

การเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุอันตราย กรณีศึกษาโรงงานผลิตสารป้องกันกำจัดแมลง

Hazardous Substance Transportation Routing:

A Case Study of Insecticide Manufacturing Company

นิติเดช กูหาทองสัมฤทธิ์*¹⁾

Nitidetch Kooathongsumrit*¹⁾

¹⁾ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุอันตรายของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงงานที่ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเคมีทางการเกษตร โดยมีจุดเริ่มต้นจากท่าเรือกรุงเทพไปยังที่จุดปลายทางสถานที่ตั้งโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วยการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง โดยพิจารณาเส้นทางที่มีค่าความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายที่ต่ำที่สุด ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุนของเส้นทางขนส่ง ระยะเวลาของการขนส่ง ความเสี่ยงต่อวัตถุอันตราย ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทางขนส่ง ความเสี่ยงด้านอื่นๆ ความเสี่ยงจากวัตถุอันตราย และความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ ผลการวิจัยพบว่าเส้นทางขนส่งวัตถุอันตรายผ่านถนนหมายเลข 34 เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุด มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายเท่ากับ 5.991 ส่วนเส้นทางผ่านถนนสุขุมวิทมีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สอง มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายเท่ากับ 17.487 และเส้นทางผ่านถนนรามคำแหงเป็นเส้นทางที่ไม่ถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากมีค่าระดับเสี่ยงเกินกว่าที่กำหนด

คำสำคัญ: การเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุอันตราย โปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง การประเมินความเสี่ยง

Abstract

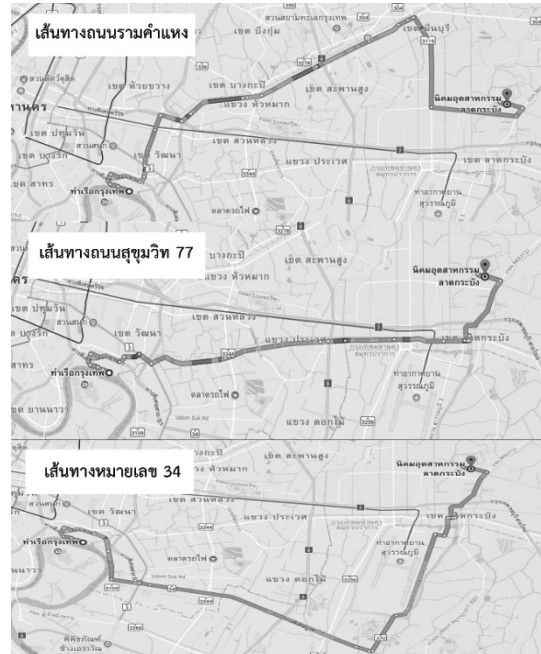
The objective of this research was to select an optimal hazardous materials route of case study which is an insecticide factory. The Zero-one Goal Programming was employed to select the route between Bangkok Port and Lat Krabang Industrial Estate, with minimum overall deviation from goals. The decision criteria consist of five main criteria: cost of transportation, transit time, risk of freight damaged, risk of infrastructure and equipment, risk of other factors, risk of hazardous material, and risk of consequences, respectively. The result showed that the route No. 34 was taken the best hazardous materials route with 5.991 of deviation. The route with Sukhumvit road was the second alternative with 17.487 of deviation. Moreover, the route with Ramkhamhaeng road was not considered because the risk level exceeds the limit.

Keywords: Hazardous substance transportation routing, Zero-one goal programming, Risk assessment

1. บทนำ

การขนส่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการประกอบธุรกิจทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบมาสู่โรงงานหรือการเคลื่อนย้ายสินค้าจากโรงงานผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค หรือสถานที่ที่ต้องการ อีกทั้งการขนส่งสินค้ายังสำคัญต่อธุรกิจเกือบทุกประเภท ในหลายๆ ธุรกิจต้นทุนการขนส่งสินค้านับเป็นต้นทุนที่สำคัญและกระทบต่อต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์และบริการ [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขนส่งวัตถุดิบจากผู้จำหน่ายมายังโรงงานเพื่อทำการผลิตสินค้าซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของผู้ประกอบธุรกิจ ต้นทุนรวมของสินค้า การวางแผนการผลิต เช่น การเกิดอุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง การขนส่งวัตถุดิบล่าช้า วัตถุดิบเกิดความเสียหายจากการขนส่ง ฯลฯ ทั้งนี้หากวัตถุดิบเหล่านั้นเป็นวัตถุดิบอันตรายทำให้ผู้ประกอบธุรกิจจำเป็นต้องมีเทคนิค หรือวิธีการที่เพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งวัตถุดิบ โดยการเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุดิบเป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการทางโลจิสติกส์ เช่น สามารถลดต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ สร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ฯลฯ [2-3]

