# การประยุกต์ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการประเมินความเสี่ยงสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม

**นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์***
มหาวิทยาลัยรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

** Corresponding Author: nitidetch.k@rumail.ru.ac.th*
*อาจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์*

**ข้อมูลบทความ**

**ประวัติบทความ :**
รับเพื่อพิจารณา : 24 เมษายน 2562
แก้ไข : 1 ตุลาคม 2562
ตอบรับ : 17 ตุลาคม 2562

**คำสำคัญ :**
ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ / การประเมินความเสี่ยง / การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ / การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

**บทคัดย่อ**

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือการนำเสนอวิธีการประยุกต์ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการประเมินความเสี่ยงเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม โดยเริ่มจากการอธิบายลักษณะให้กับข้อมูลนำเข้าและส่งออกด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและตัวแปรภาษา จากนั้น กำหนดวิธีการอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือด้วยกฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว เพื่อระบุระดับความเป็นสมาชิกของระดับความเสี่ยง ต่อมาคำนวณระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่เป็นค่าปกติด้วยวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วงจากระดับความเป็นสมาชิกของระดับความเสี่ยง โดยระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจจะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณด้วยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งที่มีการกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี สุดท้ายทดสอบวิธีการที่เสนอกับปัญหาการตัดสินใจจริง ซึ่งเป็นการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างกรุงเทพมหานครและนครดานังในสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอสามารถจัดการกับปัญหาการคำนวณระดับความเสี่ยงที่มีความไม่แน่นอนและไม่ชัดเจนได้อย่างมีเหตุผล นอกจากนี้ ยังช่วยให้ผู้ตัดสินใจแสดงความเห็นของตนได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำ ยิ่งไปกว่านั้น ระดับความเสี่ยงที่คำนวณได้จากวิธีการที่เสนอยังสามารถนำไปใช้กับวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมในโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบได้เป็นอย่างดี และสามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดของผู้ตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

# Application of Fuzzy Logic System Based Risk Assessment to Select an Optimal Multimodal Transportation Route

**Nitidetch Koohathongsumrit***

Ramkhamhaeng University, Hua Mak, Bang Kapi, Bangkok 10240

* *Corresponding Author: nitidetch.k@rumail.ru.ac.th*
*Lecturer, Department of Statistics, Faculty of Science.*

Article Info

**Article History:**
Received: April 24, 2019
Revised: October 1, 2019
Accepted: October 17, 2019

**Keywords:**
Fuzzy Logic System / Risk Assessment / Multiple Criteria Decision-Making / Multimodal Transportation

Abstract

The objective of this study was to introduce an application of fuzzy logic system to risk assessment for selecting an optimal multimodal transportation route. The study began with characteristic descriptions of inputs and outputs by membership functions and linguistic variables. After that, fuzzy inference system with fuzzy if-then rules was determined to identify the membership degrees of risks. Next, risk levels as a crisp value of decision criteria were calculated from the membership degrees of the risk levels by the Center of Gravity. The risk levels of the decision criteria were considered with quantitative decision criteria by Zero-One Goal Programming, which specifies the importance weights of decision criteria by Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Finally, the proposed approach was tested on a realistic decision-making problem as a multimodal route selection between Bangkok and Danang in Vietnam. The results demonstrated that the proposed approach could reasonably address the imprecise and vague calculation of risk levels. Moreover, it could help decision makers to express their opinions in a comprehensive and precise manner. The risk levels, which are calculated by the proposed approach, can be used with multiple criteria decision-making method for optimal freight route selection in a multimodal transportation network and can effectively respond to decision maker's requirements and limits.

## 1. บทนำ

การบริหารจัดการกระบวนการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภคตลอดห่วงโซ่อุปทานเป็นเป้าหมายสำคัญที่ผู้ประกอบการใช้สร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมเป็นกลยุทธ์หนึ่งซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพของการดำเนินงานในห่วงโซ่อุปทาน [1] อย่างไรก็ตาม การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมนอกเหนือจากต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาในการขนส่งแล้ว ผู้ตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลาย [2] เช่น ความเสียหายต่อสินค้า ปัญหาทางการเมือง กฎระเบียบทางการจราจร ภัยธรรมชาติ พิธีการด้านศุลกากร ฯลฯ โดยความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมเหล่านี้มักมีสาเหตุจากความเสี่ยง (Risk) ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ด้วยเหตุนี้หากผู้ตัดสินใจมีวิธีสำหรับการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพให้กับการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการความเสี่ยงด้วยวิธีการต่างๆ สำหรับเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ งานวิจัยของ Sajjafuengkijkarn และ Wasusri [3] ที่ศึกษาสาเหตุและสถานการณ์ความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานของธุรกิจการผลิตอาหารกระป๋อง โดยระบุความเสี่ยงจากปัจจัยภายในและภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจด้วยการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงและผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง จากนั้นวิเคราะห์สถานการณ์ความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) งานวิจัยของ Tsai และ Su [4] ที่เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณด้วยตัวแบบเชิงเส้นปฏิสัมพันธ์ทั่วไปเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ดีสุด งานวิจัยของ Sattayaprasert และคณะ [5] ที่กำหนดเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) เพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งน้ำมันเบนซินภายในประเทศไทย งานวิจัยของ Sonwattana และ Wasusri [6] ที่วิเคราะห์ความเสี่ยงซึ่งส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานในห่วงโซ่อุปทานของการผลิตน้ำประปา โดยจัดอันดับความเสี่ยงด้วยการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงและผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง พร้อมทั้งเสนอแนวทางการบรรเทาความเสี่ยงด้วยแบบจำลองสถานการณ์ งานวิจัยของ Kengpol และคณะ [7] ที่ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบของกลุ่มประเทศลุ่มน้ำโขง โดยพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาในการขนส่งร่วมกับระดับความเสี่ยงของเส้นทางที่คำนวณได้จากความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงกับผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง งานวิจัยของ Kengpol และคณะ [8] ที่พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมโดยประยุกต์การโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่ง (Zero-One Goal Programming : ZOGP) พิจารณาเงื่อนไขด้านต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลา ความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยของ Kengpol และคณะ [9] และงานวิจัยของ Kengpol และ Tuammee [10] ที่พัฒนากรอบแนวคิดสำหรับการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม โดยพิจารณาจากต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาในการขนส่งสินค้ากับการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณด้วยการบูรณาการวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ได้แก่ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ และการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล งานวิจัยของ Koohathongsumrit [11] ที่เสนอวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสมด้วยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งกับเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน งานวิจัยของ Kaewfak และ Ammarapala [12] ที่ศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งเครื่องดื่มด้วยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากประเทศไทยไปยังราชอาณาจักรกัมพูชา โดยประเมินความเสี่ยงจากตัวสินค้า ความเสี่ยงจากโครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์อำนวยความสะดวก ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติงาน และความเสี่ยงด้านอื่นๆ งานวิจัยของ Zhang และคณะ [13] ที่ศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุอันตรายประเภทของเหลวโดยการขนส่งด้วยรถไฟ พร้อมทั้งใช้การประเมินความเสี่ยงร่วมกับวิธีการเมตาฮิวริสติก งานวิจัยของ Yuan และคณะ [14] ที่เสนอสมการเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งสร้างขึ้นจากน้ำหนักความสำคัญด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิง

วิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความปลอดภัยมากที่สุดในเขตชนบทของสาธารณรัฐประชาชนจีน

จากการศึกษางานวิจัยในข้างต้นพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากเสนอวิธีการจัดการความเสี่ยงด้วยการคำนวณระดับความเสี่ยงเพื่อนำมาพิจารณาเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบหรือเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม แต่การคำนวณระดับความเสี่ยงจากงานวิจัยในข้างต้นมีข้อสมมติพื้นฐานตามแนวคิดของตรรกศาสตร์ทวินัย (Crisp Logic) ด้วยการกำหนดให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจนั้นมีความแน่นอนและชัดเจน อย่างไรก็ตาม การจัดการความเสี่ยงด้วยวิธีการต่างๆ ภายใต้ข้อสมมติพื้นฐานตามแนวคิดของตรรกศาสตร์ทวินัยอาจไม่สอดคล้องกับสถานการณ์แห่งความเป็นจริงที่ข้อมูลประกอบการตัดสินใจมีความซับซ้อนและไม่เที่ยงตรง [15] โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงกับผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยงซึ่งต้องอาศัยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้เฉพาะทางทำให้การประเมินความเสี่ยงมีความซับซ้อนและความไม่แน่นอนจากการใช้ความรู้สึก อารมณ์ สามัญสำนึก ทัศนคติ หรือการขาดข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ฯลฯ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวการศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องการนำแนวคิดของตรรกศาสตร์คลุมเครือ หรือที่เรียกว่า ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ประยุกต์ใช้กับการคำนวณระดับความเสี่ยงจากความน่าจะเป็นและผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง เนื่องจากตรรกศาสตร์คลุมเครือมีลักษณะพิเศษที่ยอมให้เกิดความยืดหยุ่นในการตัดสินใจสูง ไม่มีข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลนำเข้าและส่งออก มีการให้เหตุผลเป็นระบบ และมีกระบวนการแก้ปัญหาลักษณะเดียวกับกระบวนการคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ด้วยการกำหนดระดับความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ของข้อมูลนำเข้าและส่งออกซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของข้อมูลนั้น แตกต่างจากแนวคิดของตรรกศาสตร์ทวินัยที่กำหนดค่าความเป็นสมาชิกข้อมูลนำเข้าและส่งออกแค่ 0 กับ 1 เท่านั้น [16] นอกจากนี้ จากการทบทวนงานวิจัยในข้างต้นยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำแนวคิดของตรรกศาสตร์คลุมเครือประยุกต์ใช้กับการคำนวณระดับความเสี่ยงจากความน่าจะเป็นและผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง จากเหตุผลดังกล่าวการศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องการประยุกต์ตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการคำนวณระดับความเสี่ยงตามแนวทางงานวิจัยของ Zeng และคณะ [17] งานวิจัยของ Yucel และคณะ [18] และงานวิจัยของ John และคณะ [19] ที่ประยุกต์ใช้การอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference System) คำนวณระดับความเสี่ยงซึ่งถูกนำไปพิจารณาเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบร่วมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาในการขนส่งของเส้นทาง ทั้งนี้เนื่องจากการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมีลักษณะเป็นการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่ประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกเป็นจำนวนมาก การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบจากปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์วิธีหนึ่ง [20] เหมาะสมกับการตัดสินใจที่ต้องการตอบสนองต่อหลายวัตถุประสงค์ หรือเกณฑ์การตัดสินใจที่มีจำนวนมาก พร้อมทั้งกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytic Hierarchy Process : FAHP) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำสุด ความตรงต่อเวลา และระดับความเสี่ยงที่ต่ำสุด

จากปัญหาของการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและการประเมินความเสี่ยงที่กล่าวมาในข้างต้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงต้องการเสนอวิธีการคำนวณระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพที่มีผลต่อการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยการประยุกต์ตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยนำระดับความเสี่ยงที่คำนวณได้พิจารณาร่วมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมด้วยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งภายใต้เงื่อนไขที่ผู้ตัดสินใจกำหนดในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ พร้อมทั้งกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี นอกจากนี้ได้ประยุกต์วิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เสนอกับบริษัทกรณีศึกษาที่ทำการขนส่งสินค้าจากกรุงเทพมหานคร (Bangkok) ไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครดานัง (Da Nang) เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ประกอบการและผู้ให้บริการโลจิสติกส์ สามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบได้อย่างถูกต้อง รวมถึงเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานภาครัฐ สำหรับเตรียมความพร้อมในการ

พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานคมนาคมให้กิจกรรมโลจิสติกส์เกิดความคล่องตัวเพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจต่อไป

## 2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องการเสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบตามแนวคิดของตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อนำระดับความเสี่ยงที่คำนวณได้ไปตัดสินใจร่วมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณด้วยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่ง พร้อมทั้งประยุกต์วิธีการที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างกรุงเทพมหานครกับนครดานัง มีขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัยดังนี้

2.1 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยเกณฑ์การตัดสินใจประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพ มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 เกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ เป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่สามารถบอกปริมาณมาก หรือน้อยกว่ากันเท่าไหร่ได้ ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทาง ($dc_1$) และระยะเวลาในการขนส่งสินค้าของเส้นทาง ($dc_2$) ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางสามารถคำนวณได้จากรูปแบบการหาต้นทุนการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation Cost-Model) ซึ่งเป็นวิธีสำหรับคำนวณต้นทุนค่าขนส่งที่ใช้การขนส่งตั้งแต่สองรูปแบบขึ้นไป [21] ทั้งนี้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าประกอบด้วยต้นทุนค่าขนส่งคงที่ ต้นทุนค่าขนส่งผันแปร และต้นทุนค่าขนส่งเที่ยวกลับ รายละเอียดของต้นทุนแต่ละประเภทแสดงใน [22] โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะต้นทุนค่าขนส่งด้วยตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุต กรณีขนส่งสินค้าแบบเต็มตู้ ส่วนระยะเวลาในการขนส่งสินค้าสามารถประมาณได้ตั้งแต่สินค้าถูกขนส่งจากจุดต้นทางจนถึงจุดปลายทาง ซึ่งเป็นระยะเวลาการขนส่งสินค้าภายใต้สถานการณ์ปกติที่ไม่เกิดอุบัติเหตุ หรือเหตุการณ์ไม่คาดคิด

2.1.2 เกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพ การศึกษาวิจัยครั้งนี้กำหนดให้เกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพ ได้แก่ ความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ มีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 ความเสี่ยงต่อตัวสินค้า ($dc_3$) หมายถึง ความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวสินค้าระหว่างการขนส่งหรือการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง

2.1.2.2 ความเสี่ยงต่อโครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกสำหรับการขนส่งสินค้า ($dc_4$) หมายถึง คุณลักษณะของโครงสร้างพื้นฐาน หรืออุปกรณ์สำหรับอำนวยความสะดวกในเส้นทางการขนส่งที่อาจก่อให้เกิดความเสียหาย เช่น ความลาดชันของถนน ความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของสะพาน ความลึกร่องน้ำและความยาวหน้าท่าของท่าเทียบเรือ ความพร้อมของอุปกรณ์ในการขนถ่ายสินค้า พนักงานขาดทักษะในการใช้อุปกรณ์อำนวยความสะดวกขนถ่ายสินค้า สภาพของรางรถไฟ ฤดูกาล ภัยธรรมชาติ เป็นต้น

2.1.2.3 ความเสี่ยงด้านกฎหมายและข้อบังคับ ($dc_5$) หมายถึง นโยบายทางการเมือง กฎระเบียบ เอกสารผ่านแดน การจราจร พิธีการทางศุลกากร หรือระเบียบข้อบังคับที่เป็นอุปสรรคต่อความสำเร็จของการขนส่งสินค้า

2.1.2.4 ความเสี่ยงด้านมหาภาค ($dc_6$) หมายถึง เหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดความเสียหายเนื่องจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา วิกฤตการเงิน สภาพเศรษฐกิจ สภาวะตลาด วัฒนธรรม เป็นต้น

2.2 รวบรวมข้อมูลเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้กับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากกรุงเทพมหานครไปยังนครดานังในสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ประกอบไปด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวน 11 เส้นทาง [9] แต่เนื่องจากข้อจำกัดของท่าอากาศยานนานาชาติเตินเซินเญิ้ตในนครโฮจิมินห์ การศึกษาครั้งนี้จะไม่ศึกษาเส้นทางที่ต้องขนส่งสินค้าผ่านท่าอากาศยานดังกล่าว ดังนั้นจึงเหลือเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เป็นทางเลือกจำนวน 6 เส้นทาง มีรายละเอียดดังนี้

- เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_1$ มีระยะทาง 2,147 กิโลเมตร เป็นเส้นทางที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งด้วยเรือเดินทะเลและการขนส่งด้วยรถบรรทุกในพื้นที่สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม โดยเริ่มจากการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากกรุงเทพมหานครไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จากนั้นใช้การขนส่งด้วยเรือเดินทะเลไปยังท่าเรือไซ่ง่อน และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าดานัง

- เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_2$ มีระยะทาง 2,115 กิโลเมตร เป็นเส้นทางที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งด้วยเรือเดินทะเลและการขนส่งด้วยรถไฟในพื้นที่สาธารณรัฐ

สังคมนิยมเวียดนาม โดยมีรูปแบบการขนส่งเช่นเดียวกับเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_1$ แต่เปลี่ยนเป็นการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากท่าเรือไซ่ง่อนไปยังสถานีรถไฟไซ่ง่อน จากนั้นใช้การขนส่งด้วยรถไฟไปยังสถานีรถไฟดานัง และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าดานัง

- เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_3$ มีระยะทาง 1,238 กิโลเมตร เป็นเส้นทางที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งด้วยเครื่องบิน โดยเริ่มจากการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากกรุงเทพมหานครไปยังท่าอากาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิ จากนั้นใช้การขนส่งด้วยเครื่องบินไปยังท่าอากาศยานนานาชาติดานัง และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าดานัง

- เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_4$ มีระยะทาง 1,613 กิโลเมตร เป็นเส้นทางที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งด้วยเรือเดินทะเลมากกว่าเส้นทางอื่นๆ มีรูปแบบการขนส่งเช่นเดียวกับเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_1$ แต่เปลี่ยนเป็นการขนส่งด้วยเรือเดินทะเลจากท่าเรือแหลมฉบังไปยังท่าเรือดานัง และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าดานัง

- เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_5$ มีระยะทาง 2,102 กิโลเมตร เป็นเส้นทางที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งด้วยรถบรรทุกในพื้นที่ระหว่างประเทศไทยกับราชอาณาจักรกัมพูชาและการขนส่งด้วยเรือเดินทะเล โดยเริ่มจากการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากกรุงเทพมหานครผ่านสถานีขนส่งสินค้าจังหวัดสวายเรียงและอรัญประเทศ-ปอยเปตไปยังท่าเรือไซ่ง่อน จากนั้นใช้การขนส่งด้วยเรือเดินทะเลไปยังท่าเรือดานัง และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าดานัง

- เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_6$ มีระยะทาง 2,035 กิโลเมตร เป็นเส้นทางที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งด้วยรถบรรทุกในพื้นที่ประเทศไทยกับราชอาณาจักรกัมพูชาและการขนส่งด้วยรถไฟในพื้นที่สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม มีรูปแบบการขนส่งเช่นเดียวกับเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_5$ แต่เปลี่ยนเป็นการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากสถานีขนส่งสินค้าจังหวัดสวายเรียงไปยังสถานีรถไฟไซ่ง่อน จากนั้นใช้การขนส่งด้วยรถไฟไปยังสถานีรถไฟดานัง และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าดานัง

ต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง และรูปแบบการขนส่งของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างประเทศไทยกับเวียดนามสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 เมื่อกำหนดให้ — แทนการขนส่งด้วยรถบรรทุก ## แทนการขนส่งด้วยเรือเดินทะเล ++ แทนการขนส่งด้วยรถไฟ และ ** แทนการขนส่งด้วยเครื่องบิน

