

การประยุกต์ใหม่ลดความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบของอุตสาหกรรมพลาสติกด้วยวิธีการตัดสินใจหลายเกณฑ์แบบฟัซซีกรณีศึกษา: ผู้ผลิตเม็ดพลาสติกในประเทศไทย

จิรวัฒน์ กิรติภูบดี และ เดชรัตน์ สัมฤทธิ์*

กลุ่มสาขาโลจิสติกส์และระบบขนส่งทางราง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, ประเทศไทย

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: dettoy999@gmail.com

วันที่รับบทความ: 19 ตุลาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 26 พฤษภาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 13 มิถุนายน 2566

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 26 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ: การศึกษานี้เสนอกรอบการตัดสินใจหลายเกณฑ์แบบฟัซซี (Fuzzy MCDM) โดยอ้างอิงจากวิธีใหม่ลดความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบ (FMEA) สำหรับการจัดลำดับความสำคัญของกลยุทธ์การบรรเทาความเสี่ยงด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก ขั้นตอนรอบงานที่เสนอสามารถแบ่งออกเป็นหกขั้นตอน ดังนี้ (i) FMEA ของความเสี่ยงด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับและกลยุทธ์การลดความเสี่ยงได้รับการระบุผ่านการทบทวนวรรณกรรมที่ครอบคลุมและตรวจสอบโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (ii) กำหนดมาตราส่วนที่สามารถวัดได้สำหรับเกณฑ์ต่าง ๆ รวมไปถึงความรุนแรง (S) โอกาสในการเกิด (O) ความสามารถในการตรวจจับ (D), ต้นทุน (C) ระดับความยากในการแก้ไขปัญหา (F) และเวลา (T), (iii) คำนวณน้ำหนักเชิงอัตวิสัยของเกณฑ์โดยการปรับใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy AHP) (iv) คำนวณน้ำหนักเชิงภววิสัยของเกณฑ์โดยใช้วิธี Entropy (v) ให้น้ำหนักของเกณฑ์รวมกัน และ (vi) จัดลำดับความสำคัญของใหม่ลดความล้มเหลวโดยใช้ Fuzzy CODAS ผู้ผลิตเม็ดพลาสติกในประเทศไทยถูกใช้เป็นกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่าลำดับความสำคัญ ความเสี่ยงด้านสินค้าคงคลัง (FM7) มีความสำคัญมากที่สุด ผลการศึกษานี้อาจจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการและปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมพลาสติก เพื่อการลดความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับ

คำสำคัญ: โลจิสติกส์ย้อนกลับ; โลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก; การบรรเทาความเสี่ยง

Application of Failure Mode and Effect Analysis of Plastics Industry with Fuzzy Multi-Criteria Decision Making a Case Study: Plastic Resin Manufacturing in Thailand

Jirawat Keeratibhubordee and Detcharat Sumrit*

The Cluster of Logistics and Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Thailand

* Corresponding author, E-mail: dettoy999@gmail.com

Received: 19 October 2023; Revised: 26 May 2023; Accepted: 13 June 2023

Online Published: 26 August 2023

Abstract: This study proposes a fuzzy multi-criteria decision-making framework (Fuzzy MCDM) based on failure mode effect analysis (FMEA) for prioritizing mitigation strategies for reverse logistics risks in the recycled plastic industry. The proposed framework steps can be divided into six phases as follows; (i) FMEA of reverse logistics risks and risk mitigation strategies are identified through extensive literature review and validated by a group of experts, (ii) defined the measurable scales for criteria including severity (S), occurrence (O), detectability (D), cost (C), degree of difficult to solve problems (F), and time (T), (iii) calculate the subjective weights of criteria by deploying Fuzzy AHP, (iv) compute the objective weights of criteria by utilizing Entropy method, (v) obtain the combined weights of criteria, (vi) prioritize the failure modes by applying Fuzzy CODAS. The results showed that the priority Inventory risk (FM7) is the most important. Plastic resin manufacturers in Thailand are used as a case study. The results of this study may benefit scholars and practitioners involved in the plastic industry to mitigate reverse logistics risks.

Keywords: Reverse logistics; Reverse logistics in the plastic industry; Risk mitigation



1. บทนำ

การเติบโตของประชากรที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทำให้มีการเติบโตของบรรจุกุภัณฑ์เพิ่มขึ้น การใช้งานบรรจุกุภัณฑ์พลาสติกเพิ่มมากขึ้นเกินไป ทำให้เกิดขยะจำนวนมาก ขยะพลาสติกเป็นปัญหาสำคัญสำหรับโลก โดยขยะมูลฝอยทั้งหมดจะมีปริมาณขยะพลาสติกอยู่ถึง 3-4% [1] รวมถึงปัญหาที่เกิดจากการทำลายหรือฝังกลบขยะ และการผลิตพลาสติกที่ไม่เป็นระบบทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ขยะพลาสติกมีปริมาณ 400 ตันต่อปี และการย่อยสลายของพลาสติกจะมีอายุถึง 300 ปี ทำให้พลาสติกที่อยู่ในดินจะค่อย ๆ ปล่อยก๊าซมีเทน [1] ผลกระทบจากขยะจำนวนมากนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาจากเศรษฐกิจแบบเชิงเส้นเป็นเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน โดยเน้นการใช้ทรัพยากรที่ใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ประโยชน์แทนการทิ้งให้เป็นขยะ แต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในระบบเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน [2] เศรษฐกิจแบบหมุนเวียนเป็นหนึ่งในแนวคิด BCG Model ที่มี 3 ส่วนหลัก ๆ คือ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)

การดำเนินการโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นการดำเนินการอย่างเป็นระบบในห่วงโซ่อุปทานอย่างเหมาะสม ซึ่งโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นกระบวนการหนึ่งของห่วงโซ่อุปทาน เป็นการวางแผนและควบคุมกระบวนการไหลเวียนของสินค้าในทิศทางย้อนกลับ การจัดเก็บสินค้าคงคลัง เพื่อจุดประสงค์ในการส่งคืนสินค้า หรือเพื่อการกำจัดของเสียอย่างเป็นระบบ รวมไปถึงการย้อนกลับของวัตถุดิบในการรีไซเคิล

เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ อย่างมีประสิทธิภาพ ผลประโยชน์ของเศรษฐกิจและการรับผิดชอบต่อสังคมเป็นตัวผลักดันสำคัญในการขับเคลื่อนกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับของบริษัทต่าง ๆ ในบางประเทศเริ่มมีการบังคับใช้กฎหมายในการกระตุ้นให้เกิดการใช้กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับในวงกว้าง ทำให้ผู้ผลิตขาดประสิทธิภาพที่มีต่อกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตามโลจิสติกส์ย้อนกลับอาจมีปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการต่าง ๆ จึงต้องมีการบริหารความเสี่ยง โดยการบริหารความเสี่ยงในโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มมูลค่าให้กับห่วงโซ่อุปทานในทิศทางย้อนกลับ และมุ่งเน้นการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม นักวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาในส่วนของจัดการ ความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Risk Management: SCRM) แต่ยังมีการศึกษาด้านการจัดการความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics Risk Management: RLRM) ที่จำกัด [3]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วนของจัดการ ความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยแบ่งออกเป็น 6 ระยะ ระยะที่ 1 จะระบุความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับ มีปัจจัยเสี่ยง 11 ความเสี่ยง (Failure Modes: FMs) ถูกระบุด้วยการทบทวนวรรณกรรมและการสำรวจอย่างละเอียด และให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบปัจจัยเสี่ยงที่ระบุเพื่อวิเคราะห์และระบุปัจจัยเสี่ยงที่เกิดขึ้นในโลจิสติกส์ย้อนกลับ ระยะที่ 2 เป็นการกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยงและมาตราส่วนการวัดเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเสี่ยงตามเกณฑ์คะแนนที่ถูกระบุผ่านการทบทวนวรรณกรรม ระยะที่ 3 นำปัจจัยเสี่ยงมาวิเคราะห์ด้วยการหาหน้าหนักเกณฑ์ภายใต้วิธี



โหมดความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ด้วยวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Fuzzy: AHP) เพื่อหาน้ำหนักอัตวิสัย (Subjective Weight) เหตุผลที่ใช้การวิเคราะห์แบบ Fuzzy AHP เนื่องจากวิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ยังมีข้อบกพร่องและข้อเสียที่เกี่ยวกับมุมมองและความคิดของมนุษย์ รวมถึงการตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับผู้มีอำนาจตัดสินใจในการพิจารณา มีความไม่แน่นอนสูง อาจส่งผลให้ค่าตัวเลขเกิดความผิดพลาด จึงได้มีการนำทฤษฎีเซตคลุมเครือ (Fuzzy Set Theory: FST) มาช่วยในการวิเคราะห์ในกระบวนการตัดสินใจแบบ AHP เป็นกระบวนการเลือกและการตัดสินใจที่ซับซ้อน ลดความคลุมเครือ ช่วยให้ข้อมูลเที่ยงตรงมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น [4] ระยะที่ 4 หาน้ำหนักภววิสัย (Objective Weight) ด้วยวิธีเอนโทรปี (Entropy Method) ข้อดีของการใช้วิธีเอนโทรปีคือการให้คะแนนประสิทธิภาพของ FMs ที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ความเสี่ยงจะรวมอยู่ในการคำนวณน้ำหนัก ระยะที่ 5 ทำการหาน้ำหนักโดยรวมระหว่างน้ำหนักอัตวิสัยและน้ำหนักภววิสัย เนื่องจากน้ำหนักอัตวิสัยและน้ำหนักภววิสัยมีข้อดีและข้อเสียในตัวเอง น้ำหนักอัตวิสัยจะพิจารณาน้ำหนักโดยอาศัยความชอบ ความรู้ และประสบการณ์ในโดเมนที่ศึกษาของผู้เชี่ยวชาญในการตัดสินใจกรณีที่ความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญไม่เพียงพออาจนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง ในทางกลับกันวิธีการให้น้ำหนักภววิสัย จะไม่สนใจความความชอบ ความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ การวิเคราะห์และคำนวณการหาน้ำหนักแบบผสมผสานนี้จะช่วยชดเชยข้อเสีย

ของทั้ง 2 วิธีนี้ได้ [5] ระยะที่ 6 จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง ด้วยวิธีการประเมินระยะทางผสมผสานแบบฟัซซี่ (Combinative Distance-based Assessment: Fuzzy Codas) เพื่อพิจารณาและทำการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบและมีความสำคัญมากที่สุด จากการใช้เครื่องมือเหล่านี้เพื่อตอบคำถามงานวิจัยว่า RQ1: อะไรคือปัจจัยเสี่ยงการปฏิบัติการของโลจิสติกส์ย้อนกลับของอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทย RQ2: น้ำหนักของเกณฑ์ความเสี่ยงใดมีความสำคัญกว่ากัน RQ3: ลำดับปัจจัยเสี่ยงการปฏิบัติการใดมีความสำคัญมากที่สุด ในโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก

โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีงานวิจัยที่ศึกษาโลจิสติกส์ย้อนกลับในส่วนของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แต่ยังมีการศึกษาโลจิสติกส์ย้อนกลับของอุตสาหกรรมพลาสติกที่จำกัด งานวิจัยนี้จึงศึกษาในส่วนของโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยมีการวิเคราะห์เกณฑ์ของความเสี่ยงที่พิจารณาจากวิธี FMEA ซึ่งเกณฑ์พิจารณาความเสี่ยงของ FMEA แบบดั้งเดิมมีทั้งหมด 3 เกณฑ์คือ โอกาสในการเกิด (Occurrence: O) ความรุนแรง (Severity: S) และการตรวจจับ (Detection: D) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่มีการใช้ของวิธี FMEA ดั้งเดิมอย่างแพร่หลาย ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะสะท้อนถึงสถานการณ์เสี่ยง การศึกษาและการวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการรวมเกณฑ์ความเสี่ยงเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ FMEA ตัวอย่างเช่น Lo และคณะ [6] ที่เพิ่มเกณฑ์ “ความยากในการบำรุงรักษา” สำหรับการประเมินความเสี่ยงของเครื่องมือเครื่องจักร รวมถึง Jin และคณะ [7] ที่เพิ่มเกณฑ์ “ต้นทุน” สำหรับการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการเปลี่ยนเครื่องมือ ในงานวิจัยนี้จะ



วิเคราะห์เกณฑ์เพิ่มเติมนอกเหนือจากเกณฑ์ดั้งเดิมของวิธี FMEA ในการจัดการกับความเสี่ยง เกณฑ์ที่จะวิเคราะห์เพิ่มมี 3 เกณฑ์คือ ความเสียหายของต้นทุน (Cost: C) จะมีมากแค่ไหนเมื่อเกิดความเสี่ยง เกณฑ์ต่อมาคือความยากง่ายในการแก้ไขความเสี่ยง (Degree of Difficulty to Fixed Problem: F) และเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาความเสี่ยง (Time: T) รวมเกณฑ์ที่จะใช้วิเคราะห์ทั้งหมด 6 เกณฑ์คือ S, O, D, C, F, T เพื่อให้การวิเคราะห์ได้หลายมิติ และมีความชัดเจนของผลลัพธ์มากยิ่งขึ้นนอกเหนือจากเกณฑ์ FMEA แบบดั้งเดิมเนื่องจากการวิเคราะห์ FMEA แบบดั้งเดิมเป็นการใช้ค่าหมายเลขความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) เพื่อวัดระดับความสำคัญของความเสี่ยงโดยการคูณคะแนนของเกณฑ์ S, O, D แต่ยังเป็นที่ยกเถียงกันอยู่เนื่องจากค่า RPN มีความแปรผันของผลลัพธ์สูง และเนื่องจากการคูณคะแนนของเกณฑ์ S, O, D ไม่มีการคำนวณด้วยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่เข้มงวดทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากเกณฑ์ S, O, D อาจให้ค่า RPN ที่เท่ากันแต่ความเสี่ยงที่แตกต่างกันอาจมีระดับความสำคัญของความเสี่ยงต่างกัน ตัวอย่างเช่นความเสี่ยง A จำนวนค่า RPN = 8 ความเสี่ยง B จำนวนค่า RPN = 8 ทั้งสองความเสี่ยงจำนวนค่า RPN ได้เท่ากันแต่ความจริงแล้วความเสี่ยง A อาจจะมีมีความสำคัญของความเสี่ยงมากกว่าความเสี่ยง B เป็นต้น การประยุกต์ใช้แนวทางการตัดสินใจหลายเกณฑ์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making: MCDM) สามารถแก้ไขจุดอ่อนของ FMEA แบบดั้งเดิมได้ [6] โดยพื้นฐานการตัดสินใจในบริบทของ FMEA มักจะเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนและความกำกวมของการตัดสินใจของมนุษย์ ทฤษฎีเซตคลุมเครือ

(Fuzzy Set Theory: FST) เป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับความกำกวมดังกล่าว [8] อีกทั้งงานวิจัยทั่วไปยังคำนึงถึงการวิเคราะห์น้ำหนักนักอรรถวิสัย (Subjective Weight) เพียงอย่างเดียวทำให้งานวิจัยนี้คำนวณและวิเคราะห์น้ำหนักโดยรวมระหว่างน้ำหนักนักอรรถวิสัย (Subjective Weight) ด้วยวิธี Fuzzy AHP และ น้ำหนักภววิสัย (Objective Weight) ด้วยวิธี Entropy เข้าด้วยกัน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย/ทดลอง

2.1 ขอบเขตการวิจัย

2.1.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและหาปัจจัยเสี่ยงด้วยการทบทวนวรรณกรรม และการสำรวจปัจจัยเสี่ยงการปฏิบัติการ ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยมีขอบเขตดังนี้ (1) ศึกษาปัจจัยเสี่ยงของโลจิสติกส์ย้อนกลับในระดับปฏิบัติการ (2) ศึกษาและเก็บข้อมูลจากบริษัทที่ทำธุรกิจผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ในประเทศไทย และ (3) เกณฑ์ความเสี่ยงที่ศึกษาเป็นอิสระต่อกัน

2.1.2 ขอบเขตด้านประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

ทำการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญจากประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์ย้อนกลับอย่างน้อย 3 ปี จำนวนผู้เชี่ยวชาญจะอยู่ระหว่าง 5-10 ท่าน เพื่อใช้วิเคราะห์ด้วยวิธี MCDM [9] และจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะจัดตั้งผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการประเมินหาน้ำหนักเกณฑ์แต่ละความเสี่ยงและเพื่อประเมิน FMs โดยแบ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญดังนี้ (1) ผู้เชี่ยวชาญระดับผู้บริหารในอุตสาหกรรมพลาสติกจำนวนจำนวน 7 คน



(Focus Group) โดยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ ในบริบทของการรีไซเคิลพลาสติกเพื่อประเมินเกณฑ์ความเสี่ยงตามเกณฑ์วิธี FMEA มีรายละเอียด ดังตารางที่ 2.1 และ (2) ผู้เชี่ยวชาญบริษัทกรณีศึกษาจำนวน 5 คน/บริษัท (Focus Group) เพื่อประเมิน FMs ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมีความรู้และประสบการณ์ด้าน การรีไซเคิลพลาสติกของบริษัทกรณีศึกษา ดังตารางที่ 2.2