โรงงานเคมีศึกษาเป็นโรงงานที่ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เคมีเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง โดยวัตถุดิบหลักของทางโรงงานจะเป็นวัตถุดิบอันตรายซึ่งเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งจัดอยู่ในประเภทของเหลวไวไฟที่สั่งซื้อมาจากผู้จัดหาวัตถุดิบซึ่งจะมาส่งให้ทางท่าเรือกรุงเทพ จากนั้นทางโรงงานจะเป็นผู้ขนส่งสารเคมีเหล่านั้นมายังสถานที่ตั้งโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด 3 เส้นทาง ได้แก่ เส้นทางถนนรามคำแหง เส้นทางถนนสุขุมวิท 77 และเส้นทางถนนหมายเลข 34 ตามลำดับ แสดงเส้นทางขนส่งวัตถุดิบอันตรายทั้งหมดจากท่าเรือกรุงเทพมายังนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เส้นทางขนส่งวัตถุดิบอันตรายทั้งหมด

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าโรงงานเคมีศึกษาประสบปัญหาด้านความเสี่ยงจากการเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุดิบอันตรายมายังโรงงาน เช่น สินค้าเสียหายอันเนื่องจากสภาพของเส้นทางไม่เหมาะต่อการขนส่ง เส้นทางขนส่งนั้นต้องผ่านบริเวณชุมชนหรือแหล่งที่อยู่อาศัยทำให้เมื่อเกิดอุบัติเหตุแล้วเกิดมีความรุนแรงสูง เส้นทางที่ขนส่งวัตถุดิบอันตรายมีลักษณะทางกายภาพที่อาจจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุสูง เช่น จำนวนช่องจราจรน้อยและแคบ มีจำนวนทางโค้ง หรือทางแยกต่อกิโลเมตรมาก นอกจากนี้ยังพบว่าพนักงานขนส่งของทางโรงงานเคมีศึกษานั้นใช้ประสบการณ์และความรู้สึกในการเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุดิบอันตราย ทำให้การขนส่งในบางครั้งเกิดความล่าช้า ประสบอุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง ฯลฯ

จากปัญหาในข้างต้นผู้วิจัยต้องการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการกำหนดเส้นทางขนส่งวัตถุดิบอันตรายที่เหมาะสมโดยการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง (zero-one goal programming: zogp) ด้วยการพิจารณาด้านต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาในการขนส่ง ความเสี่ยงต่อวัตถุดิบ ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทางขนส่ง ความเสี่ยงด้านอื่นๆ ตามแนวทงงานวิจัยของ Kengpol, Meethom and Tuominen [4] โดยโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (multi criteria decision making: mcdm) ซึ่งประกอบไปด้วยหลายทางเลือกและมีเกณฑ์การตัดสินใจหลายเกณฑ์ [5-6] ส่วนการประเมินความเสี่ยงผู้วิจัยได้ประยุกต์การประเมินความเสี่ยงตามแนวทงงานวิจัยของ Hallikas, Virolainen and Tuominen [7], Hallikas, et al. [8], วรพจน์ และสหัสชัย [9] ที่กำหนดเกณฑ์และวิธี

การประเมินความเสี่ยงขององค์กรกับโซ่อุปทานและประเมินความเสี่ยงเส้นทางระหว่างประเทศไทยกับตะวันออกเฉียงเหนือของสาธารณรัฐอินเดีย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้เพิ่มเกณฑ์การตัดสินใจความเสี่ยงตามแนวทางของ Sattayaprasert, et al. [10] ที่กำหนดเกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยงสำหรับประเมินเส้นทาง การขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทย ได้แก่ ความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุและความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุซึ่งรายละเอียดของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป โดยเส้นทาง การขนส่งวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมที่สุดจะเป็นเส้นทางที่มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายที่ผู้ตัดสินใจกำหนดน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางแก่ผู้ประกอบการในการเลือกเส้นทาง การขนส่งวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์

เลือกเส้นทาง การขนส่งวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมจากเป้าหมายต่ำที่สุด โดยพิจารณาต้นทุนของเส้นทาง การขนส่ง ระยะเวลาในการขนส่ง ความเสี่ยงต่อวัตถุดิบ ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทาง การขนส่ง ความเสี่ยงด้านอื่นๆ ความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุและความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ ด้วยการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งในการเลือกเส้นทาง

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะการขนส่งวัตถุดิบประเภทที่ 3 และเป็น การขนส่งทางถนนโดยมีจุดเริ่มต้นที่ท่าเรือกรุงเทพและปลายทางที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเท่านั้น

2. วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะการขนส่งวัตถุดิบประเภทที่ 3 และเป็น การขนส่งทางถนนโดยมีจุดเริ่มต้นที่ท่าเรือกรุงเทพและปลายทางที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเท่านั้น