**ตารางที่ 1** เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างกรุงเทพมหานครกับนครดานัง

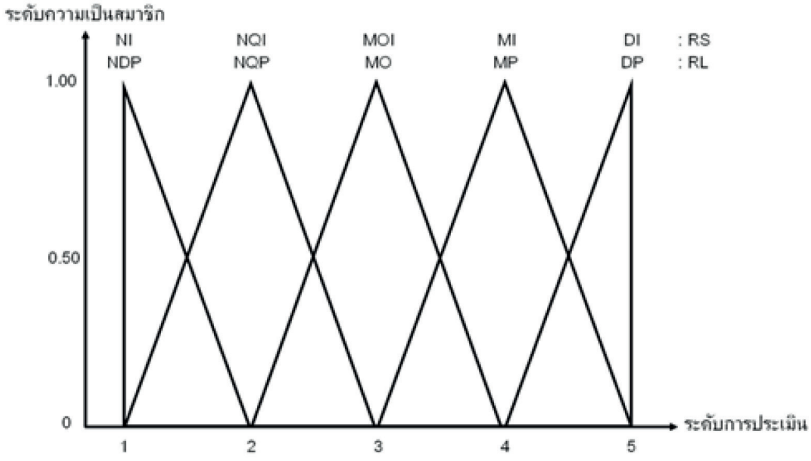
| เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ | ต้นทุนค่าขนส่ง (ดอลลาร์สหรัฐ) | ระยะเวลาการขนส่ง (วัน) | ระยะทาง (กิโลเมตร) |
|---|---|---|---|
| 1. กรุงเทพมหานคร — ท่าเรือแหลมฉบัง ## ท่าเรือไซ่ง่อน — ศูนย์กระจายสินค้าดานัง ($A_1$) | 2,967.5 | 8 | 2,147 |
| 2. กรุงเทพมหานคร — ท่าเรือแหลมฉบัง ## ท่าเรือไซ่ง่อน — สถานีรถไฟไซ่ง่อน ++ สถานีรถไฟดานัง — ศูนย์กระจายสินค้าดานัง ($A_2$) | 1,631.5 | 10 | 2,115 |
| 3. กรุงเทพมหานคร — ท่าอากาศยานนานาชาติสุวรรณภูมิ ** ท่าอากาศยานนานาชาติดานัง — ศูนย์กระจายสินค้าดานัง ($A_3$) | 4,580 | 2 | 1,238 |
| 4. กรุงเทพมหานคร — ท่าเรือแหลมฉบัง ## ท่าเรือดานัง — ศูนย์กระจายสินค้าดานัง ($A_4$) | 1,080 | 8 | 1,613 |
| 5. กรุงเทพมหานคร — อรัญประเทศ-ปอยเปต — สถานีขนส่งสินค้าจังหวัดสวายเรียง — ท่าเรือไซ่ง่อน ## ท่าเรือดานัง — ศูนย์กระจายสินค้าดานัง ($A_5$) | 4298 | 7 | 2,102 |
| 6. กรุงเทพมหานคร — อรัญประเทศ-ปอยเปต — สถานีขนส่งสินค้าจังหวัดสวายเรียง — สถานีรถไฟไซ่ง่อน ++ สถานีรถไฟดานัง — ศูนย์กระจายสินค้าดานัง ($A_6$) | 4,254 | 7 | 2,035 |

2.3 คำนวณระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพ ในขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณหาระดับความเสี่ยงด้วยการประยุกต์ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตามแนวทางงานวิจัยของ Zeng และคณะ [17] งานวิจัยของ Yucel และคณะ [18] งานวิจัยของ

John และคณะ [19] และงานวิจัยของ Kantanantha [23] แสดงรายละเอียดดังนี้

2.3.1 กำหนดค่าความคลุมเครือข้อมูลนำเข้าและส่งออก (Fuzzification) เป็นการกำหนดข้อมูลนำเข้าของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการประเมินความเสี่ยง ได้แก่ ระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยง (Risk Likelihood Scale : RL) ระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง (Risk Severity Scale : RS) และข้อมูลส่งออก ได้แก่ ระดับความเสี่ยง (Risk Magnitude : RM) รวมถึงกำหนดวิธีการดำเนินการทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลนำเข้าก่อนนำไปวิเคราะห์โดยการอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ แสดงรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ RL และ RS ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ส่วน RM มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2 และตารางที่ 4 [19]



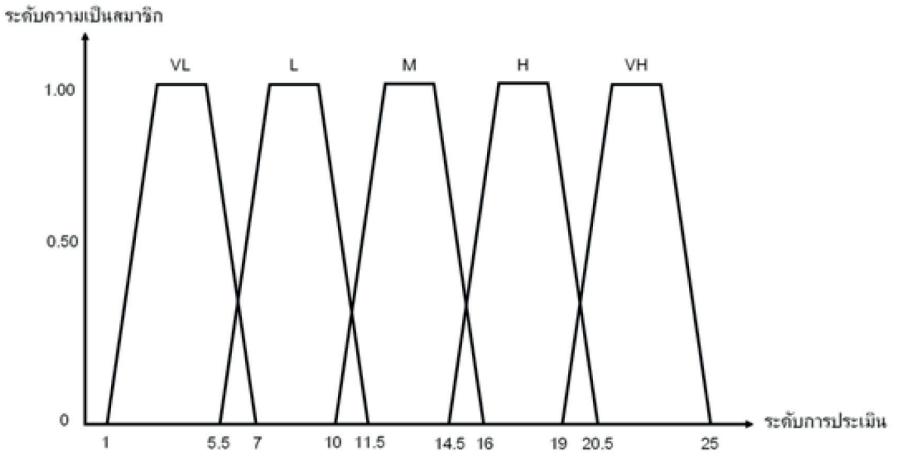

**รูปที่ 1** ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ RL และ RS

**ตารางที่ 2** ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ RL

| ตัวแปรภาษา | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินความน่าจะเป็น |
|---|---|
| มีโอกาสเกิดความเสี่ยงน้อยที่สุด (Not Definitely Possible : NDP) | 1, 1, 2 |
| มีโอกาสเกิดความเสี่ยงน้อย (Not Quite Possible : NQP) | 1, 2 ,3 |
| มีโอกาสเกิดความเสี่ยงปานกลาง (Moderate : MO) | 2, 3, 4 |
| มีโอกาสเกิดความเสี่ยงสูง (Might be Possible : MP) | 3, 4, 5 |
| มีโอกาสเกิดความเสี่ยงสูงมาก (Definitely Possible : DP) | 4, 5, 5 |

**ตารางที่ 3** ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ RS

| ตัวแปรภาษา | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินผลกระทบ |
|---|---|
| มีผลกระทบน้อยมาก หรือไม่มีผลกระทบ (No Impact at All : NI) | 1, 1, 2 |
| มีผลกระทบน้อย (Not Quite Impact : NQI) | 1, 2 ,3 |
| มีผลกระทบปานกลาง (Moderate Impact : MOI) | 2, 3, 4 |
| มีผลกระทบรุนแรง (Might be Impact : MI) | 3, 4, 5 |
| มีผลกระทบรุนแรงมาก (Definitely Impact : DI) | 4, 5, 5 |




**รูปที่ 2** ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ RM

**ตารางที่ 4** ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ RM

| ตัวแปรภาษา | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับความเสี่ยง |
|---|---|
| ความเสี่ยงต่ำมาก (Very Low : VL) | 1, 3, 5, 7 |
| ความเสี่ยงต่ำ (Low : L) | 5.5, 7.5, 9.5, 11.5 |
| ความเสี่ยงปานกลาง (Medium : M) | 10, 12, 14, 16 |
| ความเสี่ยงสูง (High : H) | 14.5, 16.5, 18.5, 20.5 |
| ความเสี่ยงสูงมาก (Very High : VH) | 19, 21, 22, 25 |

2.3.1.2 คำนวณค่าเฉลี่ยระดับการประเมิน ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับโลจิสติกส์ด้านการบริหารการขนส่งสินค้าอย่างน้อย 10 ปี ทำการประเมินความน่าจะเป็นและผลกระทบจากความเสี่ยงด้วย RL และ RS ที่กำหนดในขั้นตอนที่ผ่านมา จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงและค่าเฉลี่ยระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 [24]

$$\tilde{RL}^{dc_k} = \frac{\sum_{e=1}^{E} RL_e^{dc_k}}{E} = \frac{RL_1^{dc_k} \oplus RL_2^{dc_k} \oplus \ldots \oplus RL_E^{dc_k}}{E} \quad (1)$$

$$\tilde{RS}^{dc_k} = \frac{\sum_{e=1}^{E} RS_e^{dc_k}}{E} = \frac{RS_1^{dc_k} \oplus RS_2^{dc_k} \oplus \ldots \oplus RS_E^{dc_k}}{E} \quad (2)$$

เมื่อ $\tilde{RL}^{dc_k}$ คือ ค่าเฉลี่ยระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ k

$RL_e^{dc_k}$ คือ ระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ k โดยผู้เชี่ยวชาญที่ e

$\tilde{RS}^{dc_k}$ คือ ค่าเฉลี่ยระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ k

$RS_e^{dc_k}$ คือ ระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ k โดยผู้เชี่ยวชาญที่ e

$dc_k$ คือ เกณฑ์การตัดสินใจที่ k เมื่อ k = 1, 2, ..., K

e คือ ผู้เชี่ยวชาญที่ e เมื่อ e = 1, 2, ..., E

2.3.1.3 คำนวณระดับความเป็นสมาชิกของ $R\tilde{L}^{dc_k}$ และ $R\tilde{S}^{dc_k}$ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินความน่าจะเป็นและผลกระทบจากความเสี่ยงในแต่ละระดับที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 2.3.1.1 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ $R\tilde{L}^{dc_k}$ และ $R\tilde{S}^{dc_k}$ เพื่อคำนวณหา $\mu_A(x)$ และ $\mu_B(x)$ ซึ่งเป็นตัวแทนจากค่าเฉลี่ยระดับการประเมิน โดยพิจารณาจากจุดตัดของระดับการประเมินที่มีระดับความเป็นสมาชิกสูงสุดในแต่ละระดับ [17-19] แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4

$$\left\{\max(\mu_A(x))\right\} \quad (3)$$

$$\left\{\max(\mu_B(x))\right\} \quad (4)$$

เมื่อ $\mu_A(x)$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงที่ A

$\mu_B(x)$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยงที่ B

A คือ ระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยง เมื่อ A = NDP, NQP, MO, MP, DP

B คือ ระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง เมื่อ B = NI, NQI, MOI, MI, DI