2.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 2.1

2.2.1 ระยะที่ 1 (Phase I) ระบุความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมพลาสติกโดยพิจารณาจาก FMEA การศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล จะทำการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับ ความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับ รวมไปถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในห่วงโซ่อุปทาน และการจัดการขยะพลาสติก จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยันความเสี่ยงโดยผู้เชี่ยวชาญ และระบุความเสี่ยงที่มีความสำคัญกับโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก ได้ปัจจัยเสี่ยงจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างครอบคลุมจากฐานข้อมูลทางวิชาการที่เป็นที่ยอมรับ เช่น Web of Science, ScienceDirect, Emerald Insight เป็นต้น ความเสี่ยงที่ระบุได้จากการทบทวนวรรณกรรมซึ่งมีความถี่ในการกล่าวซ้ำมากที่สุด ในอุตสาหกรรมและในบทความวิจัย โดยระบุความเสี่ยงได้หลายประการเช่น ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม [1, 3, 10] ความเสี่ยงด้านปริมาณและความต้องการ [1, 3] ความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี [1, 3] ความเสี่ยงด้านการ

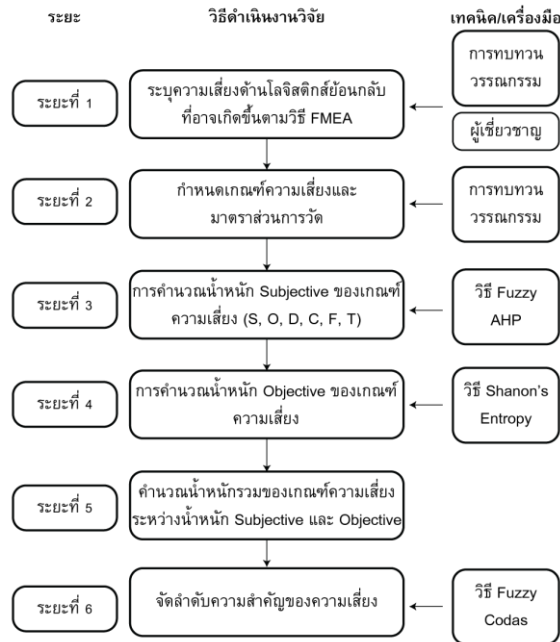
ตารางที่ 2.1 ผู้เชี่ยวชาญ ระดับ ผู้บริหารในอุตสาหกรรมพลาสติก

ตำแหน่ง	ประสบการณ์
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	8 ปี
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	8 ปี
ผู้จัดการฝ่ายโลจิสติกส์	7 ปี
ผู้จัดการโรงงาน	10 ปี
ผู้จัดการโรงงาน	9 ปี
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	10 ปี
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	12 ปี

ตารางที่ 2.2 ผู้เชี่ยวชาญบริษัทกรณีศึกษา

ตำแหน่ง	ประสบการณ์
พัฒนาธุรกิจรีไซเคิล	4 ปี
หัวหน้าฝ่ายพัฒนาธุรกิจรีไซเคิล	25 ปี
ผู้จัดการโรงงาน	20 ปี
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	15 ปี
ผู้จัดการฝ่ายวางแผน	10 ปี

จัดการข้อมูล [1, 10, 11] ความเสี่ยงของความสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย [1, 3, 10] ความเสี่ยงด้านการขนส่ง [3, 10] ความเสี่ยงด้านสินค้าคงคลัง [3, 10, 12] ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ [13, 14] ความเสี่ยงด้านชีวอนามัยและความปลอดภัย [15, 16] ความเสี่ยงด้านความรู้และประสบการณ์ [3, 10, 14] และความเสี่ยงด้านซัพพลายเออร์ [3, 12] ได้ทำการตรวจสอบและยืนยันความเสี่ยงกับผู้เชี่ยวชาญ โดยระบุความเสี่ยง ออกเป็น 11 ความเสี่ยง (FM1-FM11) ดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

2.2.2 ระยะที่ 2 (Phase II) กำหนดเกณฑ์ความเสี่ยงและมาตรฐานการวัด การศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม เกณฑ์จากวิธี FMEA คือ S (Severity), O (Occurrence), D (Detection) และเกณฑ์ที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มจากวิธี FMEA แบบดั้งเดิมเนื่องจากโลจิสติกส์ย้อนกลับของการรีไซเคิลพลาสติกเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งครอบคลุมกิจกรรมที่หลากหลายรวมถึง การรวบรวม การขนส่ง การคัดแยกคลังสินค้า และการรีไซเคิล โดยใช้เกณฑ์พิจารณาความเสี่ยงตาม FMEA แบบดั้งเดิมเพื่อวัดระดับความเสี่ยงสำหรับแต่ละ FMs ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะสะท้อนสถานการณ์เสี่ยง นอกจากนี้เกณฑ์ความเสี่ยงดั้งเดิมยังมีลักษณะทั่วไปสูงทำให้ผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถประเมินได้อย่างแม่นยำ [7] งานวิจัยนี้จึงได้เพิ่มเกณฑ์พิจารณา

ความเสี่ยงขึ้น 3 เกณฑ์คือเกณฑ์ C (Cost), F (Degree of Difficulty to Eliminate Risks), และ T (Time) [7, 17] จากการทบทวนวรรณกรรมมีการเพิ่มเกณฑ์ความเสี่ยงเพื่อวัดระดับความเสี่ยงให้มีความแม่นยำในการประเมินความเสี่ยงมากยิ่งขึ้น [6, 7] เกณฑ์พิจารณาความเสี่ยงที่เพิ่มทั้ง 3 เกณฑ์นี้สามารถอธิบายผลกระทบของปัจจัยเสี่ยงให้มีความแม่นยำจากเกณฑ์พิจารณา FMEA แบบดั้งเดิม และได้ปรึกษา รวมถึงพิจารณาเกณฑ์ทั้ง 6 เกณฑ์ ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและผู้เชี่ยวชาญได้ยืนยันเกณฑ์พิจารณาทั้ง 6 เกณฑ์คือ S, O, D, C, F, T โดยมีมาตรฐานเกณฑ์การวัดน้ำหนักอ้อมติวิสัย ของเกณฑ์ความเสี่ยง [18] และเกณฑ์การวัดน้ำหนักสำหรับการประเมิน FMs ดังตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5 ตามลำดับ



ตารางที่ 2.3 โหมตความล้มเหลวและผลกระทบ

โหมตความล้มเหลว	อธิบาย	ผลกระทบ	ที่มา
ความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม (FM1)	ความเสียหายที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและการต่อต้านของคนในพื้นที่ชุมชน รวมถึงภัยพิบัติที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ขยะปนเปื้อนลงแหล่งน้ำ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การปล่อยน้ำเสียลงแหล่งน้ำ การใช้พลังงานมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น	- ทำลายสิ่งแวดล้อม - ความเสี่ยงทางสังคม - การประท้วงของชุมชน	[1, 3, 10]
ความเสี่ยงด้านปริมาณและความต้องการ (FM2)	ภัยคุกคามที่เกิดจากความไม่แน่นอนและความผันผวนของวัตถุดิบที่เข้ามา ซึ่งอาจเพิ่มต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับ และขัดขวางการดำเนินการโลจิสติกส์ย้อนกลับ	- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพิ่มขึ้น - ความล่าช้าในการส่งมอบสินค้าสำเร็จรูป - โรงงานหยุดชะงัก - ขัดขวางการดำเนินงาน - โลจิสติกส์ย้อนกลับ	[1, 3]
ความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี (FM3)	การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ผู้ผลิตไม่สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีได้ทัน	- เทคโนโลยีล้าสมัย - ขัดขวางการดำเนินงาน - โลจิสติกส์ย้อนกลับ - เสียเปรียบทางการแข่งขัน	[1, 3]
ความเสี่ยงด้านการจัดการข้อมูล (FM4)	ความถูกต้องของข้อมูล ในส่วนของข้อมูลความปลอดภัย การติดต่อสื่อสารข้อมูลที่ผิดพลาด ขาดข้อมูลการมีอยู่ของทรัพยากร และข้อมูลความถูกต้องของวัตถุดิบ การให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ บิดเบือนข้อมูลความจริง รวมไปถึงการเข้าถึงข้อมูลยาก	- เพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ - ขัดขวางการดำเนินงาน - โลจิสติกส์ย้อนกลับ	[1, 10, 11]



ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

โหมตความ ล้มเหลว	อธิบาย	ผลกระทบ	ที่มา
ความเสี่ยงของ ความสัมพันธ์ กับผู้มีส่วนได้ ส่วนเสีย (FM5)	ภัยคุกคามที่เกิดจากความร่วมมือในการจัดการที่ไม่เหมาะสมระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโลจิสติกส์ย้อนกลับ เช่น ขาดการแบ่งปันข้อมูล ผลประโยชน์ทับซ้อน ขาดการประสานงานของกระบวนการ	- เพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ - การดำเนินงานเกิดความผิดพลาด - ความไม่พอใจของลูกค้า	[1, 3, 10]
ความเสี่ยงด้าน การขนส่ง (FM6)	ภัยคุกคามที่เกิดจากการจัดการขนส่งที่ไม่เหมาะสมเกี่ยวกับความสมบูรณ์และความปลอดภัยของยานพาหนะ ความปลอดภัยและการปฏิบัติงานของคนขับ และปัญหาการปฏิบัติงานตามกฎระเบียบ	- อุบัติเหตุในการขนส่งเพิ่มขึ้น - เพิ่มต้นทุนในส่วนของประกันภัย - เกิดการหยุดชะงักในการดำเนินงาน	[3, 10]
ความเสี่ยงด้าน สินค้าคงคลัง (FM7)	ภัยคุกคามที่เกิดจากความล้มเหลวในการวางแผนและควบคุมสินค้าคงคลังเช่น การคาดการณ์ที่ไม่ถูกต้อง ซัพพลายเออร์ที่ไม่น่าเชื่อถือ การโจรกรรม และความเสียหายที่เกิดจากการจัดเก็บ ฯลฯ	- ต้นทุนสินค้าคงคลังเพิ่มสูงขึ้น - ขาดแคลนวัตถุดิบ - การหยุดชะงักของโรงงาน	[3, 10, 12]
ความเสี่ยง ด้านการ ปฏิบัติการ (FM8)	เกิดความผิดพลาดของคนกำลังทรัพยากรบุคคลไม่เพียงพอ และเครื่องจักรมีการทำงานที่ผิดพลาด เครื่องจักรเสีย ชำรุด การวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องจักรไม่เป็นระบบ	- ปริมาณและกำลังการผลิตไม่เพียงพอ - เกิดการหยุดชะงักในการดำเนินงาน - ความไม่พอใจของลูกค้า	[13, 14]



ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

โหมตความ ล้มเหลว	อธิบาย	ผลกระทบ	ที่มา
ความเสี่ยงด้าน ชีวอนามัย และ ความปลอดภัย (FM9)	พนักงานได้รับอันตรายจากเครื่องจักร และโรคที่เกิด จากทางเดินหายใจ การติดเชื้อในปอด การติดเชื้อ จาก สิ่งสกปรกอันเนื่องมาจากวัตถุ ดิบ ที่มี การปนเปื้อน ขยะติดเชื้อ ที่มีเชื้อไวรัส แบคทีเรีย หรือสัตว์พาหะนำโรค เช่น หนู แมลงสาบ	- แรงจูงใจในการทำงาน ของผู้ปฏิบัติงานลดลง - อุบัติเหตุเพิ่มมากขึ้น - อัตราการลาออกของ พนักงานสูง	[15, 16]
ความเสี่ยงด้าน ความรู้และ ประสบการณ์ (FM10)	ความเสี่ยงด้านความรู้และประสบการณ์การทำงาน การวางแผน และการเสนอกกลยุทธ์ในการจัดการ เพื่อพัฒนาองค์กร และในกระบวนการผลิตเกิดความ ล้มเหลว พนักงานขาดการอบรม	- เกิดการหยุดชะงักใน การดำเนินงาน - ค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินการเพิ่มขึ้น - การทำงานผิดพลาด	[3, 10, 14]
ความเสี่ยงด้าน ซัพพลายเออร์ (FM11)	ความเสี่ยงด้าน Supplier น้อยราย หรือการผูกขาด กับ Supplier รวมไปถึงการเลือก Supplier ผิดพลาด ทำให้มีความเสี่ยงต่อปริมาณวัตถุดิบ Supplier ไม่ สามารถหาวัตถุดิบให้ได้ตามที่กำหนด วัตถุดิบที่ซื้อ จาก Supplier ไม่มีคุณภาพ สถานที่ตั้งของ Supplier อยู่ไกล	- ค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินการเพิ่มขึ้น - ได้สินค้าไม่ตรงตาม คุณภาพ - วัตถุดิบขาดเข้าเกิด ความล่าช้า	[3, 12]

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การวัดน้ำหนักอัตรวิสัย

ตัวเลข พืซซี่	ตัวเลขพืซซี่แบบ สามเหลี่ยม (TFN)	ระดับ ความสำคัญ
1	(1, 1, 1)	มีความสำคัญเท่ากัน (EI)
2	(1, 2, 3)	มีความสำคัญเท่ากันถึงปานกลาง (ME)
3	(1, 3, 5)	มีความสำคัญปานกลาง (MI)
4	(2, 4, 6)	มีความสำคัญปานกลางค่อนข้างมาก (MS)
5	(3, 5, 7)	มีความสำคัญค่อนข้างมาก (SI)
6	(4, 6, 8)	มีความสำคัญค่อนข้างมากถึงมากกว่า (SV)
7	(5, 7, 9)	มีความสำคัญมากกว่า (VS)
8	(6, 8, 9)	มีความสำคัญมากกว่าถึงมากที่สุด (VE)
9	(7, 9, 9)	มีความสำคัญมากที่สุด (ET)



ตารางที่ 2.5 เกณฑ์การวัดน้ำหนักการประเมิน FMs

ความรุนแรง	โอกาสในการเกิด	ความสามารถในกาตรวจจับ	ต้นทุน	ความยากง่ายในการแก้ไขความเสี่ยง	เวลา	ตัวเลขพีชชีแบบสามเหลี่ยม	ระดับ
(S)	(O)	(D)	(C)	(F)	(T)	(TFN)	
ไม่มีผลกระทบ	แทบเป็นไปไม่ได้	เกือบจะแน่นอน	เกือบไม่มีค่าใช้จ่าย (AC)	แทบไม่มีปัญหา (N)	แก้ไขได้ทันที (SI)	(0, 1, 2)	1
(N)	(AN)	(AC)					
ผลกระทบทางอ้อมน้อยมาก	เป็นไปไม่ได้	สูงมาก	น้อยมาก	มีปัญหา (R)	ใช้เวลา น้อยมาก (VS)	(1, 2, 3)	2
(VS)	(RS)	(VH)	(VM)	(R)	(VS)		
ผลกระทบทางอ้อม	น้อยมาก	สูง	น้อย	ต่ำ (L)	ใช้เวลา น้อย (ST)	(2, 3, 4)	3
(S)	(VS)	(H)	(MC)	(L)	(ST)		
ต่ำมาก	น้อย	สูงปานกลาง	ต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	ใช้เวลา น้อย ถึงปานกลาง	(3, 4, 5)	4
(M)	(S)	(MH)	(LC)	(RL)	(MI)		
ต่ำ (MO)	ต่ำ (L)	ปานกลาง (M)	ปานกลาง (M)	ปานกลาง (M)	ปานกลาง (M)	(4, 5, 6)	5
(MO)	(L)	(M)	(M)	(M)	(M)		
ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ใช้เวลา น้อย	(5, 6, 7)	6
(SI)	(M)	(L)	(ML)	(MH)	(MS)		
สูง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ใช้เวลานาน	(6, 7, 8)	7
(MA)	(MH)	(S)	(MH)	(H)	(ML)		
สูงมาก	สูง	น้อยมาก	สูง	สูงมาก	ใช้เวลานาน	(7, 8, 9)	8
(E)	(H)	(VS)	(HC)	(VH)	(LT)		
(E)	(H)	(VS)	(HC)	(VH)	(LT)		
อันตรายที่มี การเตือน	สูง มาก	เป็นไป ไม่ได้	สูง มาก	สูง มากที่สุด	ใช้เวลา นานมาก	(8, 9, 10)	9
(SE)	(VH)	(R)	(VH)	(EH)	(VL)		
(SE)	(VH)	(R)	(VH)	(EH)	(VL)		
อันตรายที่ไม่ มีการเตือน	เกือบ แน่แน่นอน	เกือบ เป็นไปไม่ได้	ค่าใช้จ่าย สูงมาก	เกือบ เป็นไปไม่ได้	แทบจะ แก้ไม่ได้	(9, 10, 10)	10
(H)	(AC)	(AI)	(EC)	(AI)	(AU)		
(H)	(AC)	(AI)	(EC)	(AI)	(AU)		



2.2.3 ระยะเวลาที่ 3 (Phase III) คำนวณน้ำหนักอัตรวิสัยของเกณฑ์ความเสี่ยง

Step 1 ในการคำนวณน้ำหนักอัตรวิสัยของเกณฑ์ความเสี่ยงจะเป็นการประยุกต์ใช้วิธี Fuzzy กับวิธี AHP โดยจะใช้รูปแบบการแยกปัญหาด้วยโครงสร้างลำดับชั้นในการตัดสินใจ โดยวิธีการใช้ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Numbers: TFN) ในวิธี Fuzzy AHP [18] สำหรับการเปรียบเทียบเชิงคู่และการวิเคราะห์ขอบเขตสำหรับค่าขอบเขตสังเคราะห์ฟัซซี่ของการเปรียบเทียบเชิงคู่ การประเมินค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบปัจจัยเสี่ยง ด้วยวิธี Fuzzy AHP โดยมีเกณฑ์ตัดสินใจภายใต้กรอบวิธีของ FMEA คือ S, O, D, C, F, T โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินตามเกณฑ์การวัดน้ำหนัก อัตรวิสัยของเกณฑ์ความเสี่ยงดังตารางที่ 2.4