2.1 รวบรวมข้อมูลของเส้นทาง การขนส่งวัตถุดิบ

การรวบรวมข้อมูลเส้นทาง การขนส่งวัตถุดิบจากท่าเรือกรุงเทพไปยังนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า มีเส้นทางที่เป็นไปได้จำนวน 3 เส้นทาง ได้แก่ เส้นทางถนนรามคำแหง เส้นทางถนนสุขุมวิท 77 และเส้นทางถนนหมายเลข 34 โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลต้นทุนในการขนส่งวัตถุดิบ และระยะเวลาในการขนส่งของเส้นทางทั้งหมด แสดงข้อมูลของเส้นทางขนส่งวัตถุดิบทั้งหมดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเส้นทางขนส่งวัตถุดิบรายทั้งหมด

เส้นทาง	ต้นทุนของเส้นทาง (บาท)	ระยะเวลา (นาที)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
เส้นทางถนนรามคำแหง	8,164	117	44.2
เส้นทางถนนสุขุมวิท 77	9,247	98	37.0
เส้นทางถนนหมายเลข 34	9,088	91	49.2

2.2 กำหนดรายละเอียดความเสี่ยง

ในขั้นตอนนี้หลังจากที่ผู้วิจัยสามารถรวบรวมข้อมูลต้นทุนของเส้นทาง และระยะเวลาในการขนส่งวัตถุดิบรายทั้งหมดแล้ว ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการกำหนดรายละเอียดของความเสี่ยงที่นำมาพิจารณาและวิธีในการประเมินความเสี่ยงประยุกต์ตามแนวทางการประเมินของ [7-10] มีรายละเอียดดังนี้

- ความเสี่ยงต่อวัตถุดิบ หมายถึง ความเสียหายหรือสูญหายที่เกิดกับตัวสินค้า ไม่ว่าในขณะขนส่ง หรือขณะที่ทำการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง หรือภายในพื้นที่ที่พิกัดสินค้าหรือคลังสินค้า ความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ใช้ในการขนส่ง
- ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทาง การขนส่ง หมายถึง ความชันของเส้นทาง ความกว้างของถนน การรับน้ำหนักของสะพานรถยนต์ อุโมงค์ต่างๆ แพนานยนต์ข้ามแม่น้ำ การเดินทางในช่วงฤดูฝน หรือการเดินทางในช่วงมรสุม ค่าใช้จ่ายที่ไม่คาดคิด อัตราการเกิดอุบัติเหตุ ความยืดหยุ่นของเส้นทาง ความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์การขนถ่ายต่างๆ ในเส้นทาง การขนส่ง และความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนเส้นทางหากเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด
- ความเสี่ยงด้านอื่นๆ หมายถึง กฎหมาย กฎระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ ความแตกต่างของขั้นตอนการพิธีการทางศุลกากร และเอกสารผ่านแดน การใช้ระบบเอกสารแบบอิเล็กทรอนิกส์ ความเสี่ยงทางด้านการเมืองระหว่างประเทศ
- ความเสี่ยงจากวัตถุดิบที่ขนส่ง หมายถึง ปริมาณของวัตถุดิบที่ขนส่งในเส้นทาง และรัศมีของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากวัตถุดิบที่ขนส่ง
- ความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ หมายถึง ความหนาแน่นของประชากร หรือครัวเรือน หรือสถานที่ซึ่งไวต่อการเกิดอุบัติเหตุ หรือพื้นที่ หรือองค์ประกอบในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวหรือมีความเปราะบางที่มีโอกาสเกิดความเปลี่ยนแปลงใดๆ ในเชิงลบหากได้รับผลกระทบไม่ว่าจะทางตรง หรือทางอ้อมโดยรอบเส้นทาง การขนส่งนั้น เช่น โบราณสถาน สถานศึกษา ศาสนสถาน

สถานพยาบาล สถานที่ราชการ สถานที่ที่มีความสำคัญต่อชุมชน สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ เป็นต้น

2.3 การกำหนดวิธีคำนวณระดับความเสี่ยง

ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการคำนวณระดับความเสี่ยงในแต่ละด้านซึ่งได้จากผลคูณของความน่าจะเป็น หรือโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงกับผลกระทบหากเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงนั้น โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์การประเมินความเสี่ยงมีรายละเอียดดังนี้ [2-10]

- การคำนวณระดับความเสี่ยงต่อวัตถุอันตราย สามารถคำนวณได้จากผลคูณของระดับการประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อวัตถุอันตรายกับร้อยละของมูลค่าสินทรัพย์เสียหาย แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

- การคำนวณระดับความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทางรถขนส่ง สามารถคำนวณได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดอุบัติเหตุกับร้อยละของเวลาการขนส่งที่เพิ่มขึ้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การคำนวณระดับความเสี่ยงต่อวัตถุอันตราย