2.3.2 การอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Inference System) เป็นการกำหนดกฎของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการประเมินความเสี่ยงด้วยการเปรียบเทียบ $\mu_A(x)$ และ $\mu_B(x)$ เป็นรายคู่เพื่อกำหนด RM จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ [25] โดยใช้กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (Fuzzy IF-Then Rules) พิจารณาว่าถ้าระดับความเป็นสมาชิกของ $R\tilde{L}^{dc_k}$ เท่ากับ $\mu_A(x)$ และระดับความเป็นสมาชิกของ $R\tilde{S}^{dc_k}$ เท่ากับ $\mu_B(x)$ แล้วระดับความเป็นสมาชิกของ $RM^{dc_k}$ ในกรณีเลวร้ายสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ควรจะเท่ากับ แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 5

$$\text{ถ้า} \quad R\tilde{L}^{dc_k} = \mu_A(x) \text{ และ } R\tilde{S}^{dc_k} = \mu_B(x) \text{ แล้ว } RM^{dc_k} = \mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (5)$$

เมื่อ $\mu_C(x)$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกของระดับความเสี่ยงที่ C

C คือ ระดับความเสี่ยง เมื่อ C = VL, L, M, H, VH

2.3.3 การทำให้ค่าความคลุมเครือเป็นค่าปกติ (Defuzzification) เป็นการคำนวณระดับความเสี่ยงด้วยการแปลง $\mu_C(x)$ ที่ได้จากการอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือให้เป็นระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่มีค่าเดียว (Crisp) เพื่อให้สามารถนำไปตัดสินใจร่วมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณได้ โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity : COG) ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก [26] แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 6

$$R\tilde{M}^{dc_k} = \frac{\sum_{C=VL}^{VH} Y_C \, \mu_C(x)}{\sum_{C=VL}^{VH} \mu_C(x)} \quad (6)$$

เมื่อ $R\tilde{M}^{dc_k}$ คือ ระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ k

$Y_C$ คือ จุดกึ่งกลางของระดับความเสี่ยงที่ C

2.4 กำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ เนื่องจากการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบแต่ละครั้งผู้ตัดสินใจอาจให้ความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (FAHP) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกประยุกต์อย่างกว้างขวางในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ [27] โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซีเป็นวิธีที่พัฒนาจากกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อลดข้อจำกัดจากการแสดงความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจที่อาศัยความรู้สึกและประสบการณ์ในการเปรียบเทียบความสำคัญ [28] ซึ่งส่งผลให้กระบวนการตัดสินใจเกิดความคลุมเครือและไม่แน่นอน [29] โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์การวิเคราะห์ขอบเขตตามแนวทางงานวิจัยของ Chang [30] เริ่มจากเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ในรูปของตารางขนาด $K \times K$ [31] ด้วยระดับการประเมินความสำคัญแบบคลุมเครือที่เสนอโดย Hsu และคณะ [32] จากนั้นคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยการปรับบรรทัดฐานจากค่าต่ำสุดของระดับความเป็นไปได้สำหรับฟัซซีคอนเว็กซ์เกณฑ์การตัดสินใจ k เมื่อเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจอื่นๆ ขั้นตอนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญจะเริ่มจากการคำนวณค่าสังเคราะห์ทางฟัซซี (Fuzzy Synthetic Value) และค่าระดับความเป็นไปได้ (Degree of Possibility) ต่อมาคำนวณค่าเวกเตอร์ของน้ำหนักความสำคัญ (Importance Weight Vector) จากค่าระดับความเป็นไปได้ที่มีค่าต่ำสุด สุดท้ายคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ (Importance Weight) ด้วยการปรับบรรทัดฐานค่าเวกเตอร์ของน้ำหนักความสำคัญ [33-36] พร้อมทั้งตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio : C.R.) ซึ่งต้องมีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดโดย Saaty [37]

2.5 สร้างตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่ง ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะถูกคำนวณด้วยตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งภายใต้เงื่อนไขต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำสุด ความตรงต่อเวลาของการขนส่ง และระดับความเสี่ยงที่ต่ำสุดในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ เมื่อกำหนดให้ศูนย์แทนการไม่เลือกเส้นทางและหนึ่งแทนการเลือกเส้นทาง [38] ตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งสำหรับการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ แสดงรายละเอียดดังนี้

<u>วัตถุประสงค์</u>

Minimize $$Z = W_{dc_1}(d^+_{dc_1}) + W_{dc_2}(d^+_{dc_2}) + \ldots + W_{dc_k}(d^+_{dc_k}) \quad (7)$$

<u>เงื่อนไข</u>

เงื่อนไขด้านต้นทุนค่าขนส่ง $$dc_{11}X_1 + dc_{12}X_2 + \ldots + dc_{1N}X_N - d^+_{dc_1} = DC_1 \quad (8)$$

เงื่อนไขด้านระยะเวลาในการขนส่ง $$dc_{21}X_1 + dc_{22}X_2 + \ldots + dc_{2N}X_N - d^+_{dc_2} = DC_2 \quad (9)$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$

เงื่อนไขด้านความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k $$dc_{k1}X_1 + dc_{k2}X_2 + \ldots + dc_{kN}X_N - d^+_{dc_k} = DC_k \quad (10)$$

$$X_1 + X_2 + \ldots + X_N = 1$$

$$W_i,\ d^+_{dck},\ X_n = 1 \text{ หรือ } 0$$

เมื่อ $Z$ คือ ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทาง

$d^{+}_{dc_1}$ คือ ค่าเบี่ยงเบนด้านสูงกว่าเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุนค่าขนส่ง

$d^{+}_{dc_2}$ คือ ค่าเบี่ยงเบนด้านสูงกว่าเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจด้านระยะเวลาในการขนส่ง

$d^{+}_{dc_k}$ คือ ค่าเบี่ยงเบนด้านสูงกว่าเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจด้านความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k

$W_{dc_1}$ คือ น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุนค่าขนส่ง

$W_{dc_2}$ คือ น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจด้านระยะเวลาในการขนส่ง

$W_{dc_k}$ คือ น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจด้านความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k

$dc_{1n}$ คือ สัมประสิทธิ์ของเกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางที่ n

$dc_{2n}$ คือ สัมประสิทธิ์ของเกณฑ์การตัดสินใจด้านระยะเวลาในการขนส่งของเส้นทางที่ n

$dc_{kn}$ คือ สัมประสิทธิ์ของเกณฑ์การตัดสินใจด้านความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ของเส้นทางที่ n

$DC_1$ คือ ร้อยละของผลต่างงบประมาณค่าขนส่งและต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางที่ต่ำสุด

$DC_2$ คือ ร้อยละของเวลาการขนส่งแต่ละเส้นทางกับเวลาที่กำหนด ($DC_2$ = 100%)

$DC_k$ คือ ร้อยละของผลต่างระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k และระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ของเส้นทางที่ต่ำสุด

$n$ คือ เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ n เมื่อ n = 1, 2, ..., N

$k$ คือ เกณฑ์การตัดสินใจที่ k เมื่อ k = 1, 2, ..., K

เนื่องจากหน่วยของต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาในการขนส่ง และระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นผู้ตัดสินใจต้องทำการปรับบรรทัดฐานให้กับหน่วยของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดดังสมการที่ 11 ถึงสมการที่ 15

$$dc_{1n} = [(\text{งบประมาณค่าขนส่ง} - \text{ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางที่ n}) / \text{งบประมาณค่าขนส่ง}] \times 100\% \quad \textbf{(11)}$$

$$dc_{2n} = (\text{ระยะเวลาในการขนส่งของเส้นทางที่ n} / \text{ระยะเวลาในการขนส่งสินค้าที่กำหนด}) \times 100\% \quad \textbf{(12)}$$

$$DC_1 = [(\text{งบประมาณค่าขนส่ง} - \text{ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางที่ต่ำสุด})/\text{งบประมาณค่าขนส่ง}] \times 100\% \quad \textbf{(13)}$$

$$dc_{kn} = [(\text{ระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ที่กำหนด} - \text{ระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ของเส้นทางที่ n}) / \text{ระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ที่กำหนด}] \times 100\% \quad \textbf{(14)}$$

$$DC_k = [(\text{ระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ที่กำหนด} - \text{ระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ของเส้นทางที่ต่ำสุด}) / \text{ระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่ k ที่กำหนด}] \times 100\% \quad \textbf{(15)}$$

2.6 การเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดในเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีค่าต่ำสุด [39] ทั้งนี้เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบใดที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งต่อไปนี้จะไม่ถูกนำมาพิจารณาและตัดทิ้งออกจากการตัดสินใจ ได้แก่ เส้นทางที่มีต้นทุนค่าขนส่งเกินกว่างบประมาณค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่งของเส้นทางสูงกว่าระยะเวลาการขนส่งที่กำหนด และระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจใดที่มีค่ามากกว่าระดับความเสี่ยงที่ผู้ตัดสินใจกำหนด

## 3. ผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เสนอวิธีการคำนวณระดับความเสี่ยงด้วยระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ พร้อมทั้งทดสอบวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากกรุงเทพมหานครไปยังนครดานัง โดยมีผลการทดลองตามวิธีดำเนินงานวิจัยที่กำหนดไว้ดังนี้

3.1 ผลการคำนวณค่า $R\tilde{L}^{dc_k}$ และ $R\tilde{S}^{dc_k}$ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ราย ($e_1$, $e_2$, $e_3$) ทำการประเมินความน่าจะเป็นและผลกระทบด้วยระดับ RL และ RS ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ผ่านมา จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยของระดับการประเมินฯ ทั้งหมด แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

