.45, 637, 732.55) | (11.508, 16.819, 22.459) | (10, 13, 14) | (18, 24, 28) | (7.576, 11.115, 16.053) |
| $A_3$ | (6987, 8220, 9453) | (534.65, 629, 723.35) | (11.536, 16.657, 22.247) | (10, 13, 15) | (16, 22, 27) | (6.002, 8.574, 13.467) |
| $A_4$ | (7629.6, 8976, 10322.4) | (563.55, 663, 762.45) | (11.679, 16.885, 22.322) | (10, 13, 15) | (16, 22, 27) | (9.731, 13.376, 18.330) |

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | (0.135, 0.155, 0.183) | (0.132, 0.152, 0.178) | (0.088, 0.117, 0.169) | (0.109, 0.127, 0.170) | (0.092, 0.113, 0.152) | (0.040, 0.056, 0.090) |
| $A_2$ | (0.142, 0.163, 0.192) | (0.131, 0.150, 0.177) | (0.089, 0.120, 0.176) | (0.109, 0.117, 0.153) | (0.092, 0.108, 0.144) | (0.043, 0.061, 0.090) |
| $A_3$ | (0.148, 0.170, 0.201) | (0.132, 0.152, 0.179) | (0.091, 0.121, 0.175) | (0.102, 0.117, 0.153) | (0.096, 0.118, 0.162) | (0.051, 0.080, 0.114) |
| $A_4$ | (0.136, 0.156, 0.184) | (0.125, 0.144, 0.170) | (0.091, 0.120, 0.173) | (0.102, 0.117, 0.153) | (0.096, 0.118, 0.162) | (0.037, 0.051, 0.070) |

ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือได้ถูกประมาณบนพื้นฐานของแนวคิดระยะห่างยูคลิเดียนระหว่างข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงบวก ส่วนระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือพิจารณาจากข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงลบ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของแต่ละเส้นทาง พร้อมทั้งจัดลำดับทางเลือก แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ

| | $d_i^+$ | $d_i^-$ | $CC_i$ | อันดับ |
|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 0.048 | 0.037 | 0.436 | 2 |
| $A_2$ | 0.052 | 0.036 | 0.413 | 3 |
| $A_3$ | 0.012 | 0.072 | 0.854 | 1 |
| $A_4$ | 0.068 | 0.017 | 0.197 | 4 |

จากตารางที่ 7 พบว่าเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R3 หรือทางเลือก $A_3$ มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.854 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นเส้นทางนี้จึงเป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุด หรือเป็นทางเลือกลำดับแรก เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R1 หรือทางเลือก $A_1$ มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.436 จึงมีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สอง เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R2 หรือทางเลือก $A_2$ มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.413 จึงมีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สาม และเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R4 หรือทางเลือก $A_4$ มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.197 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นเส้นทางนี้จึงเป็นทางเลือกลำดับสุดท้าย

ผลการวิจัยในข้างต้น เป็นการอธิบายให้เห็นกลไกการแก้ปัญหาของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ ผู้ตัดสินใจไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วยตนเอง แต่ต้องกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ จุดต้นทางและปลายทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าและทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ จากนั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอจะทำการแก้ปัญหาพร้อมทั้งคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้า ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ แสดงดังรูปที่ 4

**Decision Support System for Road Freight Transportation with Fuzzy Decision-Making Approach**

**Main Screen: Closeness Coefficient**

Fuzzy Decision Matrix | Fuzzy Weighted Normalized Decision Matrix | Closeness Coefficient

| | Cost | | | Time | | | Risk of Road Elements | | | Risk of Blackspots | | | Risk of Infrastructure | | | Risk of Route Abilities | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A+ | 0.148 | 0.170 | 0.201 | 0.132 | 0.152 | 0.179 | 0.091 | 0.121 | 0.176 | 0.109 | 0.127 | 0.170 | 0.096 | 0.118 | 0.162 | 0.051 | 0.080 | 0.114 |
| A - | 0.135 | 0.155 | 0.183 | 0.125 | 0.144 | 0.170 | 0.088 | 0.116 | 0.169 | 0.102 | 0.117 | 0.153 | 0.089 | 0.108 | 0.144 | 0.037 | 0.051 | 0.070 |

