http://journal.rmutp.ac.th/

การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
172 ถนนอิสรภาพ แขวงวัดกัลยาณ์ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600

รับบทความ 5 มกราคม 2017; ตอบรับบทความ 27 มีนาคม 2017

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้เพื่อนำเสนอแนวคิดวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสม โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติเข้าด้วยกัน พร้อมทั้งนำวิธีการที่เสนอประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าจากท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ไปยังนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจด้านต้นทุนในการขนส่งสินค้า ระยะเวลาในการขนส่งสินค้า ความเสี่ยงต่อตัวสินค้า ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทางการขนส่ง และความเสี่ยงด้านอื่นๆ ทั้งนี้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์นั้นถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ ส่วนวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ ถูกนำมาใช้เพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ผลการวิจัยพบว่าวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติเป็นวิธีการใหม่มีความยืดหยุ่นสูง ให้ความคลาดเคลื่อนจากการกำหนดน้ำหนักความสำคัญน้อย มีประสิทธิภาพการตัดสินใจในการพิจารณาทางเลือกได้ดีกว่าการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งอย่างเดียวและมีขั้นตอนการคำนวณไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ด้วยวิธีการอื่น

คำสำคัญ : การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า; การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์; กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์; การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ

* *ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 2403 6837, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: NitidetchGTpart2@hotmail.com*

http://journal.rmutp.ac.th/

Optimization Route Selecting by Multi-Criteria Decision Making Analysis

Nitidetch Koohatongsumrit*

Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University
172 Itsaraphap Road, Wat Kanlaya, Thonburi, Bangkok, 10600

Received 5 January 2017; accepted 27 March 2017

Abstract

The objective of this research is to propose method for optimization route selection by Analytic Hierarchy Process (AHP) and The Technique for Order Preference by Similarity to The Ideal Solution (TOPSIS) model. The model was applied to case study route selection from Laem Chabang Port in Chonburi to Bangpoo Industrial Estate in Samut Prakan based on the criteria: cost of transportation, transit time, risk of freight damaged, risk of infrastructure and equipment and risk of other factors. AHP was used to determine the relative weight of criteria. Additionally, TOPSIS was used to select the best alternative routes. The result showed that the AHP-TOPSIS model which is new approach for route selection, flexible, decrease discrepancy from weighting, more efficient than one, either AHP or TOPSIS and not too complicated models compared to the other methods in multiple criteria analysis.

Keywords : Transportation Route Selection; Multi-Criteria Decision Making; Analytic Hierarchy Process; The Technique for Order Preference by Similarity to The Ideal Solution

*** Corresponding Author. Tel.: +669 2403 6837, E-mail Address: NitidetchGTpart2@hotmail.com***

1. บทนำ

การขนส่งสินค้าเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการทางโลจิสติกส์ และเป็นกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า เช่น ความสามารถในการจัดส่งสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด การส่งมอบสินค้าในปริมาณที่กำหนด การรักษาความสมบูรณ์ของสินค้าจากการขนส่ง ฯ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการดำเนินธุรกิจโดยทั่วไปยังขาดกลยุทธ์ หรือเทคนิคที่ใช้ในการจัดการกับการขนส่งสินค้า

การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้านับเป็นกลยุทธ์ หรือเทคนิคหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทางโลจิสติกส์ เช่น สามารถลดต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ สร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน สร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า เป็นต้น ทั้งนี้การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้านั้นอาจประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจ (Criteria) ที่แตกต่างกัน หรืออาจจะใช้เกณฑ์การตัดสินใจเดียวกันแต่ให้ความสำคัญที่แตกต่างกันก็ได้ นอกจากนี้การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าอาจประกอบไปด้วยทางเลือกหลายเส้นทาง (Alternatives) หลายรูปแบบ ซึ่งอาจจะมีข้อได้เปรียบ เสียเปรียบที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับรูปแบบการขนส่งสินค้าทางถนนที่มักประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกที่มีความแตกต่างกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเส้นทางขนส่งสินค้า พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่นำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะกับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ มีการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ จำนวนมาก เช่น การถ่วงน้ำหนักความสำคัญอย่างง่าย (Simple Additive Weighting) การวิเคราะห์โปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง (Zero-One Goal Programming : ZOGP) การวิเคราะห์กรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis : DEA) แนวคิดของตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Logic) เช่น [1] ที่ใช้การถ่วงน้ำหนักอย่างง่ายและตรรกะคลุมเครือร่วมกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าจากตอนเหนือของประเทศไทยไปยังตอนใต้ของประเทศจีนโดยพิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม [2] และ [3] ที่นำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มาใช้ร่วมกับตรรกะคลุมเครือในการตัดสินใจพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางสำหรับการส่งออกยางพาราของประเทศไทยและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากเมืองบูซานไปยังเมืองมอสโคว ตามลำดับ [4], [5] และ [6] ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบของกลุ่มภูมิประเทศลุ่มน้ำโขงพิจารณาจากเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพโดยใช้การวิเคราะห์โปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่งร่วมกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ [7] ที่นำกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์กรอบข้อมูลและการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณสำหรับการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยพบว่างานวิจัยที่ได้กล่าวมาในข้างต้นได้ทำการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมโดยเป็นการศึกษาเฉพาะการขนส่งสินค้าที่เป็นการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเพียงเท่านั้น นอกจากนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าในข้างต้นยังไม่มีงานวิจัยใดประยุกต์กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ร่วมกับการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for Order