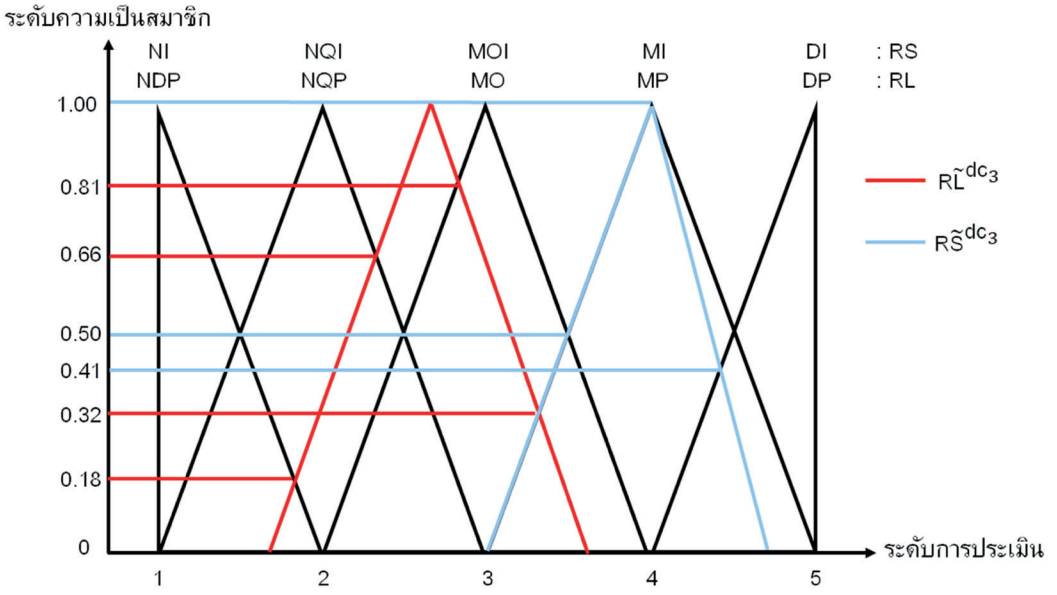
**ตารางที่ 5** ค่าเฉลี่ยระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| $A_n$ | $dc_3$ | | | $R\tilde{L}^{dc_3}$ | $dc_4$ | | | $R\tilde{L}^{dc_4}$ | $dc_5$ | | | $R\tilde{L}^{dc_5}$ | $dc_6$ | | | $R\tilde{L}^{dc_6}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | |
| $A_1$ | NQP | MO | MO | (1.67, 2.67, 3.67) | NDP | MO | NDP | (1.33, 1.67, 2.67) | MO | MO | NQP | (1.67, 2.67, 3.67) | MP | MP | NDP | (2.33, 3.00, 4.00) |
| $A_2$ | MO | NQP | NQP | (1.33, 2.33, 3.33) | MP | MP | DP | (3.33, 4.33, 5.00) | MO | NQP | NQP | (1.33, 2.33, 3.33) | MO | NQP | MO | (1.67, 2.67, 3.67) |
| $A_3$ | DP | MP | MO | (3.00, 4.00, 4.67) | MP | NDP | MO | (2.00, 2.67, 3.67) | NQP | MO | MP | (2.00, 3.00, 4.00) | MO | MO | MO | (2.00, 3.00, 4.00) |
| $A_4$ | NDP | NDP | NQP | (1.00, 1.33, 2.33) | MO | MP | DP | (3.00, 4.00, 4.67) | MO | MP | MP | (2.67, 3.67, 4.67) | NQP | DP | MO | (2.33, 3.33, 4.00) |
| $A_5$ | MO | MO | NQP | (1.67, 2.67, 3.67) | NDP | MP | MP | (2.33, 3.00, 4.00) | NQP | NQP | MO | (1.33, 2.33, 3.33) | MP | MO | MP | (2.67, 3.67, 4.67) |
| $A_6$ | MP | DP | NDP | (2.67, 3.33, 4.00) | NQP | NDP | DP | (2.00, 2.67, 3.33) | MP | MP | MP | (3.00, 4.00, 5.00) | DP | DP | MO | (3.33, 4.33, 4.67) |

**ตารางที่ 6** ค่าเฉลี่ยระดับการประเมินผลกระทบจากการเกิดความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| $A_n$ | $dc_3$ | | | $R\tilde{S}^{dc_3}$ | $dc_4$ | | | $R\tilde{S}^{dc_4}$ | $dc_5$ | | | $R\tilde{S}^{dc_5}$ | $dc_6$ | | | $R\tilde{S}^{dc_6}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | |
| $A_1$ | MI | MOI | DI | (3.00, 4.00, 4.67) | NQI | NQI | MOI | (1.33, 2.33, 3.33) | NI | MI | MOI | (2.00, 2.67, 3.67) | NQI | MOI | NI | (1.33, 2.00, 3.00) |
| $A_2$ | MOI | MI | NI | (2.67, 3.67, 4.67) | NQI | NQI | NQI | (1.00, 2.00, 3.00) | DI | DI | MI | (3.67, 4.67, 5.00) | MOI | MOI | NQI | (1.67, 2.67, 3.67) |
| $A_3$ | MI | MOI | NI | (2.00, 2.67, 3.67) | MOI | NQI | NQI | (1.33, 2.33, 3.33) | MI | MI | NQI | (2.33, 3.33, 4.33) | NQI | NQI | NQI | (1.00, 2.00, 3.00) |
| $A_4$ | MI | NI | MOI | (2.00, 2.67, 3.67) | MI | NQI | NI | (1.67, 2.33, 3.33) | NQI | DI | NI | (2.00, 2.67, 3.33) | MOI | NI | NI | (1.33, 1.67, 2.67) |
| $A_5$ | MOI | MI | MOI | (2.33, 3.33, 4.33) | MOI | DI | MI | (3.00, 4.00, 4.67) | NQI | NI | MOI | (1.33, 2.00, 3.00) | NI | MOI | MOI | (1.33, 2.00, 3.00) |
| $A_6$ | NI | MI | MI | (2.33, 3.00, 4.00) | DI | DI | DI | (4.00, 5.00, 5.00) | DI | MI | MOI | (3.00, 4.00, 4.67) | MI | MI | NQI | (2.33, 3.33, 4.33) |

3.2 ผลการคำนวณระดับความเป็นสมาชิกของ $R\tilde{L}^{dc_k}$ และ $R\tilde{S}^{dc_k}$ โดยการเปรียบเทียบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินความน่าจะเป็นและผลกระทบจากความเสี่ยงในแต่ละระดับกับ $R\tilde{L}^{dc_k}$ และ $R\tilde{S}^{dc_k}$ เพื่อคำนวณระดับความเป็นสมาชิกของค่าเฉลี่ยระดับการประเมินฯ จากจุดตัดระหว่างระดับการประเมินที่กำหนดกับ $R\tilde{L}^{dc_k}$ และ $R\tilde{S}^{dc_k}$ ที่มีระดับความเป็นสมาชิกสูงสุด แสดงตัวอย่างการคำนวณ $\mu_A(x)$ และ $\mu_B(x)$ ของเกณฑ์การตัดสินใจ $dc_3$ ในเส้นทางการขนส่ง $A_1$ แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3 และระดับความเป็นสมาชิกค่าเฉลี่ยระดับการประเมิน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8 ตามลำดับ




**รูปที่ 3** การคำนวณ $\mu_A(x)$ และ $\mu_B(x)$ ของเกณฑ์การตัดสินใจ $dc_3$ ในเส้นทางการขนส่ง $A_1$

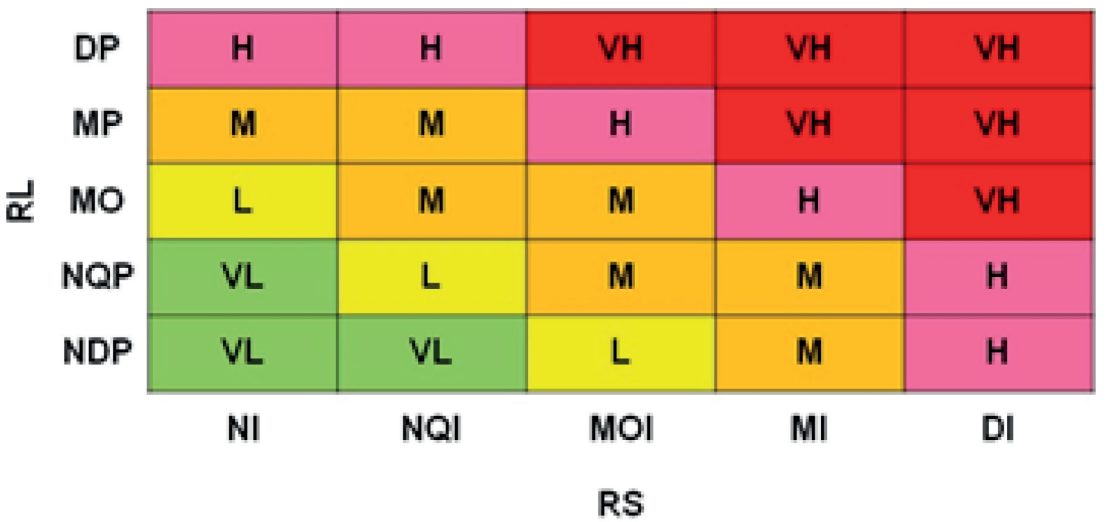
**ตารางที่ 7** ระดับความเป็นสมาชิกของ $R\tilde{L}^{dc_k}$ ของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| $A_n$ | $R\tilde{L}^{dc_k}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $R\tilde{L}^{dc_3}$ | $R\tilde{L}^{dc_4}$ | $R\tilde{L}^{dc_5}$ | $R\tilde{L}^{dc_6}$ |
| $A_1$ | {(NDP, 0.18), (NQP, 0.66), (MO, 0.81), (MP, 0.32)} | {(NDP, 0.54), (NQP, 0.81), (MO, 0.30)} | {(NDP, 0.18), (NQP, 0.66), (MO, 0.81), (MP, 0.32)} | {(NDP, 0.40), (NQP, 1.00), (MO, 0.50)} |
| $A_2$ | {(NDP, 0.32), (NQP, 0.80), (MO, 0.66), (MP, 0.17)} | {(MO, 0.36), (MP, 0.85), (DP, 0.60)} | {(NDP, 0.32), (NQP, 0.80), (MO, 0.66), (MP, 0.17)} | {(NDP, 0.18), (NQP, 0.66), (MO, 0.81), (MP, 0.32)} |
| $A_3$ | {(MO, 0.50), (MP, 1.00), (DP, 0.41)} | {(NQP, 0.58), (MO, 0.80), (MP, 0.31)} | {(NQP, 0.50), (MO, 1.00), (MP, 0.50)} | {(NQP, 0.58), (MO, 0.80), (MP, 0.31)} |
| $A_4$ | {(NDP, 0.70), (NQP, 0.67), (MO, 0.18)} | {(MO, 0.50), (MP, 1.00), (DP, 0.41)} | {(NQP, 0.20), (MO, 0.70), (MP, 0.81), (DP, 0.34)} | {(NQP, 0.32), (MO, 0.84), (MP, 0.61)} |
| $A_5$ | {(NDP, 0.18), (NQP, 0.66), (MO, 0.81), (MP, 0.32)} | {(NDP, 0.40), (NQP, 1.00), (MO, 0.50)} | {(NDP, 0.32), (NQP, 0.80), (MO, 0.66), (MP, 0.17)} | {(NQP, 0.20), (MO, 0.70), (MP, 0.81), (DP, 0.34)} |
| $A_6$ | {(NQP, 0.22), (MO, 0.81), (MP, 0.61)} | {(NQP, 0.60), (MO, 0.77), (MP, 0.18)} | {(MO, 0.50), (MP, 1.00), (DP, 0.50)} | {(MO, 0.35), (MP, 0.84), (DP, 0.53)} |