| No. | Route | Distance | | | | | | di+ | | Distance | | | | | | di- | | CC | Rank |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A1: Warehuse at Laem Chabang Port -- Chachoengsao -- Bangkok -- Pathum Thani -- Saraburi -- Nakhon Ratchasima -- Khon Kaen -- Maha Sarakham -- Kalasin -- Mukdahan Custom | 0.016 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.007 | 0.020 | 0.048 | | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.012 | 0.006 | 0.012 | 0.037 | | 0.436 | 2 |
| 2 | A2: Warehuse at Laem Chabang Port -- Chonburi -- Chachoengsao -- Prachinburi -- Nakhon Ratchasima -- Khon Kaen -- Maha Sarakham -- Kalasin -- Mukdahan Custom | 0.007 | 0.002 | 0.001 | 0.011 | 0.012 | 0.018 | 0.052 | | 0.008 | 0.006 | 0.005 | 0.004 | 0.000 | 0.013 | 0.036 | | 0.413 | 3 |
| 3 | A3: Warehuse at Laem Chabang Port -- Chonburi -- Chachoengsao -- Prachinburi -- Sa Kaeo -- Buriram -- Surin -- Roi Et -- Yasothon -- Mukdahan Custom | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.012 | | 0.016 | 0.008 | 0.005 | 0.000 | 0.012 | 0.031 | 0.072 | | 0.854 | 1 |
| 4 | A4: Warehuse at Laem Chabang Port -- Chonburi -- Chachoengsao -- Prachinburi -- Nakhon Ratchasima -- Buriram -- Surin -- Roi Et -- Mukdahan Custom | 0.015 | 0.008 | 0.002 | 0.012 | 0.000 | 0.031 | 0.068 | | 0.001 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.017 | | 0.197 | 4 |

**This program is designed for supporting research of Asst. Prof. Dr Nitidetch Koohathongsumrit and Ms. Wasana Chankham**
**Department of Statistics, Ramkhamhaeng University, Thailand**

รูปที่ 4 ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ สามารถช่วยผู้ตัดสินใจให้เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าและสามารถจัดลำดับทางเลือกได้อย่างสมเหตุผล โดยจากข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้า หากพิจารณาเฉพาะต้นทุนและระยะเวลาการขนส่ง อาจสามารถตัดสินใจได้ทันทีว่าทางเลือก $A_3$ เป็นทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากมีต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาเฉพาะต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากทางเลือกดังกล่าวอาจมีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ หรือความเสี่ยง จนไม่สามารถขนส่งสินค้าในเส้นทางได้ ซึ่งเหตุการณ์ไม่คาดคิดเหล่านี้หากเกิดขึ้นอาจส่งผลให้ต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งเพิ่มขึ้นสูงมาก รวมถึงความสำเร็จของการขนส่ง ดังนั้นการพิจารณาระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าร่วมกับต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งนั้น เป็นผลให้การตัดสินใจอย่างเป็นระบบ ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง และเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์มากขึ้น

## 5. สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่มีความซับซ้อนและมีองค์ประกอบในการตัดสินใจจำนวนมาก ผู้ตัดสินใจจำเป็นต้องมีวิธีการ หรือเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้ต้องการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยกระบวนการลำดับชั้นวิเคราะห์แบบคลุมเครือและการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือได้ถูกกำหนดให้เป็นกระบวนการแก้ไขปัญหาของระบบสนับสนุนการตัดสินใจพิจารณาจากต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า ความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพด้านต่าง ๆ และน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ พร้อมทั้งประยุกต์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับกรณีศึกษา

จากการทดสอบระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับปัญหาจริง พบว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ สามารถแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประนีประนอมองค์ประกอบในการตัดสินใจทั้งหมดเพื่อหาคำตอบที่ดีสุด สามารถจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความเหมาะสมจากมากไปหาน้อย และเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์ โดยที่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานข้อมูล ส่วนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ และส่วนการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยส่วนฐานข้อมูลเป็นส่วนที่ใช้รวบรวมข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า และความเสี่ยงแบบคลุมเครือลักษณะทางกายภาพด้านต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้การตัดสินใจมีความสมเหตุผลใกล้เคียงกับข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นมากกว่าการประเมินความเสี่ยงแบบดั้งเดิม ในขณะที่ส่วนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญอาศัยหลักการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ ซึ่งช่วยให้การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ผู้ตัดสินใจต้องเผชิญและทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด สุดท้ายข้อมูลองค์ประกอบในการตัดสินใจได้รับการสังเคราะห์ด้วยการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ เพื่อกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติสูงสุด

วิธีการใช้งานของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ ผู้ตัดสินใจต้องกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง พร้อมเตรียมข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดของแต่ละทางเลือกในส่วนฐานข้อมูล จากนั้นทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรองเป็นรายคู่เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ โดยระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ จะทำการประมวลและจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้า ทั้งนี้ผู้ตัดสินใจไม่จำเป็นต้องปรับปรุงฐานข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนแทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเลย อย่างไรก็ตามสำหรับการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจอาจต้องกระทำทุกครั้งที่มีการตัดสินใจ หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรที่ใช้ในการขนส่งสินค้าและนโยบายขององค์กร นอกจากนี้ยังพบข้อจำกัดบางประการจากการใช้งาน ได้แก่ 1) หากข้อมูลประกอบการตัดสินใจอย่างใดอย่างหนึ่งหายไป อาจทำให้เกิดความเอนเอียงในการตัดสินใจ หรือระบบสนับสนุนการตัดสินใจไม่สามารถหา

ลำดับของทางเลือกได้ 2) ผู้ตัดสินใจต้องทำความเข้าใจระดับการประเมินความสำคัญและระดับการประเมินความเสี่ยงแบบคลุมเครือก่อนการตัดสินใจ 3) หากสินค้าที่ต้องทำการขนส่งสินค้าที่มีเงื่อนไข หรือเกณฑ์การตัดสินใจแบบเฉพาะเจาะจงอาจไม่สามารถกระทำได้ เช่น อายุของสินค้าหรือการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่ง และ 4) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจใช้ได้กับการขนส่งสินค้าทางถนนเท่านั้น ไม่สามารถใช้ได้กับการขนส่งรูปแบบอื่น

ผลจากการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวกับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น งานวิจัยของ Moon et al. [3] Meethom and Koohathongsumrit [13] และ Koohathongsumrit and Meethom [10] เนื่องจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอสามารถกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมและจัดลำดับทางเลือกทั้งหมดจากค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย แต่การศึกษาวิจัยนี้แตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้า เนื่องจากมีการพิจารณาระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าและใช้วิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือทั้งหมด โดยยอมให้เกิดความยืดหยุ่นในกระบวนการตัดสินใจเพื่อให้ได้คำตอบซึ่งเป็นทางเลือกที่สามารถประนีประนอมองค์ประกอบการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การศึกษาวิจัยนี้ยังเป็นงานวิจัยแรกที่เสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าผ่านระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่นำแนวคิดการประเมินระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

จากผลการวิจัยในข้างต้นทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอเป็นนวัตกรรมแบบใหม่ที่ช่วยแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์ได้อย่างเป็นระบบระบบ อำนวยความสะดวกให้ผู้ตัดสินใจสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ลดความคลุมเครือที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดสินใจโดยพยายามเลือกทางเลือกที่เหมาะสมซึ่งยอมให้เกิดการได้อย่างเสียอย่าง (Trade-off) ระหว่างองค์ประกอบในการตัดสินใจทั้งหมดอย่างพอเพียง อีกทั้งระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอมีขั้นตอนการใช้งานง่าย ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลต่ำและรองรับผู้ใช้งาน หรือกลุ่มผู้ตัดสินใจที่หลากหลาย สำหรับการวิจัยในอนาคต ระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ อาจได้รับการพัฒนาโดยเพิ่มเกณฑ์การตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมและนำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่นมาใช้แก้ปัญหา เช่น วิธีดี-แย่สุด (Best-Worst Method: BWM) กระบวนการโครงข่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytic Network Process: ANP) วิธีไวโกร์ (VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje: VIKOR) ฯลฯ

