

**การระบุและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)
และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) จากเครื่องยนต์เรือ ในมุมมองภาครัฐสำหรับอุตสาหกรรม
การขนส่งทางทะเลของไทย: แนวทางการจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ**

สหชัย แสงเรือง¹, เดชรัตน์ สัมฤทธิ์^{2,*}
^{1,2}กลุ่มสาขาวิชาโลจิสติกส์และระบบขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Received: 24 January 2022
Revised: 14 November 2022
Accepted: 14 November 2022

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อระบุและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อผลการลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) จากเครื่องยนต์เรือ ในมุมมองของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเดินเรือไทย การศึกษานี้เลือกใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง เพื่อยืนยันความถูกต้องและเพิ่มเติมประเด็นอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จากการทบทวนวรรณกรรม ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ในด้านอุตสาหกรรมเดินเรือไทย มลพิษทางอากาศ และวิศวกรรมทางทะเล จากองค์กรภาครัฐที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 หน่วยงาน เพื่อระบุอุปสรรคที่เกิดขึ้นในบริบทของประเทศไทย และประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) เพื่อสร้างความเข้าใจความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันตามลำดับความสำคัญของอุปสรรค และนำผลลัพธ์ของเทคนิค ISM ไปใช้ในการจัดหมวดหมู่ของอุปสรรคโดยเทคนิค Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC) ผลการวิจัย พบว่า อุปสรรคที่สำคัญที่สุดของกลไกในการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์นั้น คือ การมีต้นทุนที่สูงด้านเทคโนโลยีและการดำเนินการลดก๊าซ NO_x และ SO_x และการขาดความตระหนักด้านการปฏิบัติตามกฎระเบียบของภาครัฐ โดยการศึกษาครั้งนี้สามารถเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการเดินเรือไทยและผู้กำหนดนโยบายในการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศในทะเล

คำสำคัญ: อุปสรรค แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ การจัดหมวดหมู่ของอุปสรรค มลพิษทางอากาศในทะเล

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: dettoy999@gmail.com

Identifying and Ranking the Obstacles of Nitrogen Oxides (NO_x) and Sulphur Oxides (SO_x) Emission Reductions from Marine Engines in Government Agencies' Perspectives on Thai Maritime Transportation Industry: Using Interpretive Structural Modeling Approach

Sahachai Sangruang¹, Detcharat Sumrit^{2,*}

^{1,2}The Cluster of Logistics and Rail Engineering,
Faculty of Engineering, Mahidol University

Received: 24 January 2022

Revised: 14 November 2022

Accepted: 14 November 2022

Abstract

The objective of this research was to identify and rank the barriers of reduction of nitrogen oxides (NO_x) and sulfur oxides (SO_x) emissions from marine engines in perspectives of government agencies which relevant to Thai maritime transportation industry. This study chose semi-structured interview to confirm the validity and added more related issues from the literature review. Purposive Sampling was a technique used for selecting samples with the criterions of knowledge, expertise, and experience in maritime transportation industry, air pollution and marine engineering. The samplings were experts selected from three government organizations which relevant to Thai maritime transportation industry to identify obstacles in Thailand's context. There was also used "Interpretive Structural Modeling: ISM" to understand the relationship between the priorities of obstacles. The results of the ISM technique were then applied to classify of obstacles by technique of "Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC)". The findings indicated that the most significant obstacles of reducing mechanisms of NO_x and SO_x were high Technology capital and operational cost of Nitrogen Oxides and Sulphur Oxides reduction solutions and are not aware compliance with regulation in Government. This study can be useful for Thai shipowners and policymakers to manage the problem of maritime air pollution.

Keywords: Obstacle Interpretive structural modeling (ISM) Cross-Impact Matrix Multiplication
Applied to Classification (MICMAC) Maritime air pollution

* Corresponding Author; E-mail: dettoy999@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเดินเรือมีส่วนทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เรือเดินทะเลส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์หลัก (Zhou et al., 2021) เครื่องยนต์ดีเซลใช้น้ำมันเชื้อเพลิง Heavy Fuel Oil (HFO) ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ส่วนใหญ่ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน ออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และฝุ่นละออง (PM) (European Environment Agency: EEA, 2019) กฎระเบียบด้านมลพิษทางอากาศที่เข้มงวดขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ผู้ประกอบการแบกรับภาระต้นทุนที่สูงขึ้นไม่สามารถทำกำไรได้ จนในที่สุดผู้ประกอบการต้องปิดกิจการหรือส่งผลให้ลูกค้าสนใจการขนส่งทางเรื่อน้อยลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ลูกค้าอาจเปลี่ยนไปใช้การขนส่งโหมดอื่นๆ เช่น การขนส่งทางถนน ทางรถไฟหรือทางอากาศมากขึ้น (Lindstad et al., 2015)