**ตารางที่ 8** ระดับความเป็นสมาชิกของ $R\tilde{S}^{dc_k}$ ของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| $A_n$ | $R\tilde{S}^{dc_k}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $R\tilde{S}^{dc_3}$ | $R\tilde{S}^{dc_4}$ | $R\tilde{S}^{dc_5}$ | $R\tilde{S}^{dc_6}$ |
| $A_1$ | {(MOI, 0.50), (MI, 1.00), (DI, 0.41)} | {(NI, 0.32), (NQI, 0.80), (MOI, 0.66), (MI, 0.17)} | {(NQI, 0.58), (MOI, 0.80), (MI, 0.31)} | {(NI, 0.40), (NQI, 1.00), (MOI, 0.50)} |
| $A_2$ | {(NQI, 0.20), (MOI, 0.70), (MI, 0.81), (DI, 0.34)} | {(NI, 0.50), (NQI, 1.00), (MOI, 0.50)} | {(MOI, 0.20), (MI, 0.67), (DI, 0.77)} | {(NI, 0.18), (NQI, 0.66), (MOI, 0.81), (MI, 0.32)} |
| $A_3$ | {(NQI, 0.58), (MOI, 0.80), (MI, 0.31)} | {(NI, 0.32), (NQI, 0.80), (MOI, 0.66), (MI, 0.17)} | {(NQI, 0.32), (MOI, 0.81), (MI, 0.67), (DI, 0.19)} | {(NI, 0.50), (NQI, 1.00), d(MOI, 0.50)} |
| $A_4$ | {(NQI, 0.58), (MOI, 0.80), (MI, 0.31)} | {(NI, 0.22), (NQI, 0.78), (MOI, 0.69), (MI, 0.18)} | {(NQI, 0.60), (MOI, 0.77), (MI, 0.18)} | {(NI, 0.54), (NQI, 0.81), (MOI, 0.30)} |
| $A_5$ | {(NQI, 0.32), (MOI, 0.81), (MI, 0.67), (DI, 0.19)} | {(MOI, 0.50), (MI, 1.00), (DI, 0.41)} | {(NI, 0.40), (NQI, 1.00), (MOI, 0.50)} | {(NI, 0.33), (NQI, 1.00), (MOI, 0.50)} |
| $A_6$ | {(NI, 0.40), (NQI, 1.00), (MOI, 0.50)} | {(MI, 0.50, (DI, 1.00)} | {(MOI, 0.50), (MI, 1.00), (DI, 0.41)} | {(NI, 0.32), (NQI, 0.81), (MOI, 0.67), (MI, 0.19)} |

3.3 ผลการอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยกำหนดกฎของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการประเมินความเสี่ยงโดยใช้กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว พิจารณาจากการเปรียบเทียบระดับความเป็นสมาชิกค่าเฉลี่ยระดับความน่าจะเป็นและผลกระทบจากความเสี่ยงเป็นรายคู่เพื่อกำหนด RM และระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าต่ำสุด ด้วยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินระดับความน่าจะเป็นและผลกระทบจากความเสี่ยง ผลการเปรียบเทียบระดับการประเมินเป็นรายคู่แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4 และระดับความเป็นสมาชิกของ $\mu_c(x)$ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 9




**รูปที่ 4** ผลการกำหนด RM โดยกฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว

**ตารางที่ 9** ระดับความเป็นสมาชิกของ $RM^{dc_k}$ ของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| $A_n$ | $RM^{dc_k}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $RM^{dc_3}$ | $RM^{dc_4}$ | $RM^{dc_5}$ | $RM^{dc_6}$ |
| $A_1$ | {(L, 0.18), (M, 0.66), (H, 0.81), (VH, 0.41)} | {(L, 0.54), (M, 0.80), (H, 0.66), (VH, 0.17)} | {(VL, 0.18), (L, 0.58), (M, 0.80), (H, 0.32), (VH, 0.31)} | {(VL, 0.40), (L, 1.00), (M, 0.50)} |
| $A_2$ | {(VL, 0.20), (L, 0.32), (M, 0.80), (H, 0.66), (VH, 0.34)} | {(L, 0.36), (M, 0.85), (H, 0.60), (VH, 0.50)} | {(L, 0.20), (M, 0.67), (H, 0.77), (VH, 0.66)} | {(VL, 0.18), (L, 0.66), (M, 0.81), (H, 0.32), (VH, 0.32)} |
| $A_3$ | {(M, 0.58), (H, 0.80), (VH, 0.41)} | {(L, 0.32), (M, 0.80), (H, 0.66), (VH, 0.60)} | {(L, 0.32), (M, 0.81), (H, 0.67), (VH, 0.50)} | {(VL, 0.50), (L, 0.58), (M, 0.80), (H, 0.31)} |
| $A_4$ | {(VL, 0.58), (L, 0.70), (M, 0.67), (H, 0.18)} | {(L, 0.22), (M, 0.78), (H, 0.69), (VH, 0.41)} | {(L, 0.20), (M, 0.70), (H, 0.77), (VH, 0.34)} | {(VL, 0.32), (L, 0.54), (M, 0.81), (H, 0.30)} |
| $A_5$ | {(VL, 0.18), (L, 0.32), (M, 0.81), (H, 0.67), (VH, 0.32)} | {(L, 0.40), (M, 1.00), (H, 0.50), (VH, 0.41)} | {(VL, 0.40), (L, 0.80), (M, 0.66), (H, 0.17)} | {(VL, 0.20), (L, 0.33), (M, 0.81), (H, 0.50), (VH, 0.34)} |
| $A_6$ | {(VL, 0.22), (L, 0.81), (M, 0.81), (H, 0.50)} | {(L, 0.50), (M, 0.77), (H, 0.18)} | {(M, 0.50), (H, 0.50), (VH, 0.50)} | {(L, 0.32), (M, 0.81), (H, 0.67), (VH, 0.53)} |

3.4 ผลการทำให้ค่าความคลุมเครือเป็นค่าปกติ เป็นการคำนวณระดับความเสี่ยงโดยวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากค่าระดับความเป็นสมาชิกของ $RM^{dc_k}$ ดังสมการที่ 6 เพื่อคำนวณระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจในเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ผลการคำนวณระดับความเสี่ยง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ระดับความความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจในเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| $R\tilde{M}^{dc_k}$ | $A_n$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ |
| $R\tilde{M}^{dc_3}$ | 16.17 | 14.20 | 17.07 | 9.45 | 14.23 | 11.56 |
| $R\tilde{M}^{dc_4}$ | 9.45 | 15.42 | 15.91 | 15.76 | 14.79 | 12.01 |
| $R\tilde{M}^{dc_5}$ | 13.00 | 16.70 | 15.64 | 15.80 | 9.83 | 17.50 |
| $R\tilde{M}^{dc_6}$ | 8.74 | 12.88 | 10.39 | 10.99 | 13.93 | 15.72 |

3.5 ผลการกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดให้ผู้เชี่ยวชาญทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ด้วยระดับการประเมินความสำคัญแบบคลุมเครือที่เสนอโดย Hsu และคณะ [32] ผลการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 11

**ตารางที่ 11** ผลการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ

| | $e_1$ | | | | | | $e_2$ | | | | | | $e_3$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $dc_1$ | $dc_2$ | $dc_3$ | $dc_4$ | $dc_5$ | $dc_6$ | $dc_1$ | $dc_2$ | $dc_3$ | $dc_4$ | $dc_5$ | $dc_6$ | $dc_1$ | $dc_2$ | $dc_3$ | $dc_4$ | $dc_5$ | $dc_6$ |
| $dc_1$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{5}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{1}$ |
| $dc_2$ | $\tilde{5}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{4}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ |
| $dc_3$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{4}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{3}^{-1}$ |
| $dc_4$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{4}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ |
| $dc_5$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{4}^{-1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}$ |
| $dc_6$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{2}$ | $\tilde{4}^{-1}$ | $\tilde{3}^{-1}$ | $\tilde{4}^{-1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{1}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{3}$ | $\tilde{2}^{-1}$ | $\tilde{1}$ |

จากนั้นคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจจากผลการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ของผู้ตัดสินใจ 3 ราย โดยน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่นำไปพิจารณาในการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งต้องเป็นน้ำหนักความสำคัญเฉลี่ย นอกจากนี้ยังพบว่าค่า C.R. ของน้ำหนักความสำคัญจากผู้ตัดสินใจทั้ง 3 รายมีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โดย C.R. มีค่าเท่ากับ 0.10, 0.09 และ 0.09 ตามลำดับ ผลการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 12