Step 2 การแทนค่าด้วยตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Numbers: TFNs) นำด้วยอรรถะดับความสำคัญ ในตารางที่ 2.4 มาแทนค่าแบบ AHP จากการประเมินคะแนนการเปรียบเทียบระดับความสำคัญ

Step 3 การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบกำหนดให้ $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ เป็นเกณฑ์ที่กำหนดและ $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ เป็นตัวกำหนดวัตถุประสงค์ในวิธีนี้ คือดำเนินการและวิเคราะห์ขอบเขตสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นค่า m ขอบเขต สำหรับในแต่ละทางเลือกสามารถกำหนดได้เป็น $M_{gi}^1, M_{gi}^2, M_{gi}^m$ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ เมื่อ M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) เป็นตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม (TFNs) โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ [19]

1. การคำนวณค่าขอบเขตสังเคราะห์ฟัซซี่สำหรับวัตถุ i จากสมการที่ (1)-(4)

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

โดย

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left[\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right]^{-1} \quad (2)$$

และ

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (3)$$

เมื่อ

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (4)$$

2. การคำนวณหาระดับความเป็นไปได้ของ $S_i \geq S_j$ เมื่อ $S_i = (l_i, m_i, u_i)$, $S_j = (l_j, m_j, u_j)$ จากสมการที่ (5)

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

3. การคำนวณหาระดับของความเป็นไปได้ของ $S_i \geq S_j$ เมื่อ $i \neq j$ จากสมการที่ (6)

$$\left(S_i \geq S_j \mid j = 1, 2, \dots, m; i \neq j \right) \quad (6)$$

4. การคำนวณหาเวกเตอร์ความสำคัญจากสมการที่ (7) จากนั้นจะได้เวกเตอร์ความสำคัญ W' ของเมทริกซ์ตั้งสมการที่ (8)

$$W'_i = \min V \left(S_i \geq S_j \mid j = 1, 2, \dots, m; i \neq j \right) \quad (7)$$

$$W' = (W'_1, W'_2, \dots, W'_n)^T \quad (8)$$

จากนั้น ทำการ Normalization ด้วยสมการที่(9) จะได้เวกเตอร์ความสำคัญใหม่ดังสมการที่ (10)

$$W_i = \frac{W'_i}{\sum_{i=1}^n W'_i} \quad (9)$$

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T \quad (10)$$

โดยที่ W_1, W_2, \dots, W_n คือน้ำหนักความสำคัญเปรียบเทียบที่ต้องการ

2.2.4 ระยะเวลาที่ 4 (Phase IV) คำนวณน้ำหนักภววิสัยของเกณฑ์ความเสี่ยงด้วยวิธี Entropy วิธีหาน้ำหนักของ Entropy ถูกนำมาใช้ครั้งแรกกับ Thermodynamics จนไปถึงระบบสารสนเทศ [20] งานวิจัยนี้จะใช้เพื่อหาน้ำหนักของเกณฑ์ โดยมีเกณฑ์ตัดสินใจภายใต้กรอบวิธีของ FMEA คือ S, O, D, C, F, T และมีทางเลือกเป็นความเสี่ยงโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก (FMs) โดยใช้เกณฑ์ประเมิน FMs ดังตารางที่ 2.5 มีวิธีดังนี้ [20]

1. ปรับเมทริกซ์การตัดสินใจให้เป็นมาตรฐานดังสมการที่ (11)
2. คำนวณ Entropy ในแต่ละคอลัมน์ดังสมการที่ (12)
3. คำนวณเวกเตอร์ Normalized Weight ดังสมการที่ (13)

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (11)$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot \ln P_{ij}}{\ln n} \quad (12)$$

$$W_i = \frac{1 - E_i}{\sum_{i=1}^m (1 - E_i)} \quad (13)$$

2.2.5 ระยะเวลาที่ 5 (Phase V)

คำนวณน้ำหนักรวมระหว่างน้ำหนักอัตวิสัยและน้ำหนักภววิสัย ดังสมการที่ (14)

$$W_{combine} = aW_{sub} + (1 - a)W_{obj} \quad (14)$$

2.2.6 ระยะเวลาที่ 6 (Phase VI) จัดลำดับความสำคัญของความเสี่ยง ในส่วนนี้จะเป็นการจัดลำดับความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยจะใช้วิธี Fuzzy Codas วิธีนี้เป็นแนวคิดที่แนะนำโดย Keshavarz Ghorabae ซึ่งเป็นวิธีการประเมินระยะทางแบบผสมผสาน เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหา MCDM ที่มีประสิทธิภาพการจัดการความคลุมเครือและความไม่แน่นอนในการตัดสินใจเลือก จะใช้ตัวแปรทางภาษาและตัวเลขฟัซซีมาใช้ในวิธี Fuzzy Codas โดยมีขั้นตอนดังนี้ [21]

1. สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจที่คลุมเครือเป็น \tilde{X}_I ของผู้มีอำนาจในการตัดสินใจแต่ละคน และการคำนวณเมทริกซ์การตัดสินใจคลุมเครือเฉลี่ย \tilde{X} ดังสมการที่ (15)-(17)

$$\tilde{X}_I = \left[\tilde{x}_{ijl} \right]_{n \times m} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11l} & \tilde{x}_{12l} & \dots & \tilde{x}_{1ml} \\ \tilde{x}_{21l} & \tilde{x}_{22l} & \dots & \tilde{x}_{2ml} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1l} & \tilde{x}_{n2l} & \dots & \tilde{x}_{nml} \end{bmatrix}; \quad (15)$$

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix}; \quad (16)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \oplus_{l=1}^q \tilde{x}_{ijl}, \quad (17)$$

โดยที่ x_{ij} คือค่าประสิทธิภาพที่คลุมเครือของ ith $i \in 1, 2, \dots, n$ ทางเลือกตามเกณฑ์ jth $j \in 1, 2, \dots, m$ และ ith $l \in 1, 2, \dots, q$ และ \tilde{x}_{ij} แสดงค่าประสิทธิภาพคลุมเครือเฉลี่ยของเกณฑ์ทางเลือก ith เทียบกับ jth

2. หาน้ำหนักคลุมเครือของแต่ละเกณฑ์จากผู้มีอำนาจในการตัดสินใจแต่ละราย และคำนวณหาน้ำหนักคลุมเครือเฉลี่ยดังสมการที่ (18)-(20)

$$\tilde{W}_1 = [\tilde{w}_{jl}]_{1 \times m}; \quad (18)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_j]_{1 \times m}; \quad (19)$$

$$\tilde{w}_j = \oplus_{l=1}^q \tilde{w}_{jl}, \quad (20)$$

โดยที่ \tilde{w}_{jl} หมายถึงน้ำหนักคลุมเครือของเกณฑ์ jth $j \in 1, 2, \dots, m$ เทียบกับ ith $l \in 1, 2, \dots, q$ ผู้มีอำนาจตัดสินใจ และ \tilde{w}_j แสดงน้ำหนักคลุมเครือเฉลี่ยของเกณฑ์ jth

3. กำหนดเมตริกซ์การตัดสินใจที่ทำให้เป็นมาตรฐานแบบคลุมเครือตามแต่ละเกณฑ์โดยใช้สมการ ดังสมการที่ (21)-(22)

$$\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{n \times m}; \quad (21)$$

$$\tilde{n}_{ij} = f \cdot x = \begin{cases} \tilde{x}_{ij} / \max_i \mathfrak{S}(\tilde{x}_{ij}), & \text{if } j \notin B \\ \min_i / \tilde{x}_{ij} \cdot \mathfrak{S}(\tilde{x}_{ij}), & \text{if } j \notin C \end{cases} \quad (22)$$

โดยที่ B และ C แสดงถึงชุดของเกณฑ์ Benefit และ Cost ตามลำดับ และ \tilde{n}_{ij} หมายถึงค่าประสิทธิภาพฟัซซี่ที่ทำให้เป็นมาตรฐาน

4. คำนวณเมตริกซ์การตัดสินใจปกติถ่วงน้ำหนัก แบบคลุมเครือ ค่าประสิทธิภาพการทำให้เป็นมาตรฐานถ่วงน้ำหนักแบบคลุมเครือ \tilde{r}_{ij} คำนวณได้จากสมการ ดังสมการที่ (23)-(24)

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{n \times m}; \quad (23)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \tilde{w}_j \otimes \tilde{n}_{ij}, \quad (24)$$