งานวิจัยนี้ได้หารือหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเดินเรือไทย เกี่ยวกับปัญหาการลดมลพิษทางอากาศจากการเดินเรือทางทะเลของผู้ประกอบการเดินเรือไทย มุ่งเน้นการลดก๊าซ NO_x และ SO_x ซึ่งเป็นมลพิษหลักที่เกิดจากเครื่องยนต์เรือ เนื่องจากองค์การเดินเรือระหว่างประเทศภายใต้ข้อบังคับของ MARPOL Annex VI ได้กำหนดให้เรือต้องลดการปลดปล่อยก๊าซ SO_x ลงเป็น 0.1% (Sulfur Limit in Fuel (% m/m)) ในเขตควบคุมการปล่อยก๊าซ SO_x และ 0.5% สำหรับพื้นที่อื่นๆ นอกเขตควบคุม ส่วนการลดก๊าซ NO_x ให้ทำตามที่กำหนดใน NO_x Technical Code 2008 (www.imo.org) ทำให้เรือที่ต้องขนส่งสินค้าระหว่าง ประเทศจำเป็นต้องปฏิบัติตามข้อบังคับผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะเลือกวิธีที่เสียผลประโยชน์น้อยที่สุด ซึ่งเป็นความท้าทายสำหรับผู้กำหนดนโยบายในการหาจุดสมดุลในการแก้ปัญหา ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสุขภาพของประชาชน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อระบุอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ สำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย
2. เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือสำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย นำผลลัพธ์จัดทำข้อเสนอแนะให้แก่หน่วยงานภาครัฐ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยแบ่งการทบทวนวรรณกรรมออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ อุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) และ การจัดหมวดหมู่ปัจจัย โดยใช้วิธี Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ผู้วิจัยได้รวบรวมอุปสรรคในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ตามที่ได้มีการวิจัยและเผยแพร่ในฐานข้อมูล Web of Science, Emerald และ Science-Direct ช่วงปี ค.ศ. 2015-2022 ข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 1
2. แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) แนวคิดพื้นฐานเทคนิค ISM คือการใช้ประสบการณ์และความรู้ของผู้เชี่ยวชาญในการแปลงระบบที่ซับซ้อนเป็นระบบย่อยหลายระบบและ

สร้างแบบจำลองโครงสร้างหลายระดับ เพื่อให้สามารถเข้าใจความสัมพันธ์โดยตรงและโดยอ้อม นอกจากนี้วิธีการ ISM ได้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ เช่น การค้นหาปัจจัยความสำเร็จที่สำคัญในองค์กรและภาคอุตสาหกรรม (Artpairin and Pinmanee, 2022)

3. การจัดหมวดหมู่ปัจจัย โดยใช้วิธี Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification (MICMAC) ผลลัพธ์ของ ISM ถูกใช้เป็นอินพุตในการวิเคราะห์ MICMAC เพื่อระบุพลังการขับเคลื่อนและการพึ่งพาของปัจจัย

ตารางที่ 1 อุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือที่ปรากฏในฐานข้อมูล

รหัส	อุปสรรค	อ้างอิง
B1	ขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน	Svanberg et al., (2018)
B2	ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม	Animah et al., (2018)
B3	กลไกในการลด NO _x และ SO _x มีต้นทุนสูง	Ross and Orestis, (2019)
B4	ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ	Lindstad and Bo, (2018)
B5	ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบ และรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล	Animah et al., (2018)
B6	ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ	Chu Van et al., (2019)
B7	ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO โดยเฉพาะ	Animah et al., (2018)
B8	ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG	Animah et al., (2018)
B9	ขาดความตระหนัก	Animah et al., (2018)
B10	บริษัทขนส่งและอู่ต่อเรือแก้ปัญหามลพิษแบบต่างคนต่างทำ	Zhu et al., (2017)
B11	ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง	Lee and Nam, (2017)
B12	ขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือภายในประเทศ	Lee and Nam, (2017)