## 6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ประจำปีงบประมาณ 2564

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] S.-H. Woo, S.-N. Kim, D.-W. Kwak, S. Pettit and A. Beresford, “Multimodal route choice in maritime transportation: the case of Korean auto-parts exporters,” *Maritime Policy & Management*., vol. 45, no. 1, pp. 19-33, 2018.

[2] S. Arunyanart, S. Ohmori and K. Yoshimoto, “Selection of export route option in GMS region recommendation for current situation,” *Journal of Japan Industrial Management Association*., vol. 67, no. 2E, pp. 193-201, 2016.

[3] D. S. Moon, D.-J. Kim and E.-K. Lee, “A study on competitiveness of sea transport by comparing international transport routes between Korea and EU,” *The Asian Journal of Shipping and Logistics*., vol. 31, no. 1, pp. 1-20, 2015.

[4] A. Kengpol, W. Meethom and M. Tuominen, “The development of a decision support system in multimodal transportation routing

within Greater Mekong sub-region countries," *International Journal of Production Economics*., vol. 140, no. 2, pp. 691-701, 2012.

[5] A. Kengpol and S. Tuammee, "The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics: an empirical study," *International Journal of Production Research*., vol. 54, no. 4, pp. 1020-1038, 2016.

[6] K. Kaewfak, V-N. Huynh, V. Ammarapala and N. Ratisoontorn, "A risk analysis based on a two-stage model of fuzzy AHP–DEA for multimodal freight transportation systems," *IEEE Access*., vol. 8, pp. 153756-153773, 2020.

[7] J. Guo, J. Xu, Q. Du and Z. He, "Risk assessment on multimodal transport network based on quality function deployment," *International Journal of Intelligent Systems*., vol. 36, no. 3, pp. 1408-1440, 2020.

[8] M. Gul, A. F. Guneri and S. M. Nasirli, "A fuzzy-based model for risk assessment of routes in oil transportation," *International Journal of Environmental Science and Technology*., vol. 16, no. 8, pp. 4671-4686, 2019.

[9] N. Koohathongsumrit and W. Meethom, "An integrated approach of fuzzy risk assessment model and data envelopment analysis for route selection in multimodal transportation networks," *Expert Systems with Applications*., vol. 171, pp. 114342, 2021.

[10] N. Koohathongsumrit and W. Meethom, "Route selection in multimodal transportation networks: a hybrid multiple criteria decision-making approach," *Journal of Industrial and Production Engineering*., vol. 38, no. 3, pp. 171-185, 2021.

[11] N. Koohathongsumrit and W. Chankham, "A hybrid approach of fuzzy risk assessment-based incenter of centroid and MCDM methods for multimodal transportation route selection," *Cogent Engineering*., vol. 9, no. 1, pp. 2091672, 2022.

[12] W. Meethom and N. Koohathongsumrit, "Design of decision support system for road freight transportation routing using multilayer zero one goal programming," *Engineering Journal*., vol. 22, no. 6, pp. 185-205, 2018.

[13] W. Meethom and N. Koohathongsumrit, "An integrated potential assessment criteria and TOPSIS based decision support system for road freight transportation routing," *Applied Science and Engineering Progress*., vol. 13, no. 4, pp. 312-326, 2020.

[14] R. Sarraf and M. P. McGuire, "Integration and comparison of multi-criteria decision making methods in safe route planner," *Expert Systems with Applications*., vol. 154, pp. 113399, 2020.

[15] A. Gohari, A. Nasir Matori, K. W. Yusof, I. Toloue, K. C. Myint and A. T. Sholagberu, "Route/Modal choice analysis and tradeoffs evaluation of the intermodal transport network of Peninsular Malaysia," *Cogent Engineering*., vol. 5, no. 1, pp. 1436948, 2018.