โดยที่ \tilde{w}_j หมายถึงน้ำหนักคลุมเครือของเกณฑ์ jth

$$\text{และ } 0 < \mathfrak{S}(\tilde{w}_j) < 11$$

5. กำหนดวิธีแก้ปัญหาเชิงลบในอุดมคติแบบคลุมเครือ ดังสมการที่ (25)-(26)

$$NS = [ns_j]_{1 \times m}; \quad (25)$$

$$ns_j = \min_i \tilde{r}_{ij}, \quad (26)$$

$$\text{โดยที่ } \min_i \tilde{r}_{ij} = \left\{ \tilde{r}_{kj} \mid \mathfrak{S}(\tilde{r}_{kj}) = \min_i \left(\mathfrak{S}(\tilde{r}_{ij}) \right), k \in 1, 2, \dots, n \right\}$$

6. คำนวณ Euclidean (E_i) และ Taxicab (T_i) ระยะทางของทางเลือกวิธีอื่นจากวิธีแก้ปัญหาเชิงลบในอุดมคติแบบคลุมเครือ ดังสมการที่ (27)-(28)

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (27)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (28)$$

7. กำหนดเมทริกซ์การประเมินสัมพัทธ์ (RA)

ตั้งสมการที่ (29)-(30)

$$RA = [h_{ik}]_{n \times n}; \quad (29)$$

$$h_{ik} = E_i - E_k + t E_i - E_k \times T_i - T_k \quad (30)$$

โดยที่ $k \in 1, 2, \dots, n$ และ t คือ ฟังก์ชันขีดจำกัดที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

$$t x = \begin{cases} 1 & \text{if } |x| \geq \theta \\ 0 & \text{if } |x| < \theta \end{cases}$$

พารามิเตอร์ขีดจำกัด (q) ของฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดได้โดยผู้ที่มีอำนาจตัดสินใจ

8. คำนวณคะแนนการประเมิน (AS_i) ของแต่ละทางเลือก ตั้งสมการที่ (31)

$$AS_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (31)$$

9. จัดอันดับทางเลือกตามค่าที่ลดลงของ AS_i โดยทางเลือกที่มีคะแนนประเมินสูงสุดคือความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบที่สุดกับโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติก

3. ผลการวิจัย/ทดลองและการอภิปรายผล

3.1 ความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงอัตวิสัย

3.1.1 ผู้เชี่ยวชาญระดับผู้บริหารในอุตสาหกรรมพลาสติกจำนวน 7 คน (Focus Group) ดังตารางที่ 2.1 ได้ระดมความคิดและทำการประเมินความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงตามการเปรียบเทียบเชิงคู่ด้วยแบบสอบถามตามเกณฑ์คะแนน ดังตารางที่ 2.4 และผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบเชิงคู่เกณฑ์ความเสี่ยงตามเกณฑ์คะแนน

	S	O	D	C	F	T
S		MI	VS	MI	ME	ME
O	-		MS	VS	MS	SI
D	-	-		VS	ME	MI
C	-	-	-		ME	SI
F	-	-	-	-		MI
T	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ ความหมายของเกณฑ์คะแนนสามารถดูได้ดังตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเช่น เกณฑ์ S มีความสำคัญปานกลาง (MI) ต่อเกณฑ์ O และมีความสำคัญมากกว่า (VS) เกณฑ์ D

3.1.2 การคำนวณค่าขอบเขตสังเคราะห์ฟัชซี ตั้งสมการที่ (1)-(4) ได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการคำนวณขอบเขตสังเคราะห์ฟัชซีของเกณฑ์ความเสี่ยง S ดังนี้

$$S_i = 10, 18, 26 \otimes \left[\frac{1}{101.260}, \frac{1}{69.640}, \frac{1}{42.064} \right] = 0.099, 0.258, 0.618$$

ตารางที่ 3.2 ผลลัพธ์ขอบเขตสังเคราะห์ฟัชซี

	l	m	u
S	0.099	0.258	0.618
O	0.130	0.306	0.713
D	0.082	0.192	0.445
C	0.054	0.124	0.295
F	0.031	0.083	0.226
T	0.020	0.037	0.111

หมายเหตุ ค่า l คือ ค่าล่างของขอบเขต ค่า m คือค่ากลางของขอบเขต และค่า u คือค่าบนของขอบเขต



3.1.3 การคำนวณหาระดับความเป็นไปได้ของ $S_i \geq S_j$ ดังสมการที่ (5) ได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณความเป็นไปได้ของ $S_i \geq S_j$ เมื่อ

$$V(S > O) = \frac{(0.130 - 0.618)}{(0.258 - 0.618) - (0.306 - 0.130)} = 0.911$$

ตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์ความเป็นไปได้ของ $S_i \geq S_j$

V(S>O, D, C, F, T)				
V(S>O)	V(S>D)	V(S>C)	V(S>F)	V(S>T)
0.911	1.000	1.000	1.000	1.000
V(O>S, D, C, F, T)				
V(O>S)	V(O>D)	V(O>C)	V(O>F)	V(O>T)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
⋮				
V(T>S, O, D, C, F)				
V(T>S)	V(T>O)	V(T>D)	V(T>C)	V(T>F)
0.051	0.000	0.158	0.397	0.635

3.1.4 หาเวกเตอร์ความสำคัญและ Normalization ดังสมการที่ (9) จะได้น้ำหนักของเกณฑ์ความเสี่ยง ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงอัตวิสัย

เกณฑ์ความเสี่ยง	น้ำหนัก (W_{sub})
S	0.266
O	0.293
D	0.215
C	0.139
F	0.088
T	0.000

ในการวิเคราะห์น้ำหนักของเกณฑ์ความเสี่ยงด้วยวิธี Fuzzy AHP จากการประเมินตามเกณฑ์น้ำหนักอัตวิสัย ดังตารางที่ 2.4 พบว่าโอกาสในการเกิด (O) มีความสำคัญมากที่สุด $W_{sub} = 0.293$

3.2 ความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงภาวิสัย

3.2.1 ผู้เชี่ยวชาญบริษัทกรณีศึกษาจำนวน 5 คน/บริษัท (Focus Group) ดังตารางที่ 2.2 ได้ระดมความคิดและทำการประเมินแบบสอบถามตามเกณฑ์การประเมิน ดังตารางที่ 2.5 ได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลลัพธ์การประเมินน้ำหนักภาวิสัย

	S	O	D	C	F	T
FM1	SE	S	AC	VM	M	LT
FM2	M	M	H	MC	MH	M
FM3	SE	RS	H	VH	VH	LT
FM4	SE	VS	H	VH	VH	LT
FM5	M	VS	MH	ML	H	ST
FM6	SE	MH	H	MH	H	MS
FM7	MO	RS	H	MH	MH	ML
FM8	SE	H	H	VH	H	ML
FM9	SE	MH	MH	MH	VH	LT
FM10	MO	MH	M	MC	M	M
FM11	M	M	M	ML	M	M

หมายเหตุ ความหมายของเกณฑ์คะแนนสามารถดูได้ดังตารางที่ 2.5 ตัวอย่างเช่น ความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อม (FM1) มีความรุนแรง (S) ระดับอันตรายที่มีการเตือน (SE) มีโอกาสในการเกิด (O) ระดับน้อย (S) และความเสียหายของต้นทุน (C) อยู่ในระดับน้อยมาก (VM)



3.2.2 ปรับเมทริกซ์การตัดสินใจให้เป็นมาตรฐาน ดังสมการที่ (11) จะได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลลัพธ์เมทริกซ์ที่เป็นมาตรฐาน

	S	O	D	C	F	T
FM1	0.118	0.074	0.027	0.029	0.069	0.114
FM2	0.053	0.111	0.081	0.044	0.083	0.071
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
FM11	0.053	0.111	0.135	0.088	0.069	0.071

3.2.3 ทำการคำนวณ Entropy และ Normalized Weight ดังสมการที่ (12)-(13) จะได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 3.7 ตัวอย่างการคำนวณ Entropy ของเกณฑ์ความเสี่ยง S และ Normalized Weight ดังนี้

$$E_i = \frac{(0.118 \times \ln(0.118) + 0.053 \times \ln(0.053) + \dots + 0.053 \times \ln(0.053))}{\ln 11}$$

$$= 0.97539$$

$$W_i = \frac{1 - 0.97539}{0.14423} = 0.171$$

ในการวิเคราะห์น้ำหนักการประเมินเกณฑ์ความเสี่ยง (FMs) ด้วยวิธี Entropy ที่ประเมินตามเกณฑ์วัดน้ำหนักภววิสัย ดังตารางที่ 2.5 พบว่าโอกาสในการเกิด (O) มีความสำคัญมากที่สุด $W_{obj} = 0.274$

ตารางที่ 3.7 น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงภววิสัย

เกณฑ์ความเสี่ยง	น้ำหนัก (W_{obj})
S	0.171
O	0.274
D	0.162
C	0.247
F	0.046
T	0.100