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การระบุอุปสรรคและหาความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคด้วยวิธี ISM ผสมกับการจัดกลุ่มของอุปสรรคตามกำลังขับเคลื่อนและการพึ่งพาด้วยวิธี MICMAC เริ่มจากการค้นหาอุปสรรคปัญหาต่างๆ ผ่านการทบทวนวรรณกรรม นำส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องโดยการสัมภาษณ์และการตอบแบบสอบถาม เพื่อหาข้อสรุปอุปสรรคตามบริบทประเทศไทย จัดลำดับและสร้างโครงสร้างลำดับชั้นเพื่อแสดงให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคด้วยวิธี ISM สุดท้ายจัดหมวดหมู่และวิเคราะห์อุปสรรคตามวิธีการ MICMAC

ประชากรและตัวอย่าง

แนวทางการศึกษาเลือกใช้ การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi Structured Interview) และการสำรวจแบบสอบถาม การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นการสุ่มโดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีความรู้ ความชำนาญและมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลใน

ประเทศไทย เรียกว่า ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) มาจาก 3 องค์การภาครัฐได้แก่ กรมเจ้าท่า (Marine Department) จำนวน 3 ท่าน การท่าเรือแห่งประเทศไทย (Port Authority of Thailand) จำนวน 3 ท่าน และกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department) จำนวน 8 ท่าน ผ่านการหารือและตรวจสอบความถูกต้องภายในองค์กร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การระบุอุปสรรคและจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปสรรค การลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ สำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย ใช้แนวทางการจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (ISM) ผสมกับการจัดกลุ่มของอุปสรรคด้วยวิธี MICMAC

ขั้นตอนการวิจัย

ผู้วิจัยเสนอวิธีดำเนินการวิจัย 7 ขั้นตอน ประยุกต์ตามแนวทางของ (Sumrit, 2021) ดังนี้

1. การระบุอุปสรรค จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ที่อ้างถึงมากที่สุด 12 รายการ ตามตารางที่ 1 อุปสรรคเหล่านี้ได้รับการตรวจสอบอีกครั้งจากผู้เชี่ยวชาญ

2. กำหนดและตีความความสัมพันธ์ตามบริบท กำหนดความสัมพันธ์ตามบริบทระหว่างอุปสรรค เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความสัมพันธ์ โดยใช้คำว่า “ส่งผลให้เกิด” ในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคที่ละคู่ ตัวอย่างเช่น หาก B1 ส่งผลให้เกิด B2 หมายความว่า “เกิด B1 จะส่งผลให้เกิด B2”

3. สร้างตารางความสัมพันธ์ SSIM นำความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่ระบุในขั้นตอนที่ (2) มาสร้างตารางความสัมพันธ์ SSIM ระหว่างอุปสรรค (i, j) ซึ่ง “i” หมายถึง อุปสรรคใน “แถว” และ “j” หมายถึงอุปสรรคใน “คอลัมน์” โดยใช้ 4 สัญลักษณ์ V, A, O และ X ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสองอุปสรรค ซึ่งความหมายของสัญลักษณ์ คือ

V หมายถึง อุปสรรค i ส่งผลให้เกิดอุปสรรค j แต่อุปสรรค j ไม่ส่งผลให้เกิดอุปสรรค i

A หมายถึง อุปสรรค j ส่งผลให้เกิดอุปสรรค i แต่อุปสรรค i ไม่ส่งผลให้เกิดอุปสรรค j

X หมายถึง อุปสรรค i ส่งผลให้เกิดอุปสรรค j และอุปสรรค j ส่งผลให้เกิดอุปสรรค i

O หมายถึง อุปสรรคไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน

4. สร้างตารางความสัมพันธ์ Reachability Matrix สร้าง Initial Reachability Matrix ขึ้นเริ่มต้น โดยนำข้อมูลจากตารางความสัมพันธ์ SSIM ที่เป็นสัญลักษณ์มาแปลงเป็นตัวเลข โดยกำหนดให้สัญลักษณ์ที่นำมาแปลงเป็นตัวเลขนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 2 จากนั้นสร้าง Final Reachability Matrix ขั้นสุดท้าย ตามกฎการเปลี่ยนแปลงของเทคนิค ISM คือ ถ้า “i” ส่งผลต่อ “j” และ “j” ส่งผลต่อ “k” จะทำให้เกิดความสัมพันธ์ทางอ้อมขึ้นระหว่าง “i” และ “k” ทำให้ “i” ส่งผลต่อ “k” ในตารางเมทริกซ์จะเปลี่ยนแปลงเลข 0 เป็นเลข 1* ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ทางอ้อมที่ละคู่อุปสรรค การตรวจสอบแบบนี้ก็เพื่อเติมเต็มช่องว่างจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ Final Reachability Matrix ขั้นสุดท้ายแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การแปลงสัญลักษณ์จากตาราง SSIM ให้เป็นตัวเลข

สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์ i ต่อ j (i, j)	ความสัมพันธ์ j ต่อ i (j, i)
V	1	0
A	0	1
X	1	1
O	0	0

5. หา Level Partition ของอุปสรรค เพื่อให้ทราบถึงระดับความสัมพันธ์ของแต่ละอุปสรรค จึงทำการแบ่งกลุ่มของอุปสรรคจาก ตาราง Final Reachability Matrix ออกเป็น 2 เซต ดังนี้

(1) Reachability Set คือ การจัดกลุ่มของอุปสรรคแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับอุปสรรคอื่นๆ ในแนวนอน (i) เลือกอุปสรรคที่มีความสัมพันธ์เป็นเลข 1 หรือ 1* ให้อยู่กลุ่มเดียวกัน ทำแบบนี้ให้ครบทุกอุปสรรค

(2) Antecedent Set คือ การจัดกลุ่มของอุปสรรคแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับอุปสรรคตัวอื่นๆ ในแนวตั้ง (j) เลือกอุปสรรคที่มีความสัมพันธ์เป็นเลข 1 หรือ 1* ให้อยู่กลุ่มเดียวกัน ทำแบบนี้ให้ครบทุกอุปสรรค ผลการหา Level Partition ของอุปสรรค แสดงไว้ในตารางที่ 4

6. สร้าง ISM Model โดยนำข้อมูลที่ได้จากการหา Level Partition ของอุปสรรค มาสร้าง ISM Model ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคแต่ละอุปสรรคและถูกจัดเรียงเป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงระดับความสำคัญและการเชื่อมโยงกันอย่างมีนัยสำคัญของอุปสรรคต่างๆตามความสำคัญของอุปสรรคที่วิเคราะห์ได้จาก Reachability Matrix โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคจะแสดงโดยสัญลักษณ์ลูกศร ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 3 Final Reachability Matrix

Final Reachability Matrix													
รหัส (i)	รหัส(j)												Driving Power
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	
B1	1	1*	1	1	1*	1	1*	1	0	1*	1*	1*	11
B2	1	1	1	1	1	1	1	1*	1	1*	1*	1*	12
B3	1	1*	1	1	1*	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	12
B4	0	0	1	1	0	1*	1*	0	0	1*	1	1	7
B5	1*	1	1*	1	1	1	1	1*	1*	1*	1*	1	12
B6	1	1	1*	1	1	1	1	1	1*	1	1	1*	12
B7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
B8	1	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	0	1*	1*	0	10
B9	1*	1*	0	1*	1*	1	1*	1*	1	1	1*	1	11
B10	0	0	0	1*	0	1*	0	0	0	1	1	0	4
B11	1*	1*	1*	1	1*	1	1*	1*	0	1	1	1*	11
B12	1*	1*	1*	1	1*	1	1*	1*	0	1*	1*	1	11
Dependence Power	10	10	10	12	10	12	11	10	6	12	12	10	

7. การจัดหมวดหมู่ของอุปสรรคโดยวิธี MICMAC โดย MICMAC คือการสร้างกราฟสำหรับการจัดหมวดหมู่ขององค์ประกอบต่างๆ ออกตามปัจจัย 2 ชนิด คือ Driving Power และ Dependence Power โดยการนำข้อมูลจากตารางความสัมพันธ์ Reachability Matrix มาใช้ โดยค่าที่จะใช้พล็อตกราฟ Conical Matrix จะถูกคำนวณจากการรวมตัวเลขใน Reachability Matrix ค่า Driving Power ของแต่ละอุปสรรคจะได้มาจากผลรวมของตัวเลขในแต่ละแถว และค่า Dependence Power ของแต่ละอุปสรรคจะได้มาจากผลรวมของตัวเลขในแต่ละคอลัมน์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 จากนั้นนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟที่แบ่งเป็น 4 Quadrant ดังรูปที่ 2 โดยทั้ง 4 Quadrant ในกราฟจะแสดงถึงกลุ่มที่แตกต่างกัน 4 กลุ่มด้วยกัน ดังนี้ (Sandbhor and Botre, 2014) Quadrant 1: กลุ่มที่เกิดขึ้นเอง (Autonomous) Quadrant 2: กลุ่มที่ต้องพึ่งพา (Dependent) Quadrant 3: กลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) Quadrant 4: กลุ่มอิสระ (Independent)