[16] R. Accorsi, R. Manzini and F. Maranesi, "A decision-support system for the design and management of warehousing systems," *Computers in Industry*., vol. 65, no. 1, pp. 175-186, 2014.

[17] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill, 1980.

[18] 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.

[19] S. S. Thapar and H. Sarangal, "Quantifying reusability of software components using hybrid fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)-Metrics approach," *Applied Soft Computing*., vol. 88, pp. 105997, 2020.

[20] C-L. Hwang and K. Yoon, Multiple attribute decision making: methods and applications, Berlin: Springer-Verlag, 1981.

[21] A. Mohammed, I. Harris and K. Govindan, "A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation," *International Journal of Production Economics*., vol. 217, pp. 171-184, 2019.

[22] R. Banomyong and A. K. C. Beresford, "Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*., vol. 31, no. 9, pp. 663-685, 2001.

[23] A. Khashei-Siuki, A. keshavarz and H. Sharifan, "Comparison of AHP and FAHP methods in determining suitable areas for drinking water harvesting in Birjand aquifer. Iran," *Groundwater for Sustainable Development*., vol. 13, pp. 100328, 2021.

[24] สุมนา อรุณอุดมชัย และ อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์, "การประยุกต์ใช้ตัวแบบการคัดเลือกแบบหลายเงื่อนไข สำหรับปัญหาการคัดเลือกผู้ให้บริการแพ็คสินค้า กรณีศึกษา บริษทัผู้จัดจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภคแห่งหนึ่ง," *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย*., ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, น. 42-54, 2021.

[25] E. Zarei, B. Ramavandi, A. H. Darabi and M. Omidvar, "A framework for resilience assessment in process systems using a fuzzy hybrid MCDM model," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*., vol. 69, pp. 104375, 2021.

[26] A. M. Torkabadi, E. Pourjavad and R. V. Mayorga, "An integrated fuzzy MCDM approach to improve sustainable consumption and production trends in supply chain," *Sustainable Production and Consumption*., vol. 16, pp. 99-109, 2018.

[27] T. L. Saaty, "How to make a decision: the analytic hierarchy process," *European Journal of Operational Research*., vol. 48, no. 1, pp. 9-26, 1990.

[28] Z. Halili, "Identifying and ranking appropriate strategies for effective technology transfer in the automotive industry: evidence from Iran," *Technology in Society*., vol. 62, pp. 101264, 2020.

[29] S. Khan, M. I. Khan, A. Haleem and A. Jami, "Prioritising the risks in Halal food supply chain: an MCDM approach," *Journal of Islamic Marketing*, vol. 13, no. 1, pp. 45-65, 2022.

[30] J. Gajdoš, L. Socha and B. Mihalčová, "The use of penalty functions in logistics," *Nase More*, vol. 61, no. 1-2, pp. 7-10, 2014.

[31] Y. A. Solangi, Q. Tan, N. H. Mirjat and S. Ali, "Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach," *Journal of Cleaner Production*., vol. 236, pp. 117655, 2019.

[32] O. Ur Rehman and Y. Ali, "Optimality study of China's crude oil imports through China Pakistan economic corridor using fuzzy TOPSIS and Cost-Benefit analysis," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*., vol. 148, pp. 102246, 2021.

[33] บราลี เหมราสวัสดิ์, ศันสนีย์ สุภาภา และ พัชราภรณ์ ญาณภิรัต. "การวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกวิธีการในการปิดพื้นที่บ่อเหมืองถ่านหินเก่าในพื้นที่กาลิมันตันตะวันออก ประเทศอินโดนีเซีย," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*., ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, น. 55-66, 2564.

[34] S. K. Saraswat and A. K. Digalwar, "Evaluation of energy sources based on sustainability factors using integrated fuzzy MCDM approach," *International Journal of Energy Sector Management*., vol. 15, no. 1, pp. 246-266, 2021.

[35] M. Hamidah, I. Mohd Hasmadi, L. S. L. Chua, W. S. Y. Yong, K. H. Lau, I. Faridah-Hanum and H. Z. Pakhriazad, "Development of a protocol for Malaysian Important Plant Areas criterion weights using Multi-criteria Decision Making - Analytical Hierarchy Process (MCDM-AHP)," *Global Ecology and Conservation*., vol. 34, pp. e02033, 2022.