**ตารางที่ 12** ผลการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

| | $W_{dc1}$ | $W_{dc2}$ | $W_{dc3}$ | $W_{dc4}$ | $W_{dc5}$ | $W_{dc6}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $e_1$ | 0.29 | 0.08 | 0.34 | 0.26 | 0.01 | 0.02 |
| $e_2$ | 0.03 | 0.29 | 0.27 | 0.24 | 0.11 | 0.06 |
| $e_3$ | 0.20 | 0.14 | 0.05 | 0.22 | 0.12 | 0.27 |
| เฉลี่ย | 0.17 | 0.17 | 0.22 | 0.24 | 0.08 | 0.12 |

3.6 ผลการคำนวณค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ผู้ตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบต้องกำหนดความต้องการและข้อจำกัดในการตัดสินใจ ได้แก่ งบประมาณค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่งที่ต้องการ และระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ยอมรับได้ จากนั้นค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะถูกคำนวณโดยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งจากข้อมูลของเส้นทาง น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ และความต้องการและข้อจำกัดในการตัดสินใจ สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดความต้องการและข้อจำกัดในการตัดสินใจ ได้แก่ งบประมาณค่าขนส่งต้องไม่เกิน 4,500 ดอลลาร์สหรัฐ ระยะเวลาการขนส่งที่ต้องการเท่ากับ 8 วัน และระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจต้องไม่เกิน 18 ตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งสำหรับการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากกรุงเทพมหานครไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครดานัง แสดงรายละเอียดดังนี้

<u>วัตถุประสงค์</u>

$$\text{Minimize } Z = 0.17(d^+_{dc_1}) + 0.17(d^+_{dc_2}) + 0.22(d^+_{dc_3}) + 0.24(d^+_{dc_4}) + 0.08(d^+_{dc_5}) + 0.12(d^+_{dc_6})$$

<u>เงื่อนไข</u>

เงื่อนไขด้านต้นทุนค่าขนส่ง
$$34.056X_1 + 63.744X_2 - 1.778X_3 + 76X_4 + 4.489X_5 + 5.467X_6 - d^+_{dc_1} = 76$$

เงื่อนไขด้านระยะเวลาในการขนส่ง
$$100X_1 + 125X_2 + 25X_3 + 100X_4 + 87.5X_5 + 87.5X_6 - d^+_{dc_2} = 100$$

เงื่อนไขความเสี่ยงต่อตัวสินค้า
$$10.167X_1 + 21.111X_2 + 5.167X_3 + 47.5X_4 + 20.944X_5 + 35.778X_6 - d^+_{dc_3} = 47.5$$

เงื่อนไขความเสี่ยงต่อโครงสร้างพื้นฐานฯ
$$47.5X_1 + 14.333X_2 + 11.611X_3 + 12.444X_4 + 17.833X_5 + 33.278X_6 - d^+_{dc_4} = 47.5$$

เงื่อนไขความเสี่ยงด้านกฎหมายฯ
$$27.778X_1 + 7.222X_2 + 13.111X_3 + 12.222X_4 + 45.389X_5 + 2.778X_6 - d^+_{dc_5} = 45.389$$

เงื่อนไขความเสี่ยงด้านมหาภาค
$$51.444X_1 + 28.444X_2 + 42.278X_3 + 38.944X_4 + 22.611X_5 + 12.667X_6 - d^+_{dc_6} = 51.444$$

จากตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปในข้างต้น สามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 13 โดยพบว่าเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_4$ เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายต่ำสุด โดยมีจุดเริ่มต้นจากกรุงเทพมหานคร – ท่าเรือแหลมฉบัง ## ท่าเรือดานัง – ศูนย์กระจายสินค้าดานัง นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_1$ เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สอง เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_6$ เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สาม และเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_5$ เป็นเส้นทางที่เป็นทางเลือกลำดับสุดท้าย ส่วนเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_2$ ไม่ถูกนำพิจารณาในการตัดสินใจเนื่องจากมีระยะเวลาการขนส่งเกินกว่าระยะเวลาการขนส่งที่ผู้ตัดสินใจกำหนดและเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ $A_3$ ไม่ถูกนำพิจารณาในการตัดสินใจเนื่องจากมีต้นทุนค่าขนส่งสูงกว่างบประมาณค่าขนส่งที่กำหนด

**ตารางที่ 13** ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

| เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ($A_n$) | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย (Z) | 16.7528 | - | - | 12.5667 | 30.7041 | 28.1701 |
| ลำดับ | 2 | - | - | 1 | 4 | 3 |

## 4. วิจารณ์ผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการเสนอวิธีการประยุกต์แนวคิดของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการประเมินความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม โดยระดับความเสี่ยงที่คำนวณได้จากระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือถูกนำมาพิจารณาร่วมกับต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งของเส้นทางด้วยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่ง พร้อมทั้งกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการประเมินความเสี่ยงช่วยลดความผิดพลาดจากการคำนวณระดับความเสี่ยงซึ่งมีความไม่แน่นอน ไม่เที่ยงตรง และมีความซับซ้อน อีกทั้งยังช่วยให้การคำนวณระดับความเสี่ยงมีเหตุผลเชิงตรรกะมากยิ่งขึ้น โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ของการคำนวณระดับความเสี่ยงจากการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและตัวแปรภาษาของระดับการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยง ระดับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยง และระดับความเสี่ยง สำหรับกระบวนอนุมานระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเชิงเหตุผลจากการตั้งรูปแบบกฎและตัวแปรด้วยผู้เชี่ยวชาญตามคุณสมบัติที่ได้กำหนดไว้สอดคล้องกับผลการทดลองจากงานวิจัยของ Zeng และคณะ [17] และงานวิจัยของ Yucel และคณะ [18] และงานวิจัยของ John และคณะ [19] ทั้งนี้ผลลัพธ์จากการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมด้วยการพิจารณาค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายที่ต่ำสุดของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดเหมาะสมกับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่มีวัตถุประสงค์หลายประการและวัตถุประสงค์เหล่านั้นยังมีความขัดแย้งกัน สอดคล้องกับวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมจากงานวิจัยของ Kengpol และคณะ [7-9] งานวิจัยของ Kengpol และ Tuammee [10] งานวิจัยของ Koohathongsumrit [11] และงานวิจัยของ Kaewfak และ Ammarapala [12] อย่างไรก็ตามผลลัพธ์จากวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เสนออาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับข้อมูลของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ การกำหนดความต้องการและข้อจำกัดจากผู้ตัดสินใจ และน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ นอกจากนี้ผลการทดลองจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังเป็นแนวทางสำคัญให้กับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem : VRP) จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าตามจุดต่างๆ เพื่อให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขความเสมือนจริงของสถานการณ์

ต่างๆ โดยไม่ได้พิจารณาระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าระหว่างจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางแต่ละคู่เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น งานวิจัยของ Nueangnitnaraporn และ Karoonsoontawong [40] งานวิจัยของ Santithayee และ Janjarassuk [41] และงานวิจัยของ Rabbani และคณะ [42] ดังนั้นผลการทดลองของการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางเป็นรายคู่เพื่อนำผลการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าไปทำการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าซึ่งเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่าต่อไป

## 5. สรุป

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องนำเสนอวิธีการคำนวณระดับความเสี่ยงสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยการประยุกต์ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อช่วยให้ระดับความเสี่ยงที่คำนวณได้มีความชัดเจนและใกล้เคียงสภาพแวดล้อมของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมากขึ้น ผู้เชี่ยวชาญ หรือผู้ตัดสินใจสามารถประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงและผลกระทบจากความเสี่ยงได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำ อีกทั้งขั้นตอนการคำนวณระดับความเสี่ยงมีความน่าเชื่อถือและเข้าใจง่าย เนื่องจากดำเนินการผ่านกลไกการอนุมานระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือในกรณีเลวร้ายที่สุดจากระดับความเป็นสมาชิกที่สูงสุดของค่าเฉลี่ยระดับการประเมินความน่าจะเป็นและผลกระทบ พร้อมทั้งแปลงผลลัพธ์จากการอนุมานเพื่อให้ได้ระดับความเสี่ยงที่เป็นค่าปกติด้วยวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง รวมถึงกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซีเพื่อให้การตัดสินใจเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบสอดคล้องกับการตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ของโลกแห่งความเป็นจริงที่กำหนดความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจไม่เท่าเทียมกัน โดยการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งได้ถูกกำหนดเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมด้วยการพิจารณาต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง และระดับความเสี่ยงด้านต่างๆ ภายหลังจากประยุกต์วิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากกรุงเทพมหานครไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครดานังตามแนวคิดของการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งแล้ว พบว่าวิธีการตัดสินใจที่เสนอสามารถตอบสนองต่อเป้าหมายและข้อจำกัดของผู้ตัดสินใจกำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลีกเลี่ยงการตอบสนองต่อเกณฑ์การตัดสินใจเพียงเกณฑ์การตัดสินใจเดียว แต่พยายามหาคำตอบที่ตอบสนองต่อเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดพร้อมกันด้วยการลดค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจให้มากที่สุดเท่าที่กระทำได้ด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบกับเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับงบประมาณค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่งสินค้าของเส้นทางที่ใกล้เคียงกับระยะเวลาการขนส่งสินค้าที่ผู้ตัดสินใจกำหนดมากที่สุด และระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ต่ำสุดเมื่อเทียบกับระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจที่ยอมรับได้ ตามลำดับ ทั้งนี้คำตอบที่ได้จากการโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งอาจไม่ใช่เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำสุด ระยะเวลาการขนส่งที่ใกล้เคียงกับระยะเวลาการขนส่งที่ต้องการมากที่สุด หรือระดับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพที่ต่ำสุด แต่เป็นเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายที่ต่ำสุดของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด อย่างไรก็ตามเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขและข้อจำกัดของการตัดสินใจจะถูกตัดทิ้งออกจากกระบวนการตัดสินใจ

สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตอาจทำการพัฒนาวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) กับแนวคิดระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือในการคำนวณระดับความเสี่ยงเกณฑ์การตัดสินใจและการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า หรืออาจประยุกต์แนวคิดของระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือกับการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งแบบฟัซซี (Fuzzy Zero-One Goal Programming : FZOGP) เพื่อช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดว่าเป้าหมายที่ต้องการในแต่ละวัตถุประสงค์ควรมีค่าค่อนข้างมาก หรือค่อนข้างน้อยกว่าเป้าหมายที่ต้องการเท่าไหร่ รวมถึงประยุกต์กับวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่น เช่น การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบฟัซซี (Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to The

Ideal Solution : FTOPSIS) กระบวนการโครงข่ายเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytical Network Process : FANP) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการที่นำเสนอประยุกต์กับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง


1. Koohathongsumrit, N., 2017, "Optimization Route Selecting by Multi-Criteria Decision Making Analysis," *RMUTP Research Journal*, 11 (1), pp. 137-150. (In Thai)

2. Agbo, A.A., Li, W., Atombo, C., Lodewijks, G. and Zheng, L., "Feasibility Study for the Introduction of Synchromodal Freight Transportation Concept," *Cogent Engineering*, 4 (1), pp. 1-25.