จากวิธีดำเนินการวิจัยทั้ง 7 ขั้นตอนตามลำดับ จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย การระบุอุปสรรคและจัดลำดับความสำคัญในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตาม 7 ขั้นตอนที่ระบุไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ได้ผลการวิจัยดังนี้

1. การระบุอุปสรรคที่ส่งผลต่อการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ ผลจากการตอบแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า 67% ของผู้ตอบแบบสอบถามเห็นด้วยว่าการขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงาน เชื้อเพลิงทดแทน ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG บริษัทขนส่งและอู่ต่อเรือแก้ปัญหาเฉพาะแบบต่างคนต่างทำ ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้องเป็นอุปสรรค นอกจากนี้มีเพียงประมาณ 21% ของผู้ตอบแบบสอบถามไม่เห็นด้วยว่า การขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ การขาดความตระหนักและการขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือภายในประเทศเป็นอุปสรรค ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด มีความเห็นพ้องกันว่า กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง การขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล เป็นอุปสรรคที่สำคัญ

2. แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (Interpretive Structural Modelling: ISM) ผลจากการใช้วิธี ISM วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรค แบ่งตามลำดับขั้นดังนี้

Level I ประกอบด้วยอุปสรรค ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ (B4) ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ (B6) บริษัทขนส่งและอู่ต่อเรือแก้ปัญหาเฉพาะแบบต่างคนต่างทำ (B10) ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง (B11)

Level II ประกอบด้วยอุปสรรค การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน (B1) ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม (B2) ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล (B5) ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO (B7) ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG (B8)

Level III ประกอบด้วยอุปสรรค ขาดศักยภาพการให้บริการของผู้อู่ต่อเรือ (B12) เป็นอุปสรรคที่ส่งผลให้เกิดอุปสรรคในระดับ II และเกิดจากอุปสรรคที่เหลืออีกสองอุปสรรค

Level IV ประกอบด้วยอุปสรรค การขาดความตระหนัก (B9) ส่งผลโดยตรงให้เกิดการขาดศักยภาพการให้บริการของผู้อู่ต่อเรือ (B12) และส่งผลทางอ้อมให้เกิดอุปสรรคทั้งเก้าอุปสรรคในโครงสร้างลำดับขั้นด้านบน

Level V ประกอบด้วยอุปสรรค กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง (B3) เป็นอุปสรรคลำดับสุดท้ายของโครงสร้างลำดับขั้น มีความสำคัญมากที่สุด

ตารางที่ 4 แสดงผลการหา Level Partition ของอุปสรรค

อุปสรรค	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection	Level
B4	B3,B4,B6, B7,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B3,B4,B6, B7,B10,B11,B12	I
B6	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	I
B10	B4,B6,B10,B11	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B4,B6,B10,B11	I
B11	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B10,B11,B12	I
B1	B1,B2,B3,B5,B7,B8,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5,B7,B8,B12	II
B2	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	II
B5	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	II
B7	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	II
B8	B1,B2,B3,B5,B7,B8	B1,B2,B3,B5, B7,B8,B9,B12	B1,B2,B3,B5,B7,B8	II
B12	B3,B12	B3,B9,B12	B3,B12	III
B9	B9	B3,B9	B9	IV
B3	B3	B3	B3	V

3. การจัดหมวดหมู่โดยใช้วิธี MICMAC ผลจากการจัดหมวดหมู่ตามกำลังขับเคลื่อนและการพึ่งพาของแต่ละอุปสรรค จากกราฟ Conical Matrix (รูปที่ 2) พบว่าอุปสรรคแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มที่ต้องพึ่งพา (Dependent) อุปสรรคที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ การที่บริษัทขนส่งและผู้อู่ต่อเรือแก้ปัญหามลพิษแบบต่างคนต่างทำ