3.3 น้ำหนักรวมระหว่างน้ำหนักอติวิสัยและน้ำหนักภววิสัย

3.3.1 จากการวิเคราะห์น้ำหนักของเกณฑ์ความเสี่ยงระหว่างน้ำหนักอติวิสัย ดังตารางที่ 3.4 และน้ำหนักภววิสัย ดังตารางที่ 3.7 จะทำการรวมน้ำหนักของเกณฑ์ความเสี่ยง จากสมการที่ (14) จะได้น้ำหนักรวมของเกณฑ์ความเสี่ยง ดังตารางที่ 3.8 ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักรวมของเกณฑ์ความเสี่ยงของเกณฑ์ความเสี่ยง S ดังนี้

$$W_{combine} = (0.5)0.266 + (1 - 0.5)0.171 = 0.219$$

ตารางที่ 3.8 น้ำหนักรวมของเกณฑ์ความเสี่ยงระหว่างน้ำหนักอติวิสัย และน้ำหนักภววิสัย

เกณฑ์ความเสี่ยง	น้ำหนัก ($W_{combine}$)
S	0.219
O	0.283
D	0.189
C	0.193
F	0.067
T	0.050

3.4 ลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

เมื่อวิเคราะห์น้ำหนักของเกณฑ์ระหว่าง น้ำหนักอติวิสัย และน้ำหนักภววิสัย ด้วยวิธี Fuzzy AHP และ Entropy แล้ว จะทำการวิเคราะห์หาลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงด้วยวิธี Fuzzy Codas

3.4.1 กำหนดเมทริกซ์การตัดสินใจที่ทำให้เป็นมาตรฐานแบบคลุมเครือตามแต่ละเกณฑ์โดยใช้สมการที่ (21)-(22) ได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 3.9



ตารางที่ 3.9 ผลลัพธ์การตัดสินใจแบบมาตรฐาน

	S	O	D	C	F	T
FM1	0.444	0.500	0.200	1.000	1.000	0.375
FM2	1.000	0.333	0.600	0.667	0.833	0.600
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
FM11	1.000	0.333	1.000	0.333	1.000	0.600

3.4.2 จำนวนเมตริกซ์การตัดสินใจปกติถ่วงน้ำหนัก ดังสมการที่ (23)-(24) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.10 ตัวอย่างการคำนวณเมตริกซ์การตัดสินใจปกติถ่วงน้ำหนัก ดังนี้ $\tilde{r}_{ij} = 0.219 \times 0.444 = 0.097$

3.4.3 จำนวน Euclidean (E_i) และ Taxicab (T_i) ระยะทางของทางเลือกวิธีอื่นจากวิธีแก้ปัญหาเชิงลบในอุดมคติแบบคลุมเครือ ดังสมการที่ (27)-(28) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.11 ตัวอย่างการคำนวณ Euclidean (E_i) และ Taxicab (T_i) ดังนี้

$$E_i = \sqrt{(0.097 - 0.097)^2 + (0.142 - 0.071)^2 + \dots + (0.019 - 0.091)^2} = 0.168$$

$$T_i = |0.097 - 0.097| + |0.142 - 0.071| + \dots + |0.019 - 0.019| = 0.246$$

3.4.4 กำหนดเมตริกซ์การประเมินสัมพัทธ์ (RA) ดังสมการที่ (29)-(30) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.12 ตัวอย่างการคำนวณการประเมินสัมพัทธ์ (RA) FM1 เทียบ FM1 และ FM1 เทียบ FM2 ตามลำดับ ดังนี้

$$h_{ik} = 0.168 - 0.168 + 0.02 \cdot 0.168 - 0.168 \times 0.246 - 0.246 = 0.000$$

$$h_{ik} = 0.168 - 0.169 + 0.02 \cdot 0.168 - 0.169 \times 0.246 - 0.331 = -0.002$$

ตารางที่ 3.10 ผลลัพธ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก

	S	O	D	C	F	T
FM1	0.097	0.142	0.038	0.193	0.067	0.019
FM2	0.219	0.094	0.113	0.128	0.056	0.030
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
FM11	0.219	0.094	0.189	0.064	0.067	0.030

ตารางที่ 3.11 ผลลัพธ์ของ (E_i) และ (T_i)

	E_i	T_i
FM1	0.168	0.246
FM2	0.169	0.331
⋮	⋮	⋮
FM11	0.198	0.354

ตารางที่ 3.12 เมตริกซ์การประเมินสัมพัทธ์

	FM1	FM2	...	FM11
FM1	0.000	-0.002	...	-0.030
FM2	0.002	0.000	...	-0.029
FM3	0.058	0.056	...	0.027
FM4	-0.027	-0.029	...	-0.058
FM5	0.040	0.038	...	0.009
FM6	-0.087	-0.088	...	-0.117
FM7	0.072	0.070	...	0.041
FM8	-0.092	-0.093	...	-0.122
FM9	-0.053	-0.055	...	-0.084
FM10	0.025	0.023	...	-0.006
FM11	0.031	0.029	...	0.000



3.4.5 คำนวณคะแนนการประเมิน (AS_i) ของแต่ละทางเลือก ดังสมการที่ (31) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.13 ตัวอย่างการคำนวณคะแนนการประเมินของ FM1 ดังนี้

$$AS_i = (0.000) + (-0.002) + (-0.058) + \dots + (-0.030) = 0.035$$

สามารถจัดอันดับความเสี่ยง FMs ตามคะแนนประเมิน AS_i โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังตารางที่ 3.13 อันดับความเสี่ยงสามารถกำหนดได้ดังนี้ $FM7 > FM3 > FM5 > FM11 > FM10 > FM2 > FM1 > FM4 > FM9 > FM6 > FM8$ จากการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของความเสี่ยง พบว่าความเสี่ยงด้านสินค้าคงคลัง (FM7) มีความสำคัญมากที่สุด

ตารางที่ 3.13 ลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง

ปัจจัยเสี่ยง	AS_i	ลำดับ
ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม FM1	0.035	7
ความเสี่ยงด้านปริมาณและความต้องการ FM2	0.053	6
ความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี FM3	0.673	2
ความเสี่ยงด้านการจัดการ ข้อมูล FM4	-0.267	8
ความเสี่ยงของความสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย FM5	0.473	3
ความเสี่ยงด้านการขนส่ง FM6	-0.921	10
ความเสี่ยงด้านสินค้าคงคลัง FM7	0.826	1
ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ FM8	-0.972	11
ความเสี่ยงด้านชีวอนามัยและความปลอดภัย FM9	-0.551	9
ความเสี่ยงด้านความรู้และประสบการณ์ FM10	0.307	5
ความเสี่ยงด้านซัพพลายเออร์ FM11	0.372	4

3.4.6 การคำนวณ FMEA แบบดั้งเดิม ด้วยการหาค่า RPN โดยนำค่า $S \cdot O \cdot D$ และเกณฑ์เพิ่มเติมคือ $C \cdot F \cdot T$ นำมาคูณรวมกันทั้ง 6 เกณฑ์ จากคะแนนการประเมินตารางที่ 3.5 เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณด้วยวิธี MCDM ในการลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงด้วย FMEA แบบดั้งเดิม เทียบกับลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงด้วยวิธี MCDM

ปัจจัยเสี่ยง	RPN	ลำดับ FMEA ดั้งเดิม	ลำดับวิธี MCDM
FM1	2880	11	7
FM2	6480	8	6
FM3	31104	5	2
FM4	46656	3	8
FM5	6048	9	3
FM6	55566	2	10
FM7	8820	7	1
FM8	35721	4	11
FM9	64512	1	9
FM10	6000	10	5
FM11	14400	6	4

สามารถจัดอันดับความเสี่ยง FMs ตามค่า RPN ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี FMEA แบบดั้งเดิม โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังตารางที่ 3.14 และการจัดอันดับความเสี่ยงสามารถกำหนดได้ดังนี้ $FM9 > FM6 > FM4 > FM8 > FM3 > FM11 > FM7 > FM2 > FM5 > FM10 > FM1$ พบว่า ความเสี่ยงด้านชีวอนามัยและความปลอดภัย (FM9) มีความสำคัญมากที่สุด แต่เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธี FMEA แบบดั้งเดิมไม่มี การคำนวณด้วยวิธีและตรรกะทางคณิตศาสตร์ที่



ซับซ้อน ซึ่งเป็นการคูณกันระหว่างเกณฑ์ความเสี่ยง ทั้ง 6 เกณฑ์ S*O*D*C*F*T เท่านั้น อาจมีความคลาดเคลื่อนและได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำน้อยกว่าการคำนวณและลำดับความเสี่ยงด้วยวิธี MCDM ที่ได้เสนอในบทความวิจัยนี้