Preference by Similarity to Ideal Solution : TOPSIS) คิดโดย [8] เป็นวิธีที่อาศัยหลักการเลือกทางเลือกจากระยะใกล้ในทางเลือกเชิงบวกและระยะไกลสุดของแนวคิดเชิงลบ ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอแนวคิดในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยประยุกต์ AHP และ TOPSIS เข้าด้วยกัน โดยทั้งสองวิธีนั้นเป็นเทคนิคในการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ซึ่งมีข้อดี-ข้อด้อยต่างกัน เช่น AHP มีการเปรียบเทียบรายคู่แต่ต้องใช้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเอนเอียงในการประเมินได้ ส่วน TOPSIS จะมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์เกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณได้ดี, AHP ใช้ความสัมพันธ์เชิงลำดับขั้น แต่ TOPSIS ใช้แผนผังต้นไม้, TOPSIS ไม่นำเกณฑ์ที่มีน้ำหนักเป็นศูนย์มาคิด โดยการนำ AHP กับ TOPSIS มาประยุกต์ใช้ร่วมกันนั้นจะทำให้ลดข้อบกพร่องซึ่งกันและกันและทำให้สามารถเลือกทางเลือกได้ดีที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการ หรือผู้ที่เกี่ยวข้องในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

นำเสนอแนวคิดในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสม โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติด้วยกัน

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1.2.1 การศึกษาวิจัยนี้ทำการศึกษากับกรณีศึกษาเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนนจากท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีไปยังนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

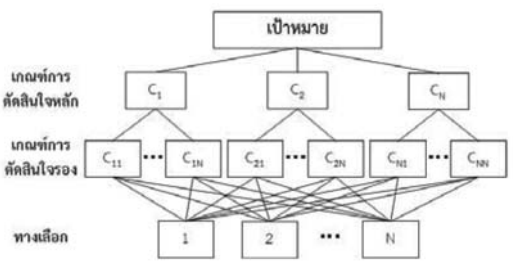
1.2.2 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะรูปแบบการขนส่งสินค้าทางถนนด้วยรถตู้บรรทุกประเภท 2 เพลา 4 ล้อ ที่ขนส่งสินค้าในประเทศไทยเพียงเท่านั้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ต้องการนำเสนอแนวคิดในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสม โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ ประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

2.1 กำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจและทางเลือก

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดการกับปัญหาในการตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแผนภาพโครงสร้างการตัดสินใจเชิงลำดับขั้น ซึ่งประกอบไปด้วย เป้าหมาย หรือวัตถุประสงค์ เกณฑ์การตัดสินใจหลัก เกณฑ์การตัดสินใจรอง และทางเลือกต่างๆ โดยเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดนั้นได้มาจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า ทั้งนี้จำนวนของลำดับขั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของการตัดสินใจว่ามีความซับซ้อนเพียงใด แสดงแผนภาพการตัดสินใจเชิงลำดับขั้นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพการตัดสินใจเชิงลำดับขั้น

2.2 เปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

การเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านโลจิสติกส์อย่างน้อย 10 ปี จำนวน 3 ราย เพื่อการ

จัดลำดับความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ โดยทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักเกณฑ์การตัดสินใจรอง และทางเลือกทั้งหมดเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจรองในรูปของตารางขนาด NxN แสดงตารางการเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการเปรียบเทียบความสำคัญ

	เกณฑ์ที่ 1	**เกณฑ์ที่ 2**	**. .**	**เกณฑ์ที่ N**
เกณฑ์ที่ 1	-	A_{1N}	. .	A_{1N}
เกณฑ์ที่ 2	-	-	. .	A_{2N}
:	:	:	. .	:
เกณฑ์ที่ N-1	-	-	. .	$A_{(N-1)N}$