[36] P. H. Nyimbili and T. Erden, "GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey," *Socio-Economic Planning Sciences*., vol. 71, pp. 100860, 2020.

ตารางที่ ก เกณฑ์ประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพ

| เกณฑ์การตัดสินใจ | ระดับความเสี่ยง | รายละเอียด |
|---|---|---|
| จำนวนช่องจราจรต่อทิศทาง ($C_{31}$) | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 6 ช่องจราจรต่อทิศทาง |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 4 แต่ไม่เกิน 6 ช่องจราจรต่อทิศทาง |
| | $\tilde{3}$ | – 4 ช่องจราจรต่อทิศทาง |
| | $\tilde{4}$ | – 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง |
| ความกว้างของช่องจราจร ($C_{32}$) | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 4.00 เมตร |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 3.60 เมตรแต่ไม่เกิน 4.00 เมตร |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 3.50 เมตรแต่ไม่เกิน 3.60 เมตร |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 3.30 เมตรแต่ไม่เกิน 3.50 เมตร |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 3.30 เมตร |
| วัสดุพื้นผิวการจราจร ($C_{33}$) | $\tilde{1}$ | – เกร็งตัวที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตมากกว่า 10 เมตร หรือ<br>– พื้นผิวคุณภาพสูงกว่าแบบเกร็งตัว |
| | $\tilde{2}$ | – เกร็งตัวที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตมากกว่า 8 เมตรแต่ไม่เกิน 10 เมตร |
| | $\tilde{3}$ | – หยุ่นตัว หรือ<br>– เกร็งตัวที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตไม่เกิน 8 เมตร |
| | $\tilde{4}$ | – ลูกรัง |
| | $\tilde{5}$ | – พื้นผิวที่ไม่ถูกออกแบบมาเพื่อการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ หรือ<br>– พื้นผิวคุณภาพต่ำกว่าลูกรัง |
| ความกว้างของไหล่ทาง ($C_{34}$) | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 3.00 เมตร |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 2.50 เมตรแต่ 3.00 เมตร |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 2.00 เมตรแต่ 2.50 เมตร |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 1.50 เมตรแต่ 2.00 เมตร |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 1.50 เมตร |
| ชนิดของเกาะกลางถนน ($C_{35}$) | $\tilde{1}$ | – แบบกดเป็นร่องที่มีการติดตั้งราว หรือกำแพงกั้น |
| | $\tilde{2}$ | – แบบยกที่มีการติดตั้งราว หรือกำแพงกั้น หรือ<br>– แบบเป็นราว หรือกำแพงกั้น หรือ<br>– แบบกดเป็นร่อง |
| | $\tilde{3}$ | – แบบยกที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแสงไฟหน้ารถ |
| | $\tilde{4}$ | – แบบยก |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ<br>– แบบเคลื่อนย้ายได้ หรือแบบสี |
| ชนิดเกาะกลางถนน ($C_{36}$) เกาะสี | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 2.55 เมตร |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 2.00 เมตรแต่ไม่เกิน 2.55 เมตร |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 1.50 เมตรแต่ไม่เกิน 2.00 เมตร |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 1.00 เมตรแต่ไม่เกิน 1.50 เมตร |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ<br>– ไม่เกิน 1.00 เมตร |

ตารางที่ ก (ต่อ)