3. Sajjafuengkijkarn, P. and Wasusri, T., 2012, "An Analysis of Supply Chain Risk Management in a Manufacturing Fermented Vegetable Canning," *KMUTT Research and Development Journal*, 35 (3), pp. 311-321. (In Thai)

4. Tsai, M. and Su, C., 2004, "Scenario Analysis of Freight Vehicle Accident Risks in Taiwan," *Accident Analysis and Prevention*, 36 (4), pp. 683-690.

5. Sattayaprasert, W., Taneerananon, P., Hanaoka, S. and Pradhananga, R., 2008, "Creating a Risk-based Network for Hazmat Logistics by Route Prioritization with AHP," *The International Association of Traffic and Safety Sciences Research*, 32 (1), pp. 74-87.

6. Sonwattana, P. and Wasusri, T., 2014, "An Analysis of Supply Chain Risk Management in Metropolitan Waterworks Authority," *KMUTT Research and Development Journal*, 37 (2), pp. 257-270. (In Thai)

7. Kengpol, A., Meethom, W. and Touminen, M., 2012, "The Development of a Decision Support System in Multimodal Transportation Routing within Greater Mekong Sub-Region Countries," *The International Journal of Production Economics*, 140 (2), pp. 691-701.

8. Kengpol, A., Tuamee, S. and Meethom, W., 2012, "Design of a Decision Support System on Selection of Multimodal Transportation with Environmental Consideration between Thailand and Vietnam," *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering*, 5 (2), pp. 55-63.

9. Kengpol, A., Tuammee, S. and Tuominen, M., 2014, "The Development of a Framework for Route Selection in Multimodal Transportation," *The International Journal of Logistics Management*, 25 (3), pp. 581-610.

10. Kengpol, A. and Tuammee, S., 2016, "The Development of a Decision Support Framework for a Quantitative Risk Assessment in Multimodal Green Logistics: An Empirical Study," *International Journal of Production Research*, 54 (4), pp. 1020-1038.

11. Koohathongsumrit, N., 2017, "Selecting Optimal Distribution Route by Zero-One Goal Programming Model," *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*, 12 (2), pp. 78-91. (In Thai)

12. Kaewfak, K. and Ammarapala, V., 2018, "The Decision Making of Freight Route in Multimodal Transportation," *Suranaree Journal of Science and Technology*, 25 (1), pp. 1-10.

13. Zhang, H., Yuan, M., Liang, Y., Wang, B., Zhang, W. and Zheng, J., 2018, "A Risk Assessment Based Optimization Method for Route Selection of Hazardous Liquid Railway Network," *Safety Science*, 110 (B), pp. 217-229.

14. Yuan, L., Yuan, H., Ma, Y. and Ren, Y., 2014, "Development of a Safety Evaluation Model for Provincial Highway," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Article ID 394846, pp. 1-10.

15. Lo, C.C. and Chen, W.J., 2012. "A Hybrid Information Security Risk Assessment Procedure

Considering Interdependences between Controls," *Expert Systems with Applications*, 39 (1), pp. 247-257.

16. Zadegan, R.M., Jepsen, M.D.E., Hildebrandt, L.L., Birkedal, V. and Kjems, J., 2015, "Construction of a Fuzzy and Boolean Logic Gates Based on DNA," *Small*, 11 (15), pp. 1811-1817.

17. Zeng, J., An, M. and Smith, N.J., 2007, "Application of a Fuzzy Based Decision Making Methodology to Construction Project Risk Assessment," *International Journal of Project Management*, 25 (6), pp. 589-600.

18. Yucel, G., Cebi, S., Hoege, B. and Ozok, A.F., 2011, "A Fuzzy Risk Assessment Model for Hospital Information System Implementation," *Expert Systems with Applications*, 39 (1), pp. 1211-1218.

19. John, A., Paraskevadakis, D., Bury, A., Yang, Z., Riahi, R. and Wang, J., 2014, "An Integrated Fuzzy Risk Assessment for Seaport Operations," *Safety Science,* 68 (22), pp. 180-194.

20. Meethom, W. and Koohathongsumrit, N., 2018, "Design of Decision Support System for Road Freight Transportation Routing using Multilayer Zero One Goal Programming," *Engineering Journal*, 22 (6), pp. 185-205.

21. Banomyong, R. and Beresford, A.K.C., 2001, "Multimodal Transport: The Case of Laotian Garment Exporters," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 31 (9), pp. 663-685.

22. Athikomrattanakul, P. and Rattanachum, P., 2017, "Activity-Based Costing in Freight Transportation Case Study : Cement Transport Company," *KMUTT Research and Development Journal*, 40 (1), pp. 117-136. (In Thai)

23. Kantanantha, N., 2012, "Forecasting by Causal Methods," *Engineering Journal*, 4 (1), pp. 33-48. (In Thai)

24. Nieto-Morote, A. and Ruz-Vila, F., 2011, "A Fuzzy Approach to Construction Project Risk Assessment," *International Journal of Project Management*, 29 (2), pp. 220-231.

25. Mishra, R.V., Rathore, S., Ahmad, S. and Mallick, Z.N., 2012, "Modelling of Traffic Constable Comfort Level Variation in NCR Region by Fuzzy Expert System," *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4 (5), pp. 2072-2082.

26. Ross, T.J., 2010, Fuzzy Logic with Engineering Applications, John Wiley & Sons, Chichester.

27. Timyaingam, N., 2017, "A Fuzzy AHP Approach to the Determination of Important Weights of Quality Criteria for Thai Wholesale Business," *KMUTT Research and Development Journal*, 40 (3), pp. 365-384. (In Thai)

28. Sriwattananusart, K. and Sureeyatanapas, P., 2017, "Supplier Selection Using TOPSIS and ROC Methods: A Case Study of Restaurant Industry," *KMUTT Research and Development Journal*, 40 (3), pp. 385-403. (In Thai)

29. Mangla, S.K., Kumar, P. and Barua, M.K., 2015, "Risk Analysis in Green Supply Chain Using Fuzzy AHP Approach: A Case Study," *Resources, Conservation and Recycling*, 104 (B), pp. 375-390.

30. Chang, D.Y., 1996, "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP," *European Journal of Operational Research*, 95 (3), pp. 649-655.

31. Koohathongsumrit, N., 2017, "Selecting Optimum Route for Raw Materials: A Case Study of an Instant Food Factory," *Ramkhamhaeng Research Journal of Sciences and Technology*, 20 (1), pp. 1-17. (In Thai)

32. Hsu, Y.L., Lee, C.H. and Kreng, V.B., 2010, "The Application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in Lubricant Regenerative Technology Selection," *Expert Systems with Applications*, 37 (1), pp. 419-425.

33. Lee, T.R., Le, T.P.N., Genovese, A. and Koh, L.S.C., 2012, "Using FAHP to Determine the Criteria for Partner's Selection within a Green Supply Chain the Case of Hand Tool Industry in Taiwan," *Journal*

*of Manufacturing Technology Management*, 23 (1), pp. 25-55.

34. Kumar, P. and Singh, R.K., 2012, "A Fuzzy AHP and TOPSIS Methodology to Evaluate 3PL in a Supply Chain," *Journal of Modelling in Management*, 7 (3), pp. 287-303.

35. Ganguly, K.K. and Guin, K.K., 2013, "A Fuzzy AHP Approach for Inbound Supply Risk Assessment," *Benchmarking: An International Journal*, 20 (1), pp. 129-146.

36. Koohathongsumrit, N., 2017, "Selecting the Best Logistics Provider by the Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Rubber Products Manufacturing," *RMUTSB Academic Journal,* 6 (2), pp. 182-193. (In Thai)

37. Saaty, T.L., 1994, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," *Interfaces,* 24 (6), pp. 19-43.

38. Tsai, W.H., Leu, J.D., Liu, J.Y., Lin, S.J. and Shaw, M.J., 2010, "A MCDM Approach for Sourcing Strategy Mix Decision in IT Projects," *Expert Systems with Applications*, 37 (5), pp. 3870-3886.

39. Jadidi, O., Cavalieri, S. and Zolfaghari, S., 2015, "An Improved Multi-Choice Goal Programming Approach for Supplier Selection Problems," *Applied Mathematical Modelling*, 39 (14), pp. 4213-4222.

40. Nueangnitnaraporn, W. and Karoonsoontawong, A., 2018, "A Construction Heuristic Method for Time Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows and Multiple Use of Vehicles," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (1), pp. 63-81. (In Thai)

41. Santithayee, K. and Janjarassuk, U., 2018, "An Ant Colony Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (4), pp. 387-400. (In Thai)

42. Rabbani, M., Pourreza, P., Farrokhi-Asl, H. and Nouri, N., 2018, "A Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Considering Time Window Repair and Pick-Up," *Journal of Modelling in Management*, 13 (3), pp. 698-717.