ระดับ	ความน่าจะเป็น	ผลกระทบ
	ร้อยละของความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อวัตถุอันตราย	ร้อยละของมูลค่าวัตถุอันตรายที่เสียหาย
1	0.00 - 0.01	0 - 5
2	0.02 - 0.10	6 - 10
3	0.11 - 1.00	11 - 15
4	1.01 - 5.00	16 - 20
5	มากกว่า 5.00	มากกว่า 20

ที่มา: ประยุกต์จาก (4-9)

ตารางที่ 3 การคำนวณระดับความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวก

ระดับ	ความน่าจะเป็น	ผลกระทบ
	อัตราการเกิดอุบัติเหตุ (%)	ร้อยละของเวลาการขนส่งที่เพิ่มขึ้น
1	0.00 - 0.01	0 - 10
2	0.02 - 0.10	11 - 20
3	0.11 - 1.00	21 - 30
4	1.01 - 5.00	31 - 40
5	มากกว่า 5.00	มากกว่า 40

ที่มา: ประยุกต์จาก (4-9)

- การคำนวณระดับความเสี่ยงด้านอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากผลคูณของระดับความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยงกับผลกระทบของความเสียหายในร้อยละต้นทุนที่เพิ่มขึ้น หรือร้อยละเวลาการขนส่งที่เพิ่มขึ้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

- การคำนวณระดับความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง การคำนวณความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่งสามารถคำนวณได้จากผลรวมของระดับความเสี่ยงย่อย ประกอบไปด้วย ปริมาณของวัตถุอันตรายที่ขนส่ง และรัศมีของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง โดยระดับความเสี่ยงจากปริมาณของวัตถุอันตรายที่ขนส่งในเส้นทางสามารถคำนวณได้จากผลคูณของระดับของความน่าจะเป็นในการเกิดอุบัติเหตุกับผลกระทบจากปริมาณของวัตถุอันตรายที่ขนส่ง กำหนดให้ระดับความเสี่ยงที่ได้มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.5 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การคำนวณระดับความเสี่ยงด้านอื่นๆ

ระดับ	ความน่าจะเป็นในการเกิดความเสี่ยง	ผลกระทบของความเสี่ยง	
		ต้นทุนเพิ่มขึ้น (%)	เวลาที่เพิ่มขึ้น (%)
1	ไม่น่าเป็นไปได้อย่างมาก	0 - 5	0 - 10
2	ไม่น่าเป็นไปได้	6 - 10	11 - 20
3	ปานกลาง	11 - 15 หรือ	21 - 30
4	เป็นไปได้	16 - 20	31 - 40
5	เหตุการณ์เป็นไปได้มาก	มากกว่า 20	มากกว่า 40

ที่มา: ประยุกต์จาก (4-9)

ตารางที่ 5 การคำนวณระดับความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง
ด้านปริมาณของวัตถุอันตราย

ระดับ	ความน่าจะเป็น ในการเกิดอุบัติเหตุ	ผลกระทบจากปริมาณ ของวัตถุอันตรายที่ขนส่ง
1	0.00 - 0.10	น้อยกว่า 9,000 ลิตร
2	0.11 - 0.20	ไม่เกิน 11,750 ลิตร
3	0.21 - 0.35	ไม่เกิน 14,500 ลิตร
4	0.36 - 0.50	ไม่เกิน 17,250 ลิตร
5	มากกว่า 0.50	มากกว่า 17,250 ลิตร

ที่มา: ประยุกต์จาก (9-10)

ส่วนระดับความเสี่ยงจากรiskมีของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดอุบัติเหตุขึ้นเนื่องมาจากวัตถุอันตรายที่ขนส่งสามารถคำนวณได้ผลคูณของจากความน่าจะเป็นในการเกิดอุบัติเหตุกับ riskมีของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดอุบัติเหตุ กำหนดให้ระดับความเสี่ยงที่คำนวณได้มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.5 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การคำนวณระดับความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง
ด้าน riskมีของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิด
อุบัติเหตุ

ระดับ	ความน่าจะเป็น ในการเกิดอุบัติเหตุ	riskมีของพื้นที่ที่ได้รับ ผลกระทบจากการเกิด อุบัติเหตุ
1	0.00 - 0.10	ไม่เกิน riskมี 0.8 กิโลเมตร
2	0.11 - 0.20	ไม่เกิน riskมี 3.22 กิโลเมตร
3	0.21 - 0.35	ไม่เกิน riskมี 5.63 กิโลเมตร
4	0.36 - 0.50	ไม่เกิน riskมี 8.05 กิโลเมตร
5	มากกว่า 0.50	มากกว่า riskมี 8.05 กิโลเมตร

ที่มา: ประยุกต์จาก (9-10)

- การคำนวณระดับความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ สำหรับการคำนวณความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่งนั้นสามารถคำนวณได้จากผลรวมของระดับความเสี่ยงย่อยประกอบไปด้วย ความหนาแน่นของประชากรและจำนวนสถานที่ที่ไวต่อผลกระทบ โดยระดับความเสี่ยงจากความหนาแน่นของประชากรสามารถคำนวณได้จากผลคูณของระดับของความน่าจะเป็นในการเกิดอุบัติเหตุกับอัตราความหนาแน่นของครัวเรือนต่อตารางกิโลเมตร [8] โดยกำหนดให้ระดับความเสี่ยงที่ได้มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.5 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 7

ส่วนระดับความเสี่ยงจากจำนวนสถานที่ที่ไวต่อผลกระทบสามารถคำนวณได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นในการเกิดอุบัติเหตุกับอัตราความหนาแน่นของจำนวนสถานที่ที่ไวต่อผลกระทบต่อ 10 กิโลเมตร [10-11] กำหนดให้ระดับความเสี่ยงที่ได้มีน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.5 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 การคำนวณระดับความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิด
อุบัติเหตุด้านความหนาแน่นของประชากรในเส้นทาง

ระดับ	ความน่าจะเป็น ในการเกิดอุบัติเหตุ	อัตราความหนาแน่นของ ครัวเรือนต่อตารางกิโลเมตร
1	0.00 - 0.10	ไม่เกิน 125 ครัวเรือน
2	0.11 - 0.20	ไม่เกิน 250 ครัวเรือน
3	0.21 - 0.35	ไม่เกิน 375 ครัวเรือน
4	0.36 - 0.50	ไม่เกิน 500 ครัวเรือน
5	มากกว่า 0.50	มากกว่า 500 ครัวเรือน

ที่มา: ประยุกต์จาก (7-8)

ตารางที่ 8 การคำนวณระดับความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิด
อุบัติเหตุด้านจำนวนสถานที่ที่ไวต่อผลกระทบ

ระดับ	ความน่าจะเป็น ในการเกิดอุบัติเหตุ	อัตราความหนาแน่นของจำนวน สถานที่ที่ไวต่อผลกระทบ ต่อ 10 กิโลเมตร
1	0.00 - 0.10	ไม่มีสถานที่ที่ไวต่อผลกระทบ
2	0.11 - 0.20	ไม่เกิน 2 สถานที่
3	0.21 - 0.35	ไม่เกิน 4 สถานที่
4	0.36 - 0.50	5 สถานที่
5	มากกว่า 0.50	มากกว่า 5 สถานที่

ที่มา: ประยุกต์จาก (9-10)

2.4 กำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ ได้แก่ ต้นทุนของเส้นทาง ระยะเวลาในการขนส่งวัตถุอันตราย ความเสี่ยงต่อวัตถุอันตราย ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทาง การขนส่ง ความเสี่ยงด้านอื่นๆ ความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง และความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ ด้วยกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ โดยให้ผู้บริหารของทางโรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ประเมินความสำคัญด้วยชุดตัวเลข 9 ระดับของ

Saaty [12] พร้อมทั้งตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลด้วยโปรแกรมเอ็กซ์เพิร์ทซ้อยส์ 11 ซึ่งค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล ต้องมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนด [13] ทั้งนี้หากค่าความสอดคล้องไม่เป็นไปตามที่กำหนดผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความสำคัญใหม่ หรือตัดเกณฑ์การตัดสินใจทิ้งจากการตัดสินใจ

2.5 สร้างสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง

หลังจากที่กำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจได้แล้วในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการสร้างตัวแบบสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งซึ่งเป็นการเลือกคำตอบ หรือชุดคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยมีการกำหนดตัวแปรตัดสินใจเป็นเพียงสองค่าคือ ศูนย์ หรือหนึ่งที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนโดยรวมจากเป้าหมายที่ต้องการทั้งหมดค่าที่สุด [2-4] ภายใต้งบประมาณ ระยะเวลา และความเสียด้านต่างๆ ของเส้นทางจราจรขนส่งวัตถุอันตราย แสดงรายละเอียดของสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งในการเลือกเส้นทางดังนี้

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^k (w_i d_i^- + w_i d_i^+) \quad (1)$$

เงื่อนไขด้านต้นทุน

$$c_1 X_1 + \dots + c_n X_n - d_{dc1}^+ = C \quad (2)$$

เงื่อนไขด้านระยะเวลา

$$t_1 X_1 + \dots + t_n X_n - d_{dc2}^+ = T \quad (3)$$

เงื่อนไขความเสี่ยงที่ k

$$r_{k1} X_1 + \dots + r_{kn} X_n - d_{dcm}^+ = R_k \quad (4)$$

โดยที่

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 \quad w_i, 0; i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_j = 0 \text{ หรือ } 1; j = 1, 2, \dots, n$$