| เกณฑ์การตัดสินใจ | | ระดับความเสี่ยง | รายละเอียด |
|---|---|---|---|
| ชนิดเกาะกลางถนน ($C_{36}$) (ต่อ) | แบบยก | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 10.00 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 6.00 เมตรแต่ไม่เกิน 10.00 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 4.20 เมตรแต่ไม่เกิน 6.00 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 1.60 เมตรแต่ไม่เกิน 4.20 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ<br>– ไม่เกิน 1.60 เมตร |
| | แบบกดเป็นร่อง | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 20.70 เมตรและมีความลึกของร่องอย่างน้อย 1.00 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 20.70 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 17.85 เมตรแต่ไม่เกิน 20.70 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 15.00 เมตรแต่ไม่เกิน 17.85 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 15.00 เมตร |
| | แบบลวดเคเบิล | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 5.00 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 4.90 เมตรแต่ไม่เกิน 5.00 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 4.80 เมตรแต่ไม่เกิน 4.90 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 4.70 เมตรแต่ไม่เกิน 4.80 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 4.70 เมตร |
| | แบบแผ่นเหล็กอ่อน | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 3.90 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 3.81 เมตรแต่ไม่เกิน 3.90 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 3.70 เมตรแต่ไม่เกิน 3.81 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 3.60 เมตรแต่ไม่เกิน 3.70 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 3.60 เมตร |
| | แบบแผ่นเหล็กแข็ง | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 2.00 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 1.91 เมตรแต่ไม่เกิน 2.00 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 1.80 เมตรแต่ไม่เกิน 1.91 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 1.70 เมตรแต่ไม่เกิน 1.80 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 1.70 เมตร |
| | แบบราวเหล็ก | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 2.00 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 1.91 เมตรแต่ไม่เกิน 2.00 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 1.80 เมตรแต่ไม่เกิน 1.91 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 1.70 เมตรแต่ไม่เกิน 1.80 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่เกิน 1.70 เมตร |
| | กำแพงคอนกรีต | $\tilde{1}$ | – มากกว่า 10.00 เมตร |
| | | $\tilde{2}$ | – มากกว่า 6.00 เมตรแต่ไม่เกิน 10.00 เมตร |
| | | $\tilde{3}$ | – มากกว่า 4.20 เมตรแต่ไม่เกิน 6.00 เมตร |
| | | $\tilde{4}$ | – มากกว่า 1.60 เมตรแต่ไม่เกิน 4.20 เมตร |
| | | $\tilde{5}$ | – ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ<br>– ไม่เกิน 1.60 เมตร |

ตารางที่ ก (ต่อ)

| เกณฑ์การตัดสินใจ | ระดับความเสี่ยง | รายละเอียด |
|---|---|---|
| อัตราส่วนจำนวนสะพาน ($C_{41}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีสะพานทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – ไม่เกินร้อยละ 3 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 3 แต่ไม่เกินร้อยละ 8 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 8 แต่ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนจำนวนทางโค้ง ($C_{42}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อระยะทาง |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 25 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 25 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – มากกว่าร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนจำนวนจุดทางเชื่อม ($C_{43}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 ต่อระยะทาง |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 15 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – มากกว่าร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนเส้นแบ่งช่องฯ ($C_{51}$) | $\tilde{1}$ | – มีเส้นแบ่งช่องจราจร เส้นแบ่งทิศทางจราจรตลอดระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 90 ของระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 80 แต่ไม่เกินร้อยละ 90 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 70 แต่ไม่เกินร้อยละ 80 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกินร้อยละ 70 ของระยะทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนเส้นทางที่มีเกาะกลางฯ ($C_{52}$) | $\tilde{1}$ | – มีเกาะกลางถนนตลอดระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 95 ของระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 85 แต่ไม่เกินร้อยละ 95 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 70 แต่ไม่เกินร้อยละ 85 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกินร้อยละ 70 ของระยะทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนทางขนาน ($C_{53}$) | $\tilde{1}$ | – มีทางขนานตลอดระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 80 ของระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 30 แต่ไม่เกินร้อยละ 80 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกินร้อยละ 10 ของระยะทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนราวกั้นข้างทาง ($C_{54}$) | $\tilde{1}$ | – มากกว่าร้อยละ 80 ของระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 60 แต่ไม่เกินร้อยละ 80 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 40 แต่ไม่เกินร้อยละ 60 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 ต่อระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกินร้อยละ 20 ของระยะทางทั้งหมด |