4. บทสรุป

งานวิจัยได้มีการระบุปัจจัยเสี่ยงออกมาเป็น 11 ความเสี่ยง (FM1)-(FM11) จากการวิเคราะห์ความเสี่ยง พบว่าความเสี่ยงด้านสินค้าคงคลัง (FM7) มีความสำคัญมากที่สุด อันดับสองคือความเสี่ยงด้านเทคโนโลยี (FM3) และอันดับสามคือความเสี่ยงของความสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (FM5) แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงทั้ง 3 อันดับแรกมีความสำคัญมากที่สุดตามลำดับ ที่จะต้องมีการวางแผนและมีกลยุทธ์เพื่อรับมือ รวมถึงจัดการกับความเสี่ยงทั้ง 3 ความเสี่ยงนี้เป็นอันดับต้นๆ ก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อระบบโรงงาน เสียเปรียบด้านการแข่งขันทางการค้า การดำเนินการเกิดความผิดพลาด และอาจส่งผลกระทบต่อความไม่พอใจของลูกค้า เหมือนกับงานวิจัยของ Sumrit และ Srisawad [16] ที่เสนอและจัดลำดับความสำคัญของความเสี่ยงในอุตสาหกรรมปลาทุ่นากระป๋องภายใต้วิธี FMEA แบบใหม่ด้วยการใช้เครื่องมือ MCDM ในการคำนวณ การศึกษานี้พบว่าความเสี่ยงที่มีสำคัญที่สุด 3 ประการแรกคือ ความเสี่ยงของการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ ความเสี่ยงความผันผวนของวัตถุดิบที่จัดหา และความเสี่ยงของความปลอดภัยของกระบวนการผลิต ตามลำดับ

ประโยชน์ของงานวิจัยในเชิงวิชาการมีดังนี้ ประการแรกงานวิจัยนี้ได้นำเกณฑ์ความเสี่ยงนอกเหนือจากเกณฑ์ความเสี่ยง FMEA แบบดั้งเดิม (S, O, D) มีการเพิ่มเกณฑ์ความเสี่ยงเพิ่มเติม 3 เกณฑ์ ได้แก่ ต้นทุน (C) ระดับความยากง่ายในการแก้ไขความเสี่ยง (F) และเวลาในการแก้ไขความเสี่ยง (T) ถูกรวมอยู่ในการประเมินความเสี่ยง เกณฑ์ที่ถูกเพิ่มเติมเหล่านี้สามารถช่วยระบุลักษณะความเสี่ยงของโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลาสติกให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ประการที่ 2 มีการพิจารณาเกณฑ์ความเสี่ยงของ FMEA (S, O, D, C, F, T) ร่วมกับการพิจารณาความเสี่ยง (FMs) สิ่งเหล่านี้ช่วยให้ให้นักวิชาการและผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่าง เกณฑ์ความเสี่ยงของ FMEA (S, O, D, C, F, T) และความเสี่ยง (FMs) ซึ่งนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงอย่างมีเหตุผลได้ดีมากยิ่งขึ้น ประการที่ 3 การคำนวณน้ำหนักระหว่างน้ำหนักอัตรวิสัย และน้ำหนักกาววิสัยถูกรวมเข้าด้วยกันส่งผลให้มีความแม่นยำในการคำนวณ น้ำหนักที่ขึ้น ประการสุดท้าย งานวิจัยนี้ใช้อุตสาหกรรมพลาสติกรีไซเคิลในประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา ที่สามารถเป็นตัวแทนให้กับประเทศอื่นๆ ที่กำลังพัฒนาได้ ประโยชน์ของงานวิจัยในเชิงการปฏิบัติงาน งานวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงความสำคัญของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในบริบทของการรีไซเคิลพลาสติกว่าความเสี่ยงไหนมีความสำคัญมากที่สุดที่จะต้องวางแผนรับมือ และมีแผนด้านกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับความเสี่ยงนั้นๆ เพื่อลดผลกระทบและความรุนแรงที่อาจจะเกิดขึ้น ก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อความเสียหาย และนำไปสู่การหยุดชะงักต่อการปฏิบัติงาน การจัดลำดับ



ความเสี่ยงจึงมีความสำคัญ และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ แนวทางของงานวิจัยนี้อาจเป็นทางเลือกให้กับนักวิจัยในอนาคต เพื่อการประเมินความเสี่ยงและเก็บข้อมูลในบริบทอื่น ๆ เพื่อลำดับความสำคัญของความเสี่ยง เนื่องจากในทุกบริบทมีความเสี่ยงที่แตกต่างกันออกไป และความเสี่ยงที่แตกต่างกันนี้ ก็ยังมีกลยุทธ์ และการบรรเทาความเสี่ยงที่แตกต่างกันออกไปด้วยเช่นกัน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Tesfaye and D. Kitaw, Conceptualizing revers logistics to plastics recycling system, *Social Responsibility Journal*, 2020, 17(5), 686-702.
- [2] E. Macarthur, Delivering the circular economy: A toolkit for policymakers, Ellen MacArthur Foundation Publishing, Isle of Wight, UK, 2015.
- [3] H. Panjehfouladgaran and S.F.W. Lim, Reverse logistics risk management: identification, clustering and risk mitigation strategies, *Management Decision*, 2020, 58(7), 1449-1474.
- [4] K.T. Atanassov, Circular intuitionistic fuzzy sets, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2020, 39(5), 5981-5986.
- [5] Y. Wu, Z. Deng, Y. Tao, L. Wang, F. Liu, and J. Zhou, Site selection decision framework for photovoltaic hydrogen production project using BWM-CRITICMABAC: A case study in Zhangjiakou, *Journal of Cleaner Production*, 2021, 324, 129233.
- [6] H.W. Lo, J.J. Liou, C.N. Huang and Y.C. Chuang, A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 2019, 183, 173-183.
- [7] C. Jin, Y. Ran and G. Zhang, Interval-valued q-rung orthopair fuzzy FMEA application to improve risk evaluation process of tool changing manipulator, *Applied Soft Computing*, 2021, 104, 107192.
- [8] L. Ouyang, W. Zheng, Y. Zhu and X. Zhou, An interval probability-based FMEA model for risk assessment: a real-world case, *Quality and Reliability Engineering International*, 2020, 36(1), 125-143.
- [9] R. Jaidee, D. Sumrit and A. Vanichchinchai, Identifying sustainable roll-on/roll-off seaport assessment criteria using the fuzzy delphi method: A case study of thailand, 10th International Conference on Traffic and Logistic Engineering (ICTLE), Proceeding, 2022, 101-106.



- [10] S. Senthil, K. Murugananthan and A. Ramesh, Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision-making methods, *Journal of Cleaner Production*, 2018, 179, 716-730.
- [11] M. Abdel-Basset, M. Gunasekaran, M. Mohamed and N. Chilamkurti, A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain, *Future Generation Computer Systems*, 2019, 90(1), 489-502.
- [12] H. Rogers, M. Srivastava, K.S. Pawar and J. Shah, Supply chain risk management in India—practical insights, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2016, 19(4), 278-299.
- [13] T. Noguchi, W.J. Park and R. Kitagaki, Risk evaluation for recycled aggregate according to deleterious impurity content considering deconstruction scenarios and production methods, *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, 104, 405-416.
- [14] F. Badurdeen, M. Shuaib, K. Wijekoon, A. Brown, W. Faulkner, J. Amundson, I.S. Jawahir, T.J. Goldsby, D. Iyengar and B. Boden, Quantitative modeling and analysis of supply chain risks using Bayesian theory, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2014, 25(5), 631-654.
- [15] H.O. Addo, E.J. Dun-Dery, E. Afoakwa, A. Elizabeth, A. Ellen and M. Rebecca, Correlates of domestic waste management and related health outcomes in Sunyani, Ghana: A protocol towards enhancing policy, *BMC Public Health*, 2017, 17, 1-10.
- [16] P.V. Patil and R. Kamble, Occupational health hazards in municipal solid waste collecting workers of Chandrapur city, Central India, *International Journal of Environment*, 2017, 6(1), 46-57.
- [17] D. Sumrit and S. Srisawad, Fuzzy failure mode and effect analysis model for operational supply chain risks assessment: An application in canned tuna manufacturer in Thailand, *LogForum*, 2022, 18(1), 77-96
- [18] M. Subramani and V.B. Kumaravelu, A fuzzy based vertical handover network selection scheme, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2020, 17(1), 324-330.



- [19] B. Karatop, B. Taskin, E. Adar and C. Kubat, Decision analysis related to the renewable energy investments in Turkey based on a Fuzzy AHP- EDAS-Fuzzy FMEA approach, *Computers and Industrial Engineering*, 2021, 151, 106958.
- [20] S.K. Saraswat and A.K. Digalwar, Evaluation of energy alternatives for sustainable development of energy sector in India: An integrated Shannon's entropy fuzzy multi-criteria decision approach, *Renewable Energy*, 2021, 171, 58-74.
- [21] J.L. Aro, E. Selerio Jr, S.S. Evangelista, F. Maturan, N.M. Atibing and L. Ocampo, Fermatean fuzzy CRITIC-CODAS-SORT for characterizing the challenges of circular public sector supply chains, *Operations Research Perspectives*, 2022, 9, 100246.