เมื่อ Z คือ ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายที่กำหนด

w_i คือ น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่ i

d_{dc1}^+ คือ ความเบี่ยงเบนทางด้านสูงกว่าเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจที่ i

X_j คือ ตัวแปรตัดสินใจของเส้นทางจราจรขนส่งที่ j

c_j คือ สัมประสิทธิ์ของ X_j ด้านต้นทุนของเส้นทางจราจรขนส่งที่ j

t_j คือ สัมประสิทธิ์ของ X_j ด้านระยะเวลาของเส้นทางจราจรขนส่งที่ i

r_{kj} คือ สัมประสิทธิ์ของ X_j ด้านความเสี่ยงที่ k ของเส้นทางจราจรขนส่งที่ j

C คือ ร้อยละของผลต่างของงบประมาณและต้นทุนของเส้นทางที่ต่ำที่สุด

T คือ ร้อยละของเวลาในการขนส่งแต่ละเส้นทางกับเวลาที่ผู้ตัดสินใจกำหนด

R_k คือ ร้อยละของผลต่างของคะแนนความเสี่ยงที่ k และคะแนนความเสี่ยงของเส้นทางที่ต่ำที่สุด

i คือ เกณฑ์ในการตัดสินใจที่ i; $i = 1, 2, \dots, m$

j คือ เส้นทางจราจรขนส่งที่ j; $j = 1, 2, \dots, n$

k คือ ความเสี่ยงที่ k

จากสมการเป้าหมายและเงื่อนไข ผู้วิจัยได้ทำการปรับบรรทัดฐานให้กับหน่วยของต้นทุน ระยะเวลา และระดับความเสี่ยง เพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกันดังนี้

$$c_j = [(\text{ต้นทุนที่กำหนด} - \text{ต้นทุนของเส้นทาง } j) \times 100] / \text{ต้นทุนที่กำหนด} \quad (5)$$

$$C = [(\text{ต้นทุนที่กำหนด} - \text{ต้นทุนที่ต่ำสุดของเส้นทาง } j) \times 100] / \text{ต้นทุนที่กำหนด} \quad (6)$$

$$t_j = (\text{ระยะเวลาของเส้นทาง } j / \text{ระยะเวลาที่กำหนด}) \times 100 \quad (7)$$

$$T = 100\% \quad (8)$$

$$r_{kj} = [(\text{ระดับความเสี่ยง } k \text{ ที่กำหนด} - \text{ระดับความเสี่ยงของเส้นทาง } j) \times 100] / \text{ระดับความเสี่ยงที่กำหนด} \quad (9)$$

$$R_k = [(\text{ระดับความเสี่ยง } k \text{ ที่กำหนด} - \text{ระดับความเสี่ยงที่ต่ำที่สุดของเส้นทางทั้งหมด}) \times 100] / \text{ระดับความเสี่ยงที่กำหนด} \quad (10)$$

2.6 เลือกเส้นทางจราจรขนส่งที่เหมาะสม

ผู้วิจัยจะทำการเลือกเส้นทางจราจรขนส่งวัตถุอันตรายที่เหมาะสมที่สุดจากค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายที่มีค่าต่ำที่สุด (Minimum Z) ทั้งนี้เส้นทางที่มีต้นทุน ระยะเวลา หรือระดับความเสี่ยงสูงกว่าที่ผู้ตัดสินใจกำหนดเส้นทางนั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณา [14]

3. ผลการวิจัย

หลังจากที่ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแล้ว ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนที่กำหนดในข้างต้นประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุอันตราย โดยมีจุดเริ่มต้นที่ท่าเรือกรุงเทพ และปลายทางที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ดังนี้

3.1 ผลการคำนวณระดับความเสี่ยงของเส้นทางขนส่งวัตถุอันตราย

ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณระดับความเสี่ยงตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา โดยให้ผู้บริหารของทางโรงงาน หรือผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจของโรงงานกรณีศึกษาทำการประเมินความเสี่ยงทั้งหมด แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 9 เมื่อกำหนดให้เกณฑ์การตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่ง ได้แก่ ต้นทุนของเส้นทาง (dc_1) ระยะเวลาของเส้นทางในการขนส่ง (dc_2) ความเสี่ยงต่อวัตถุอันตราย (dc_3) ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวก (dc_4) ความเสี่ยงด้านอื่นๆ (dc_5) ความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง (dc_6) และความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ (dc_7)

ตารางที่ 9 ระดับความเสี่ยงด้านต่างๆ ของเส้นทางฯ

ความเสี่ยง	เส้นทางถนน			เส้นทาง			เส้นทาง		
	รวมค่าแห่ง			ถนนสุขุมวิท 77			หมายเลข 34		
	ความน่าจะเป็น	ผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ความน่าจะเป็น	ผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ความน่าจะเป็น	ผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง
dc_3	2	2	4	3	1	3	2	1	2
dc_4	1	1	1	2	2	4	1	3	3
dc_5	2	2	4	4	1	4	1	3	3
dc_6	1	2	2	3	3	6	2	1	2
dc_7	3	5	15	2	2	4	1	4	1