** เมื่อ A_{iN} คือ ตัวเลขการประเมินความสำคัญ i = 1, .., N

การเปรียบเทียบความสำคัญผู้วิจัยได้เลือกใช้ชุดตัวเลขสำหรับการเปรียบเทียบของ [9] ทั้งนี้ชุดตัวเลขการประเมินนั้นจะเป็นเลขจำนวนเต็มเมื่อผู้เชี่ยวชาญพิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจที่ N ในแนวตั้งมีความสำคัญมากกว่าเกณฑ์การตัดสินใจที่ N ในแนวนอน แต่หากผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความสำคัญแล้วพบว่าเกณฑ์การตัดสินใจที่ N ในแนวตั้งมีความสำคัญน้อยกว่าเกณฑ์การตัดสินใจที่ N ในแนวนอนตัวเลขการประเมินนั้นจะต้องอยู่ในรูปของเศษส่วน แสดงชุดตัวเลขการประเมินความสำคัญดังตารางที่ 2

2.3 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมเอ็คส์เพิร์ทช้อยส์ 11 (Expert Choice 11) ในการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ เริ่มจากการคำนวณความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจหลัก เกณฑ์การตัดสินใจรอง และทางเลือกทั้งหมดเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจรอง โดยการคำนวณน้ำหนักความสำคัญนั้นจะทำการคำนวณน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจตามผลจากการเปรียบเทียบความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา จากนั้นทำการรวมค่าน้ำหนักความสำคัญผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย

2.4 ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูล

การตรวจสอบความสอดคล้องของการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญทั้งหมด โดยการพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio : C.R.) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Index : C.I.) และดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลเชิงสุ่ม (Random Consistency Index : R.I.) ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องที่ยอมรับได้ต้องเป็นไปตามขนาดของตารางการเปรียบเทียบความสำคัญที่กำหนด [10] โดยค่า C.R. ไม่ควรเกิน 0.05 สำหรับกรณี 3x3, ไม่ควรเกิน 0.08 สำหรับกรณี 4x4 และไม่ควรเกิน 0.1 สำหรับกรณีมากกว่า 5x5 หากค่าอัตราส่วนความสอดคล้องไม่เป็นไปตามที่กำหนดผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความสำคัญใหม่ หรือตัดเกณฑ์การตัดสินใจนั้นทิ้งจากการตัดสินใจ

ตารางที่ 2 ชุดตัวเลขการประเมินความสำคัญ

ระดับความสำคัญ	**ตัวเลข**
ความสำคัญเท่ากัน	1
ความสำคัญเท่ากันถึงปานกลาง	2
ความสำคัญปานกลาง	3
ความสำคัญปานกลางถึงค่อนข้างมาก	4
ความสำคัญค่อนข้างมาก	5
ความสำคัญค่อนข้างมากถึงมากกว่า	6
ความสำคัญมากกว่า	7
ความสำคัญมากกว่าถึงมากที่สุด	8
ความสำคัญมากที่สุด	9

2.5 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐาน

หลังจากคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญแล้ว ในขั้นตอนหลังจากนี้จะเป็นการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมโดยการประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติตามแนวทางของ [11] โดยเริ่มจากการสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐาน (Normalize Decision Matrix) เพื่อทำให้ x_{ij} เป็นค่าที่ปรับบรรทัดฐาน (n_{ij}) ที่ระนาบเดียวกัน ดังสมการที่ (1)

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i}^{m} x_{ij}^2}} \quad (1)$$

โดยที่ $i = 1, ..., m$ และ $j = 1, ..., n$

2.6 คำนวณค่าปรับบรรทัดฐานถ่วงน้ำหนัก

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทำการคำนวณหาค่าค่าปรับบรรทัดฐานถ่วงน้ำหนัก (v_{ij}) ดังสมการที่ (2)

$$v_{ij} = w_j n_{ij} \quad (2)$$

โดยที่

w_j = น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจหลักที่ j

$i = 1, ..., m$ และ $j = 1, ..., n$

2.7 คำนวณค่าอุดมคติเชิงบวกและอุดมคติเชิงลบ

หลังจากคำนวณค่า v_{ij} ได้แล้วในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการคำนวณค่าแนวคิดอุดมคติเชิงบวก (Positive Ideal) กำหนดให้เป็น A^+ และแนวคิดอุดมคติเชิงลบ (Negative Ideal) กำหนดให้เป็น A^- แสดงดังสมการที่ (3) และ (4) [12]

$$A^+ = \left\{\left(\max_j v_{ij} \mid i \in I\right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in J\right)\right\} \quad (3)$$

$$A^- = \left\{\left(\min_j v_{ij} \mid i \in J\right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I\right)\right\} \quad (4)$$