ตารางที่ ก (ต่อ)

| เกณฑ์การตัดสินใจ | ระดับความเสี่ยง | รายละเอียด |
|---|---|---|
| อัตราส่วนจุดเชื่อมทางที่มีช่อฯ ($C_{55}$) | $\tilde{1}$ | – มากกว่าร้อยละ 40 ต่อจำนวนจุดเชื่อมทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 27 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 ต่อจำนวนจุดเชื่อมทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 18 แต่ไม่เกินร้อยละ 27 ต่อจำนวนจุดเชื่อมทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 18 ต่อจำนวนจุดเชื่อมทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อจำนวนจุดเชื่อมทางทั้งหมด |
| อัตราส่วนจำนวนสะพานที่มีช่องฯ ($C_{56}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีสะพาน หรือ<br>– มีจำนวนช่องทางสำหรับการไต่ในทุกสะพาน |
| | $\tilde{2}$ | – มากกว่าร้อยละ 60 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 40 แต่ไม่เกินร้อยละ 60 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด |
| อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวฯ ($C_{61}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีการเสื่อมสภาพตลอดระยะทาง |
| | $\tilde{2}$ | – ไม่เกินร้อยละ 5 ของระยะทาง |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 5 แต่ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของระยะทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – มากกว่าร้อยละ 20 ของระยะทางทั้งหมด |
| ความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน ($C_{62}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีสะพาน หรือ<br>– เฉลี่ยมากกว่า 60.00 ตัน |
| | $\tilde{2}$ | – เฉลี่ยมากกว่า 55.00 ตันแต่ไม่เกิน 60.00 ตัน |
| | $\tilde{3}$ | – เฉลี่ยมากกว่า 45.00 ตันแต่ไม่เกิน 55.00 ตัน |
| | $\tilde{4}$ | – เฉลี่ยมากกว่า 30.00 ตันแต่ไม่เกิน 45.00 ตัน |
| | $\tilde{5}$ | – เฉลี่ยไม่เกิน 30.00 ตัน |
| ระยะลอดแนวดิ่งของช่องลอดฯ ($C_{63}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีช่องลอดถนน หรืออุโมงค์ หรือ<br>– ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 6.00 เมตร |
| | $\tilde{2}$ | – ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 5 เมตร แต่ไม่เกิน 6.00 เมตร |
| | $\tilde{3}$ | – ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 4.50 เมตร แต่ไม่เกิน 5.00 เมตร |
| | $\tilde{4}$ | – ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 3.50 เมตร แต่ไม่เกิน 4.50 เมตร |
| | $\tilde{5}$ | – ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยไม่เกิน 3.50 เมตร |
| อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวไหล่ทาง ($C_{64}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีการเสื่อมสภาพตลอดระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด |
| | $\tilde{2}$ | – ไม่เกินร้อยละ 10 ของระยะทางไหล่ทางทั้งหมด |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ของระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด |
| | $\tilde{5}$ | – มากกว่าร้อยละ 30 ของระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด หรือ<br>– ไม่มีไหล่ทาง |

ตารางที่ ก (ต่อ)

| เกณฑ์การตัดสินใจ | ระดับความเสี่ยง | รายละเอียด |
|---|---|---|
| ความลาดชันของเส้นทาง ($C_{65}$) | $\tilde{1}$ | – ไม่มีความลาดชัน |
| | $\tilde{2}$ | – ไม่เกินร้อยละ 2 (ทางราบ)<br>– ไม่เกินร้อยละ 3 (ทางเนิน)<br>– ไม่เกินร้อยละ 4 (ทางเขา) |
| | $\tilde{3}$ | – มากกว่าร้อยละ 2 แต่ไม่เกินร้อยละ 4 (ทางราบ)<br>– มากกว่าร้อยละ 3 แต่ไม่เกินร้อยละ 6 (ทางเนิน)<br>– มากกว่าร้อยละ 4 แต่ไม่เกินร้อยละ 6 (ทางเขา) |
| | $\tilde{4}$ | – มากกว่าร้อยละ 4 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 (ทางราบ)<br>– มากกว่าร้อยละ 6 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 (ทางเนิน)<br>– มากกว่าร้อยละ 6 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 (ทางเขา) |
| | $\tilde{5}$ | – มากกว่าร้อยละ 15 |