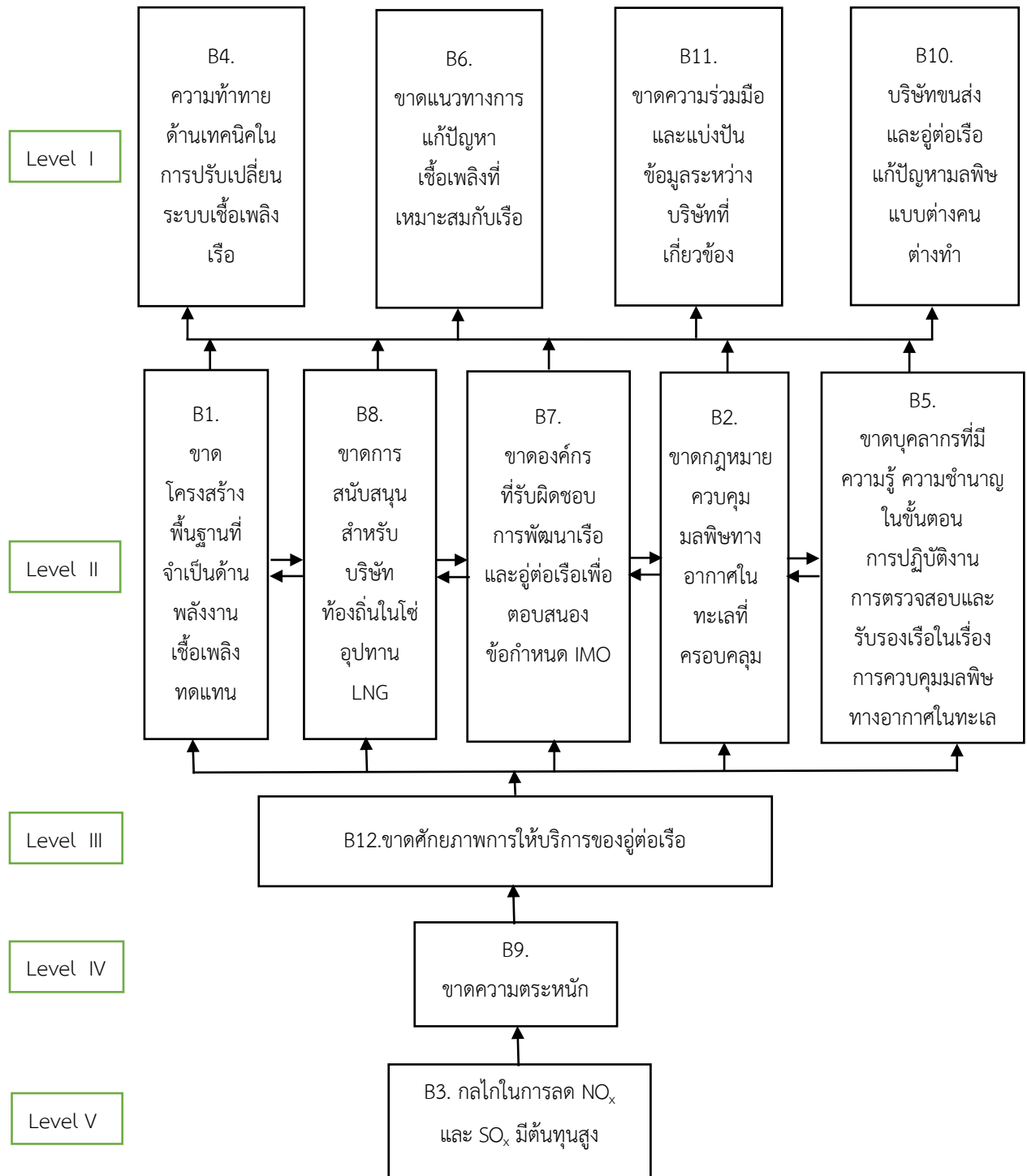
2. กลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) ได้แก่ การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน การขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้องและขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรม

3. กลุ่มอิสระ (Independent) เป็นอุปสรรคที่มีกำลังขับเคลื่อนมากและมีการพึ่งพาน้อย ได้แก่ การขาดความตระหนัก

อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ ISM ตามรูปที่ 1 พบปัจจัยที่เป็นอุปสรรคคือ กลไกในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง (B3) อยู่ที่ด้านล่างสุดของระดับโครงสร้างลำดับชั้น (ระดับ V) เป็นอุปสรรคที่สำคัญที่สุดอันดับแรกตามมาด้วยการขาดความตระหนัก (ระดับ IV) และการขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรม (ระดับ III) ซึ่งหมายความว่าอุปสรรคเหล่านี้เป็นสามอุปสรรคที่สำคัญที่สุด กลไกในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูงและการขาดความตระหนัก ผลลัพธ์นี้ได้รับการสนับสนุนโดย (Animah et al., 2018) ซึ่งระบุว่ากลไกในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูงและการขาดความตระหนัก เป็นปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการลดการปล่อยก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือที่เกิดขึ้นในประเทศสาธารณรัฐเกาหลีและประเทศสาธารณรัฐแคนาดา อุปสรรคอันดับที่สาม การขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรม ผลลัพธ์นี้ได้รับการสนับสนุนโดย (Lee and Nam., 2017) ทำการศึกษาการจัดส่งสินค้าทางเรือที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในประเทศเกาหลีใต้ในมุมมองของอุตสาหกรรม ผลการศึกษพบว่า การขาดศักยภาพการให้บริการของอุตสาหกรรมคือปัญหาที่สำคัญหนึ่งในหกข้อในการจัดส่งสินค้าทางเรือที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในประเทศเกาหลีใต้

ผลการวิเคราะห์ MICMAC แสดงในรูปที่ 2 พบว่า การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน (B1) ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม (B2) กลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง (B3) ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ (B4) ขาดบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุม



Liquefied Natural Gas: LNG

International Maritime Organization: IMO

ภาพที่ 1 แบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความของอุปสรรค การลดก๊าซ NO_x , SO_x จากเครื่องยนต์เรือ

Driving Power		Quadrant 4 (Independent)						Quadrant 3 (Linkage)					
	12										B2,B3,B5	B7	B6
	11						B9				B1,B12		B11
	10										B8		
	9												
	8												
	7												B4
	6												
	5												
	4												B10
	3												
	2												
	1												
		Quadrant 1 (Autonomous)						Quadrant 2 (Dependent)					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Dependence Power												

ภาพที่ 2 กราฟ Conical Matrix

มลพิษทางอากาศในทะเล (B5) ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ (B6) ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO (B7) ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG (B8) ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง (B11) ขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือ (B12) อยู่ในกลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) ควรให้ความสำคัญในการกำจัดอุปสรรคเหล่านี้ด้วยความระมัดระวัง ต้องศึกษาผลกระทบครอบคลุมรอบด้านในการแก้ไขอุปสรรคเหล่านี้ จากผลการวิเคราะห์จะสังเกตได้ว่าค่า (B4) อยู่ตรง Border Lines ระหว่าง Quadrant 2 และ 3 อธิบายได้ว่า ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือแม้จะจัดอยู่ในกลุ่มเชื่อมโยง แต่ก็ยังเป็นอุปสรรคที่มีกำลังขับเคลื่อนไม่สูงนัก ควรแก้ไขอุปสรรคตัวอื่นๆ ในกลุ่มเชื่อมโยงก่อนอุปสรรคนี้ กลุ่มอิสระ (Independent) ได้แก่ การขาดความตระหนัก (B9) เป็นอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่ออุปสรรคอื่นๆ และได้รับผลกระทบจากอุปสรรคอื่นๆ น้อย จะสังเกตได้ว่าค่า (B9) ถึงแม้ว่าจะอยู่ตรง Border Lines ระหว่าง Quadrant 3 และ 4 แต่ก็ยังมีค่าการพึ่งพิงที่น้อย แสดงว่าการขาดความตระหนัก ยังไม่ได้เป็นการขาดแบบชนิดที่ไม่รู้อะไรเลย แต่ยังคงมีความตระหนักในระดับหนึ่งซึ่งถูกอิทธิพลจากอุปสรรคอื่นมากระทบได้ ถึงแม้ว่าจะน้อยก็ตาม ทำให้จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการแก้ไขอุปสรรคนี้เป็นอันดับแรกในการแก้ไขอุปสรรคในการลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ

สรุปผลการวิจัย

การระบุอุปสรรค เพื่อหาอุปสรรคที่สำคัญตามบริบทประเทศไทย ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุปสรรคในการลดก๊าซ จากเครื่องยนต์เรือ ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้เชี่ยวชาญจาก 3 องค์กรภาครัฐ ที่มีส่วนได้ส่วนเสียเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย

การสร้างแบบจำลองเชิงโครงสร้างการตีความ (ISM) และการจัดหมวดหมู่ของอุปสรรคโดยวิธี MICMAC นำมาใช้เพื่อตรวจสอบผล การระบุอุปสรรคและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรค การลดก๊าซ NO_x และ SO_x จากเครื่องยนต์เรือ สำหรับอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเลของไทย ผลของการจัดอันดับแสดงให้เห็นว่าการขาดความตระหนัก และกลไกในการลด NO_x และ SO_x มีต้นทุนสูง เป็นอุปสรรคที่อยู่ระดับล่างและอยู่ในกลุ่มที่มี Driving Power สูง การขาดโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นด้านพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน ขาดกฎหมายควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเลที่ครอบคลุม ความท้าทายด้านเทคนิคในการปรับเปลี่ยนระบบเชื้อเพลิงเรือ ขาดบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในขั้นตอนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรับรองเรือในเรื่องการควบคุมมลพิษทางอากาศในทะเล ขาดแนวทางการแก้ปัญหาเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเรือ ขาดองค์กรที่รับผิดชอบการพัฒนาเรือและอู่ต่อเรือเพื่อตอบสนองข้อกำหนด IMO ขาดการสนับสนุนสำหรับบริษัทท้องถิ่นในโซ่อุปทาน LNG ขาดความร่วมมือและแบ่งปันข้อมูลระหว่างบริษัทที่เกี่ยวข้อง ขาดศักยภาพการให้บริการของอู่ต่อเรือ เป็นอุปสรรคที่อยู่ระดับบนถัดขึ้นไปและอยู่ในกลุ่มเชื่อมโยง (Linkage) ดังนั้นการใช้วิธี ISM และ MICMAC ในการศึกษาได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ภาครัฐควรนำผลของการวิจัยนี้ ไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจ กำหนดนโยบายและวางแผนงานอย่างเป็นระบบ การกำหนดนโยบายของภาครัฐมีความสำคัญในการกำหนดทิศทางการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเล จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ต้นทุน ผลประโยชน์ ทางเลือกและผลกระทบทั้งระบบ เพื่อสร้างแนวทางการนำไปปฏิบัติที่เหมาะสม

2. การวิจัยในครั้งนี้มีข้อควรสังเกตที่ควรได้รับการแก้ไข คือควรเก็บข้อมูลจากผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมขนส่งทางทะเล ซึ่งเป็นผู้ได้รับผลกระทบโดยตรงมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อให้การกำหนดนโยบายระยะสั้นและระยะยาวถูกต้องตามความเป็นจริง ขอบเขตของการศึกษาที่ดำเนินการเฉพาะในบริบทประเทศไทย และการใช้เทคนิค ISM อาจยังไม่เพียงพอสำหรับการตัดสินใจแก้ไขอุปสรรค ดังนั้นการศึกษาวิจัยในอนาคต ควรทำการศึกษาในบริบทประเทศต่างๆ เพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกันและอาจใช้แนวทางการประเมินเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory: DEMATEL) หรือกระบวนการระดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Fuzzy AHP) ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์สำหรับการพัฒนาแผนการลดการปล่อยก๊าซ NO_x และ SO_x สำหรับอุตสาหกรรมเดินเรือทั่วโลกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Animah, I., Addy-Lampsey, A., Korsah, F., and Sackey, J. (2018). Compliance with MARPOL Annex VI regulation 14 by ships in the Gulf of Guinea sub-region: Issues, challenges, and opportunities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 441-455.
- Artpairin, A., and Pinmanee, S. (2022). Critical success factors in the management of petrochemical construction projects for contractors and subcontractors during the COVID-19 pandemic. [Online]. Retrieved February 09, 2022, from: <https://www.tandfonline.com/loi/tjcm20>.
- Chu Van, T., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., and Brown, R.J. (2019). Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 123-134.
- European Environment Agency (EEA). (2019). *EMAS Environmental statement 2018*. [Online]. Retrieved May 15, 2019, from: <https://www.eea.europa.eu>.
- International Maritime Organization. (2021). *MARPOL Annex VI*. *Imo.org*. [Online]. Retrieved November 14, 2021, from: <https://www.imo.org>.
- Lee, T., and Nam, H. (2017). A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33, 253-262.
- Lindstad, E., and Bo, T. (2018). Potential power setups, fuels, and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 276-290.
- Lindstad, H., Sandaas, I., and Stromman, A.H. (2015). Assessment of cost as a function of abatement options in maritime emission control areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, 41-48.
- Ross, H.H., and Schinas, O. (2019). Empirical evidence of the interplay of energy performance and the value of ships. *Ocean Engineering*, 190, 106403.
- Svanberg, M., Ellis, J., Lundgren, J., and Landalv, I. (2018). Renewable methanol as a fuel for the shipping industry. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 94, 1217-1228.
- Sandbhor, S., and Botre, R. (2014). Applying total interpretive structural modeling to study factors affecting construction labour productivity. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 14, 20-31.
- Sumrit, D. (2021). What are the obstacles hindering digital transformation for small and medium enterprise freight logistics service providers? An interpretive structural modeling approach. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(3), 719-730.

- Zhou, X., Li, T., and Yi, P. (2021). The similarity ratio effects in design of scaled model experiments for marine diesel engines. *Energy*, 231, 121116.
- Zhu, M., Li, K. X., Shi, W., and Lam, J. S. L. (2017). Incentive policy for reduction of emission from ships: A case study of China. *Marine Policy*, 86, 253–258.