โดยที่

i คือ ตัวเลือกที่เป็นกำไร หรือผลประโยชน์

i คือ ตัวเลือกที่ไม่เป็นประโยชน์

2.8 คำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะ

การคำนวณหาระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะ (Distance of the Ideal Solution) โดยทำการคำนวณหาระยะห่างจากแนวคิดเชิงบวก (d_i^+) และระยะห่างจากแนวคิดเชิงลบ (d_i^-) จากสมการที่ (5) และสมการที่ (6)

$$d_i^+ = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^+\right)^2\right\}^{1/2} \quad (5)$$

$$d_i^- = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^-\right)^2\right\}^{1/2} \quad (6)$$

โดยที่ $i = 1, ..., m$

2.9 คำนวณความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหา

ในขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหา (C_i) ดังสมการที่ (7) โดยค่า C_i จะใช้ในการจัดลำดับเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด จากระยะใกล้ที่สุดของทางเลือกแนวคิดเชิงบวกและเลือกระยะไกลที่สุดของทางเลือกที่เป็นแนวคิดเชิงลบ หรือเลือกค่า C_i ที่มากที่สุด

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad (7)$$

โดยที่ $i = 1, ..., m$

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนจากจุดเริ่มต้นท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ไปยังปลายทางที่นิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีผลการศึกษาตามขั้นตอนที่กล่าวในข้างต้นดังนี้

3.1 เกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือก

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เกณฑ์การตัดสินใจในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าตามแนวทางงานวิจัยของ [4], [5], [6] และ [7] เนื่องจากงานวิจัยเหล่านี้มีการนำเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาร่วมพิจารณาซึ่งต่างจากงานวิจัยในอดีต เช่น [13], [14] และ [15] ที่พิจารณาเฉพาะเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ ได้แก่ ต้นทุนการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด หรือระยะเวลาในการขนส่งสินค้าที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจหลัก ได้แก่ ต้นทุนการขนส่งสินค้า และระยะเวลาในการขนส่งสินค้า ซึ่งเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ กลุ่มความเสี่ยงต่อตัวสินค้า, กลุ่มความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทางการขนส่ง และกลุ่มความเสี่ยงด้านอื่นๆ ซึ่งเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพนอกจากนี้เกณฑ์การตัดสินใจหลักยังประกอบไปด้วยเกณฑ์การตัดสินใจรองอีกหลายเกณฑ์ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

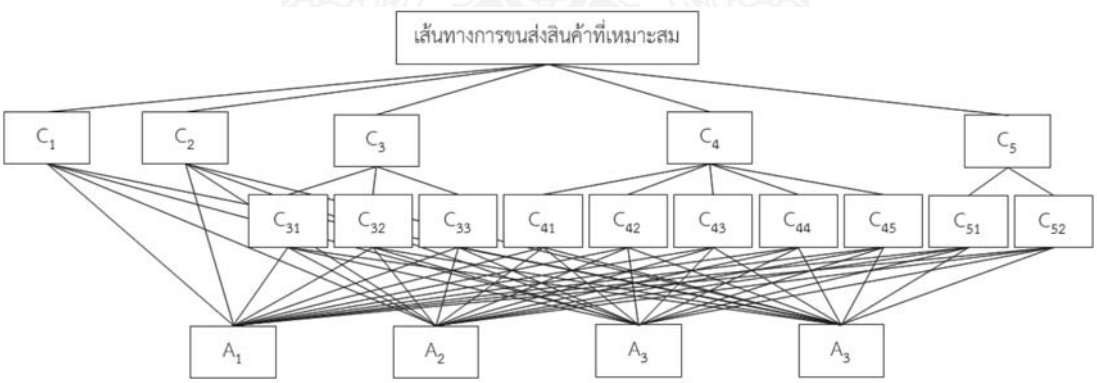
สำหรับเส้นทางในการขนส่งสินค้าทางถนนที่ใช้เป็นทางเลือกนั้นประกอบไป 4 เส้นทางที่เป็นไปได้ ได้แก่ เส้นทางหมายเลข 3 (A_1), เส้นทางพิเศษบูรพาวิถี (A_2), เส้นทางหมายเลข 7 และทางพิเศษบูรพาวิถี (A_3) และเส้นทางหมายเลข 7 (A_4) แสดงเส้นทางขนส่งสินค้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังรูปที่ 2