3.2 ผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดไปทำการกำหนดน้ำหนักความสำคัญด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบความสำคัญโดยผู้บริหารของโรงงานกรณีศึกษา หรือผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจ ผลการกำหนดน้ำหนักความสำคัญ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจ	น้ำหนักความสำคัญ	C.R.
dc_1	0.193	
dc_2	0.118	
dc_3	0.074	
dc_4	0.061	0.090
dc_5	0.102	
dc_6	0.208	
dc_7	0.244	

3.3 ผลการสร้างสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งในการเลือกเส้นทางขนส่งวัตถุอันตราย

สำหรับตัวแบบสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งในการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุอันตราย เมื่อกำหนดให้ศูนย์แทนการไม่เลือก และหนึ่งแทนการเลือก โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ต้นทุนการขนส่งที่ผู้ตัดสินใจมีเท่ากับ 10,000 บาท ระยะเวลาในการขนส่งเท่ากับ 120 นาที และระดับความเสี่ยงด้านต่างๆ ต้องมีค่าระดับความเสี่ยงไม่เกิน 9 ผลการสร้างตัวแบบสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งในการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุอันตรายแสดงดังนี้

$$\text{Minimize } Z = 0.193(d_{dc1}^+) + 0.118(d_{dc2}^+) + 0.074(d_{dc3}^+) + 0.061(d_{dc4}^+) + 0.102(d_{dc5}^+) + 0.208(d_{dc6}^+) + 0.244(d_{dc7}^+)$$

เงื่อนไขด้านต้นทุน

$$18.360X_1 + 7.530X_2 + 9.120X_3 - d_{dc1}^+ = 18.360$$

เงื่อนไขด้านระยะเวลา

$$97.500X_1 + 81.667X_2 + 75.833X_3 - d_{dc2}^+ = 100$$

เงื่อนไขความเสี่ยงต่อวัตถุอันตราย

$$55.556X_1 + 66.667X_2 + 77.778X_3 - d_{dc3}^+ = 77.778$$

เงื่อนไขความเสี่ยงโครงสร้างพื้นฐานฯ

$$88.889X_1 + 55.556X_2 + 66.667X_3 - d_{dc4}^+ = 88.889$$

เงื่อนไขความเสี่ยงด้านอื่นๆ

$$55.556X_1 + 55.556X_2 + 66.667X_3 - d_{dc5}^+ = 66.667$$

เงื่อนไขความเสี่ยงจากวัตถุอันตรายที่ขนส่ง

$$77.778X_1 + 33.333X_2 + 77.778X_3 - d_{dc6}^+ = 77.778$$

เงื่อนไขความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ

$$-66.667X_1 + 55.556X_2 + 55.556X_3 - d_{dc7}^+ = 55.556$$

3.4 ผลการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายที่เหมาะสม

จากผลลัพธ์การสร้างสมการเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งในการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายในขั้นตอนที่ผ่านมา ในขั้นตอนนี้จะนำสมการเป้าหมายที่สร้างได้ไปทำการเลือกเส้นทางที่มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเกณฑ์การตัดสินใจน้อยที่สุด ภายใต้งบประมาณ 10,000 บาท ระยะเวลา 120 นาที และระดับความเสี่ยงทุกด้านต้องไม่เกิน 9 จากผลการรวบรวมข้อมูลต้นทุนและระยะเวลาของเส้นทาง และผลการคำนวณระดับความเสี่ยงในแต่ละด้าน สามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางขนส่งวัตถุดิบทรายแต่ละเส้นทางได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทราย

เกณฑ์การตัดสินใจ	เส้นทางถนน รวมค่าแห่ง	เส้นทางถนน สุภูมิวิท 77	เส้นทาง หมายเลข 34
dc ₁ (หน่วย : บาท)	8,164	9,247	9,088
dc ₂ (หน่วย : นาที)	117	98	91
dc ₃ (หน่วย : ระดับ)	4	3	2
dc ₄ (หน่วย : ระดับ)	1	4	3
dc ₅ (หน่วย : ระดับ)	4	4	3
dc ₆ (หน่วย : ระดับ)	2	6	2
dc ₇ (หน่วย : ระดับ)	15	4	1
ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย	-	17.487	5.991

จากตารางที่ 11 เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายทั้ง 3 เส้นทางแล้วพบว่าเส้นทางถนนรวมค่าแห่งไม่มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายเนื่องจากในเส้นทางนี้มีค่าระดับความเสี่ยงด้านความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุเกินกว่าที่กำหนดจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา ส่วนเส้นทางถนนสุภูมิวิท 77 มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายเท่ากับ 17.487 และสุดท้ายเส้นทางหมายเลข 34 มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายเท่ากับ 5.991 ตามลำดับ ดังนั้นเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับโรงงานกรณีศึกษา คือ เส้นทางหมายเลข 34 โดยมีจุดเริ่มต้นจากท่าเรือกรุงเทพมาตามถนนทางรถไฟสายเก่า ผ่านถนนสรรพาวุธ ถนนบางนา-ตราด ถนนสุวรรณภูมิ และจุดปลายทางที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

4. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้การโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งกับการประเมินความเสี่ยงในการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายที่เหมาะสมของโรงงานกรณีศึกษาที่เป็นโรงงานผลิตภัณฑ์ยาแม่ลงภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุน ระยะเวลา ความเสี่ยงต่อวัตถุดิบทราย ความเสี่ยงด้านความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวก ความเสี่ยงด้านความเสี่ยงด้านอื่นๆ ความเสี่ยงด้านความเสี่ยงจากวัตถุดิบทราย และความเสี่ยงด้านความเสี่ยงจากผลกระทบของการเกิดอุบัติเหตุ โดยพบว่าเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ เส้นทางถนนหมายเลข 34 เป็นเส้นทางที่มีต้นทุนและระยะเวลาในการขนส่ง และระดับความเสี่ยงด้านต่างๆ ไม่เกินที่กำหนด สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Soontree [14] และ Nares [15] ที่ศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายด้วยการพิจารณาเส้นทางการขนส่งที่มีระดับความเสี่ยงต่ำสุด นอกจากนี้วิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายที่นำเสนอในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจได้ตามความเหมาะสมอีกด้วย สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตอาจมีการนำเกณฑ์พิจารณาความเสี่ยง หรือเกณฑ์การตัดสินใจด้านอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการขนส่งมาร่วมพิจารณา หรือประยุกต์ใช้แนวคิดการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายกับการขนส่งรูปแบบอื่น รวมถึงการพัฒนาสมการเป้าหมาย และเกณฑ์การตัดสินใจให้เหมาะสมกับการเลือกเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบทรายที่เป็นการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Meethom, W. and Koohathongsumrit, K. "The standard-based assessment for route potential of railway goods transportation for physical factors". MUT J. Bus. Adm. 2015; 12(1): 54-73. (In Thai).
- [2] Koohathongsumrit, K. "Optimization route selecting by multi-criteria decision making analysis". RMUTP Res. J. 2017; 11(1): 137-150. (In Thai).
- [3] Koohathongsumrit, K. "Selecting optimum route for raw materials: a case study of an instant food factory". Ramkhamhaeng Res. J. Sci. Technol. 2017; 20(1): 1-17. (In Thai).

- [4] Kengpol, A., Meethom, W. and Tuominen, M. "The development of a decision support system in multimodal transportation routing within Greater Mekong sub-region countries". *Int. J. Prod. Econ.* 2012; 140(2): 691-701.
- [5] Meethom, W. "Design of a decision support system in multimodal transportation between Thai and Vietnam [Ph.D. dissertation]". King Mongkut's University of Technology North Bangkok; 2010. (In Thai).
- [6] Koothongsumrit, K. "Selecting optimal distribution route by zero-one goal programming model". *PNRU Res. J. (Sci. Technol.)* 2017; 12(2): 79-92. (In Thai).
- [7] Hallikas, J., Virolainen, V. and Tuominen, M. "Risk analysis and assessment in network environments: A dyadic case study". *Int. J. Prod. Econ.* 2002; 78(1): 45-55.
- [8] Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V. and Tuominen, M. "Risk management processes in supplier networks". *Int. J. Prod. Econ.* 2004; 90(1): 47-58.
- [9] Meethom, W. and Chimmanee, S. "The decision making of the freight route between Thailand and North East India by AHP and ZOGP". *MUT J. Bus. Adm.* 2014; 11(2): 21-42. (In Thai).
- [10] Sattayaprasert, W., Hanaoka, S., Taneerananon, P. and Pradhananga, R. "Creating a Risk-Based Network for Hazmat Logistics by Route Prioritization with AHP". *IATSS Research.* 2008; 32(1): 74-87.
- [11] US Department of Transportation. *Highway Routing of Hazardous Materials Guidelines for Applying Criteria.* FHWA-HI-97-003. USDOT: Washington; 1996.
- [12] Saaty, T. L. "How to make a decision: The analytic hierarchy process". *Eur. J. Oper. Res.* 1990; 48(1): 9-26.
- [13] Saaty, T. L. "The Analytic Hierarchy Process". 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [14] Oumbangtalard, S. "A risk assessment of acrylonitrile transportation routes from Samut prakan province to Saraburi provinc [MSc thesis]". Mahidol University; 2002.
- [15] Anannavee, N. "A relative risk study using route segment for chlorine transportation [MSc thesis]". Mahidol University; 2003.