จากนั้นผู้วิจัยได้นำเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกทั้งหมดมาสร้างเป็นแผนภาพเชิงลำดับขั้นของการตัดสินใจ โดยกำหนดเป้าหมาย หรือวัตถุประสงค์ในระดับที่ 1 คือ เส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม เกณฑ์การตัดสินใจหลักในระดับที่ 2 เกณฑ์การตัดสินใจรองในระดับที่ 3 และทางเลือกในระดับที่ 4 ตามลำดับ แสดงแผนภาพการตัดสินใจเชิงลำดับขั้นของการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมดังรูปที่ 3

รูปที่ 2 เส้นทางขนส่งสินค้าทั้งหมด

ตารางที่ 3 เกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรอง
ต้นทุนการขนส่งสินค้า (C_1)
ระยะเวลาในการขนส่งสินค้า (C_2)
กลุ่มความเสี่ยงต่อตัวสินค้า (C_3)
- ความเสียหาย หรือสูญหายในเส้นทางและการขนถ่ายสินค้า (C_{31})
- ความเสียหาย หรือสูญหายจากการพักที่คลังสินค้า (C_{32})
- การสอบกลับได้ของสินค้า ตู้บรรจุสินค้า พาหนะที่ขนส่ง และดำเนินการส่งกลับ (C_{33})
กลุ่มความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวกของเส้นทางการขนส่ง (C_4)
- ความลาดชัน ความกว้างของถนน ปริมาณสูงสุดที่รับน้ำหนักได้ของสะพานในเส้นทางการขนส่งโดยเฉลี่ย (C_{41})
- อุปสรรคของเส้นทางที่เกิดจากฤดูกาล (C_{42})
- ความเสี่ยงและความปลอดภัยของเส้นทางจากอุบัติเหตุ (C_{43})
- ความพร้อมของอุปกรณ์อำนวยความสะดวก (C_{44})
- ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนเส้นทางหากเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด (C_{45})
กลุ่มความเสี่ยงด้านอื่น (C_5)
- กฎระเบียบทางจราจร (C_{51})
- ความเสี่ยงจากปัญหาทางการเมือง (C_{52})



รูปที่ 3 แผนภาพการตัดสินใจเชิงลำดับขั้นของการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม

3.2 ผลการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือก

ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์การตัดสินใจให้กับผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านโลจิสติกส์เกี่ยวกับการบริหารการขนส่งและโลจิสติกส์ย้อนกลับอย่างน้อย 10 ปี ทำการประเมิน เนื่องจากการประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจด้วย AHP นั้นไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ประเมินเยอะแต่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในเรื่องที่ต้องการศึกษาสูงซึ่งมีจำนวนไม่มาก โดยเฉพาะการศึกษาวิจัยนี้ที่กำหนดคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีประสบการณ์ด้านการบริหารการขนส่งและโลจิสติกส์ย้อนกลับมากถึง 10 ปีนั้นยังมีจำนวนน้อย ผู้วิจัยได้รวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีคุณสมบัติตามที่กล่าวในข้างต้นจำนวน 3 ราย ซึ่งเป็นผู้บริหารระดับสูงที่ทำงานในบริษัทด้านขนส่งสินค้าภายในประเทศที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบความสำคัญเริ่มจากการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจหลัก เกณฑ์การตัดสินใจรอง และทางเลือกทั้งหมดเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจรอง แสดงผลการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	-	1	3	3	2
C_2	-	-	1/2	1	2
C_3	-	-	-	3	1
C_4	-	-	-	-	1/3

3.3 ผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ

ผู้วิจัยได้นำผลการเปรียบเทียบความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมาคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญโดยเฉลี่ย พร้อมทั้งตรวจสอบค่าอัตราส่วนความสอดคล้องซึ่งต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนด [10] ผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลัก เกณฑ์การตัดสินใจรอง และทางเลือก แสดงดังตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 7

ตารางที่ 5 การให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจหลัก

	ผู้เชี่ยวชาญ			
	E_1	E_2	E_3	เฉลี่ย
C_1	0.338	0.263	0.401	0.334
C_2	0.147	0.179	0.186	0.171
C_3	0.206	0.095	0.079	0.127
C_4	0.092	0.290	0.188	0.190
C_5	0.217	0.173	0.147	0.179
C.R.	0.080	0.070	0.070	-

ผลการประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจหลักผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจหลัก C_1 มากที่สุด และให้ความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจ C_4 ,C_5, C_2, และ C_3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 การให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจรอง

	ผู้เชี่ยวชาญ			เฉลี่ย
	E_1	E_2	E_3	
C_{31}	0.540	0.157	0.678	0.458
C_{32}	0.163	0.594	0.142	0.300
C_{33}	0.297	0.249	0.179	0.242
C.R.	0.009	0.050	0.050	-
C_{41}	0.108	0.345	0.184	0.212
C_{42}	0.249	0.208	0.469	0.309
C_{43}	0.127	0.092	0.177	0.132
C_{44}	0.122	0.203	0.060	0.128
C_{45}	0.394	0.152	0.110	0.219
C.R.	0.070	0.090	0.090	-
C_{51}	0.800	0.875	0.667	0.781
C_{52}	0.200	0.125	0.333	0.219
C.R.	0.000	0.000	0.000	-

จากตารางที่ 6 ผลการประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจรอง เช่น เกณฑ์การตัดสินใจหลัก C_3 ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจรอง C_{31} มากที่สุด และให้ความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจ C_{32} และ C_{33} ตามลำดับ ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจรองอื่นก็ใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 การให้น้ำหนักความสำคัญของทางเลือกเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจหลักและรอง

		ทางเลือก				
		A_1	A_2	A_3	A_4	C.R.
C_1	E_1	0.425	0.248	0.201	0.125	0.070
	E_2	0.160	0.121	0.336	0.384	0.060
	E_3	0.432	0.213	0.190	0.165	0.040
	เฉลี่ย	0.339	0.194	0.242	0.225	-
C_2	E_1	0.388	0.194	0.267	0.151	0.060
	E_2	0.405	0.230	0.308	0.056	0.060
	E_3	0.368	0.150	0.200	0.282	0.030
	เฉลี่ย	0.387	0.191	0.258	0.163	-
C_{31}	E_1	0.427	0.098	0.142	0.333	0.060
	E_2	0.419	0.183	0.166	0.231	0.080
	E_3	0.127	0.223	0.325	0.325	0.060
	เฉลี่ย	0.262	0.230	0.230	0.279	-
C_{32}	E_1	0.495	0.117	0.194	0.194	0.020
	E_2	0.137	0.439	0.232	0.192	0.070
	E_3	0.250	0.250	0.250	0.250	0.000
	เฉลี่ย	0.294	0.269	0.225	0.212	-
C_{33}	E_1	0.234	0.241	0.153	0.372	0.050
	E_2	0.306	0.333	0.235	0.125	0.030
	E_3	0.346	0.163	0.286	0.205	0.070
	เฉลี่ย	0.295	0.246	0.225	0.234	-
C_{41}	E_1	0.240	0.185	0.116	0.458	0.050
	E_2	0.105	0.333	0.154	0.408	0.040
	E_3	0.175	0.289	0.289	0.246	0.020
	เฉลี่ย	0.173	0.269	0.186	0.371	-
C_{42}	E_1	0.297	0.139	0.419	0.144	0.040
	E_2	0.237	0.197	0.416	0.150	0.060
	E_3	0.195	0.195	0.177	0.434	0.008
	เฉลี่ย	0.243	0.177	0.337	0.243	-

ตารางที่ 7 การให้น้ำหนักความสำคัญของทางเลือกเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจหลักและรอง (ต่อ)

		ทางเลือก				
		A_1	A_2	A_3	A_4	C.R.
C_{43}	E_1	0.340	0.239	0.281	0.140	0.020
	E_2	0.076	0.231	0.443	0.250	0.008
	E_3	0.319	0.243	0.281	0.157	0.040
	เฉลี่ย	0.245	0.238	0.335	0.182	-
C_{44}	E_1	0.521	0.258	0.095	0.127	0.050
	E_2	0.125	0.273	0.383	0.219	0.080
	E_3	0.122	0.317	0.389	0.172	0.030
	เฉลี่ย	0.256	0.283	0.289	0.173	-
C_{45}	E_1	0.379	0.182	0.243	0.197	0.040
	E_2	0.250	0.154	0.115	0.481	0.040
	E_3	0.312	0.280	0.280	0.127	0.008
	เฉลี่ย	0.314	0.205	0.213	0.268	-
C_{51}	E_1	0.340	0.140	0.239	0.281	0.020
	E_2	0.157	0.319	0.281	0.243	0.040
	E_3	0.418	0.271	0.191	0.120	0.030
	เฉลี่ย	0.305	0.243	0.237	0.215	-
C_{52}	E_1	0.205	0.169	0.288	0.338	0.020
	E_2	0.104	0.165	0.322	0.409	0.050
	E_3	0.556	0.214	0.119	0.112	0.006
	เฉลี่ย	0.288	0.183	0.243	0.286	-

หลังจากคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจหลักและรองแล้วจากนั้นทำการคำนวณน้ำหนักความสำคัญรวมของทางเลือก (x_{ij}) ซึ่งได้จากผลรวมของผลคูณน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือกในเกณฑ์การตัดสินใจรองกับน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจรอง ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจหลักนั้นกำหนดให้ค่า x_{ij} คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของทางเลือกเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจหลักเนื่องจาก C_1 และ C_2 ไม่มีเกณฑ์การตัดสินใจย่อย น้ำหนักความสำคัญรวมของทางเลือกแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 น้ำหนักความสำคัญรวมของทางเลือก

ทางเลือก	เกณฑ์การตัดสินใจหลัก				
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
	0.334	**0.171**	**0.127**	**0.190**	**0.179**
A_1	0.339	0.387	0.280	0.246	0.301
A_2	0.194	0.191	0.245	0.224	0.230
A_3	0.242	0.258	0.227	0.272	0.238
A_4	0.225	0.163	0.248	0.258	0.230

3.4 เมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานถ่วงน้ำหนัก

เพื่อทำให้ x_{ij} เป็นค่าที่ปรับบรรทัดฐาน (n_{ij}) ที่ระนาบเดียวกันโดยใช้สมการที่ (1) และ (2) เมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานถ่วงน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าตัดสินใจปรับบรรทัดฐานถ่วงน้ำหนัก

ทางเลือก	เกณฑ์การตัดสินใจหลัก				
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0.221	0.125	0.071	0.093	0.107
A_2	0.127	0.062	0.062	0.085	0.082
A_3	0.158	0.084	0.058	0.103	0.085
A_4	0.147	0.053	0.063	0.098	0.082

3.5 ค่าอุดมคติเชิงบวกและอุดมคติเชิงลบ

ผลการคำนวณค่าแนวคิดอุดมคติเชิงบวกและแนวคิดอุดมคติเชิงลบ โดยใช้สมการที่ (3) และ (4) แสดงดังนี้ A^+ = {0.221, 0.125, 0.071, 0.103, 0.107} และ A^- = {0.127, 0.053, 0.058, 0.085, 0.082} เพื่อนำไปคำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะต่อไป

3.6 ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะ

ผลการคำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะจากแนวคิดเชิงบวก (d_i^+) และแนวคิดเชิงลบ (d_i^-) โดยสมการที่ (5) และ (6) แสดงดังตารางที่ 10 จากนั้นจึงนำไปคำนวณค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหาต่อไป

ตารางที่ 10 ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะจากแนวคิดเชิงบวกและเชิงลบของเกณฑ์การตัดสินใจหลัก

	d_i^+		d_i^-
$d(A_1, A^+)$	0.010	$d(A_1, A-)$	0.123
$d(A_2, A^+)$	0.118	$d(A_2, A-)$	0.010
$d(A_3, A^+)$	0.080	$d(A_3, A-)$	0.048
$d(A_4, A^+)$	0.107	$d(A_4, A-)$	0.024

3.7 ค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหา

ผลการคำนวณค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหา (C_i) โดยใช้สมการที่ (7) เพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหาแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหา

ทางเลือก	C_i	ลำดับ	ทางเลือก	C_i	ลำดับ
A_1	0.926	1	A_3	0.374	2
A_2	0.080	4	A_4	0.185	3

จากตารางที่ 11 พบว่าเส้นทางที่มีความเหมาะสมที่สุด ได้แก่ A_1 ส่วน A_3 เป็นทางเลือกลำดับที่สอง A_4 เป็นทางเลือกลำดับที่สาม และ A_2 เป็นทางเลือกสุดท้าย ทั้งนี้ยังผู้เชี่ยวชาญที่ทำการประเมินความสำคัญกับเกณฑ์การตัดสินใจนั้นให้ความสำคัญกับ C_1 มากที่สุด C_4 เป็นลำดับที่สอง C_5 เป็นลำดับที่สาม C_2 เป็นลำดับที่สี่ และให้ความสำคัญกับ C_3 น้อยที่สุด โดยเมื่อเทียบกับการเลือกเส้นทางด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพียงอย่างเดียวที่ได้ผลการเลือกเส้นทางเหมือนกันแต่ให้ความสำคัญของ A_3, A_4 และ A_2 ใกล้เคียงกันมากไม่สามารถแยกกันกันได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อนำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ประยุกต์ร่วมกับการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติมาพิจารณาระยะห่างจากแนวคิดการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าแล้วพบว่าสามารถพิจารณาทางเลือกได้ชัดเจนกว่า โดยเส้นทาง A_1 มีความสำคัญมากที่สุด และเส้นทาง A_3, A_4 และ A_2 ตามลำดับ

4. สรุป

การเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าที่เหมาะสมด้วยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์กับการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติในการศึกษาครั้งนี้เป็นวิธีการใหม่ มีความยืดหยุ่นสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง ลดความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาทางเลือกจากการกำหนดน้ำหนักความสำคัญ โดยลดข้อบกพร่องของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ที่เหมาะกับการตัดสินใจที่เป็นลักษณะเชิงคุณภาพ ไม่เหมาะกับข้อมูลที่

เป็นตัวเลขที่มีจำนวนมาก อาจเกิดความเอนเอียง และลดข้อบกพร่องของการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติที่เหมาะกับข้อมูลเชิงปริมาณที่เป็นตัวเลข มีการคำนวณค่าความสัมพันธ์เชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหาแต่ไม่ได้มีการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจกับทางเลือกเป็นรายคู่ เมื่อประยุกต์ทั้งสองวิธีด้วยกันในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า พบว่าสามารถพิจารณาทางเลือกได้ชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากมีการนำผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญไปทำการพิจารณาระยะใกล้แนวคิดเชิงบวกและห่างจากแนวคิดเชิงลบ ซึ่งจะได้ทางเลือกที่ดีที่สุดมีความชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์กับการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคตินั้นมีขั้นตอนการคำนวณไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ด้วยวิธีการอื่นอีกด้วย สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจจะนำแนวคิดตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Logic) และระบบสนับสนุนการตัดสินใจมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาทางเลือกก็ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความร่วมมือในการประเมิน และข้อมูลสำหรับการศึกษาครั้งนี้ จนการศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] R. Banomyong *et al.*, "The study of logistics system of international trade between Thailand and China for ASEAN-China free trade agreement," *The Thailand Research Fund.* 2009.

[2] W. Chanpuypetch and D. Kritchanchai, "Design of decision support system for route selecting of export rubber," in *Proceeding of 9th Thai Value Chain Management and Logistics Conference*, Burapha University, Thailand, 2009, pp. 331-342.

[3] H. J. Ko, "A DSS approach with Fuzzy AHP to facilitate international multimodal transportation network," *KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries*, vol. 1, no. 1, pp. 51-70, 2009.

[4] W. Meethom, "Design of a decision support System in multimodal transportation between Thailand and Vietnam," Ph.D. dissertation, Dept., Ind. Eng., KMUTNB., Bangkok, Thailand, 2010.

[5] A. Kengpol, S. Tuamee and W. Meethom, "Design of a decision support system on selection of multimodal transportation with environmental consideration between Thailand and Vietnam," *AIJSTPME*, vol. 5, no. 2, pp. 55-63, 2012.

[6] A. Kengpol, W. Meethom and M. Tuominen, "The development of a decision support system in multimodal transportation routing within Greater Mekong sub-region countries," *International Journal of Production Economics*, vol. 140, no. 2, pp. 691-701, 2012.

[7] A. Kengpol and S. Tuammee, "The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics: an empirical study," *International Journal of Production Research*, vol. 54, no. 4, pp. 1020-1038, 2015.

[8] C. L. Hwang, and K. Yoon, *Multiple*

Attribute Decision Making: Method and Applications, Springer-Verlag, New York, 1981.

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

[10] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process,* 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

[11] A. Kengpol, P. Rontlaong and M. Tuominen, "A decision support system for selection of solar power plant locations by applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An empirical study," *Journal of Software Engineering and Applications*, vol. 6, no. 9, pp. 470-481, 2013.

[12] P. Worawimolwanich and K. Kesorn, "Decision support system for economic crops using hybrid approaches," in *Proceeding of 11th National Conference on Computing and Information Technology*, Arnoma Hotel, Thailand, 2015, pp. 425-431.

[13] J. H. Bookbinder, N. S. Fox and N. Supatn, "Intermodal routing of Canada–Mexico shipments under NAFTA." *Transportation Research Part E*, vol. 34, no. 4, pp. 289-303, 1998.

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

[15] T. S. Chang, "Best routes selection in international intermodal networks." *Computers & Operations Research*, vol. 35, no. 9, pp. 2877-2891, 2008.