

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ของรูปแบบการขนส่งภายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

พงษ์สันต์ บัณฑิตสกุลชัย¹ ธนพร เกียรติธนะบำรุง² และ ธนัชพร สันตวัตร³

¹ นักวิจัย สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: b.pongsun@gmail.com

² นิสิตปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: thanap.kiat@gmail.com

³ นิสิตปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: nid_thanat@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อศึกษาและวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการขนส่งภายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้ข้อมูลโครงข่ายเส้นทางการขนส่งสินค้าและปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศที่มีอยู่ในปัจจุบันจากฐานข้อมูล GTAP แล้วนำไปสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้ ไปวิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการขนส่งที่จะเกิดขึ้นหากเกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งในอนาคตเพื่อรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community หรือ AEC) โดยรูปแบบการขนส่งที่ศึกษา คือ ทางบก ทางทะเล และทางอากาศ และแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา คือ (1) แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ (2) แบบจำลองการขนส่งสินค้าด้วยสมมติฐาน อุปสงค์คงที่ และการขนส่งรูปแบบเดียว (3) แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง และ (4) แบบจำลองการจัดสรรปริมาณสินค้าในแต่ละเส้นทางการขนส่ง โดยใช้ Wadropian User Equilibrium ผลการศึกษาพบว่า การขนส่งสินค้าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น ทางทะเลมีส่วนมากที่สุด คือ ร้อยละ 65.10 รองลงมา คือ การขนส่งทางบก และทางอากาศที่ร้อยละ 26.65 และ 8.25 ตามลำดับ และจากการศึกษาจะพบว่า แนวโน้มของปริมาณการขนส่งสินค้าทางบกในแต่ละเส้นทางจะเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.38 และต้นทุนรวมจากการขนส่งสินค้าทางบกในทุก ๆ เส้นทางจะลดลงร้อยละ 8.69 หากมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเกิดขึ้น



คำสำคัญ: แบบจำลองการขนส่งสินค้า ปริมาณการขนส่งสินค้า ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน
วิศวกรรมขนส่ง 4-Step Model

ABSTRACT

This research aims to develop ASEAN freight transportation model for determining the pattern of freight flow among countries in Southeast Asia, based on freight flow data and total cost of transportation from Global Trade Analysis Project (GTAP). The model is also calibrated through the transportation network with 3 separated modes of transportation – land, sea and air transports. This model is then used to forecast changes in the pattern of freight flow/cost within the region when the transportation infrastructure projects are developed to support the ASEAN Economic Community (AEC). The underlying models include (1) economic international trade model (2) inelastic transportation demand and a single transportation mode model (3) modal split model and (4) traffic route assignment model with Wadropian user equilibrium theory. In conclusion, the results show that 65.10% of total freight flow within ASEAN are carried by the sea transport, following by the land transport (26.65%) and the air transport (8.25%). Subjected to the proposed infrastructure development project, the freight volume of land transport is increased by 6.38%, while the total cost of land transportation is decreases by 8.69%.

Keywords: Freight Transportation Model, Freight Flow, AEC, Transportation Engineering, 4-Step Model

1. บทนำ

การรวมตัวกันเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community: AEC) ในปี 2015 นับเป็นจุดเริ่มต้นที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบเศรษฐกิจ การค้า และการลงทุนระหว่างประเทศภายในภูมิภาคเป็นอย่างมาก เนื่องจาก “การขยายตัวของตลาด” ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นอันดับที่ 3 ในเอเชีย และอันดับที่ 7 ของโลก โดยทุกประเทศสมาชิกของอาเซียนต่างเห็นพ้องต้องกันว่า การปรับปรุงพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งจะช่วยส่งเสริมความเชื่อมโยงทางเศรษฐกิจ การค้า การลงทุน การท่องเที่ยว และกิจกรรมทางเศรษฐกิจอื่น ๆ ภายในภูมิภาค นอกจากนี้ การคมนาคมขนส่งที่มีประสิทธิภาพและเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบนี้ จะช่วยเพิ่มศักยภาพของการเคลื่อนย้ายทั้งคนและสินค้าภายในภูมิภาค และเปิดโอกาสให้มีการเชื่อมโยงไปยังประเทศอื่น ๆ ทั้งในเอเชียและทั่วโลกอีกด้วย

ทั้งนี้ จำเป็นต้องมีการรอบคอบความร่วมมือและข้อตกลงด้านนโยบายระหว่างประเทศสมาชิกอาเซียน เพื่อก่อให้เกิดการวางแผนโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งในระดับภูมิภาคที่ครอบคลุม ชัดเจนและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อันจะนำไปสู่แผนปฏิบัติการเพื่อเปิดเสรีและสร้างความร่วมมือด้านการขนส่งของภูมิภาคอาเซียน (ASEAN transport cooperation and liberalization agenda) ต่อไป โดยประเทศสมาชิกทุกประเทศควรให้ความสำคัญและบรรจุนโยบาย ข้อตกลง และแผนความร่วมมือเหล่านี้ ในนโยบายบริหารของแต่ละประเทศด้วย นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเพิ่มขีดความสามารถ (capacity building) ของระบบขนส่งระหว่างประเทศ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายแรงงานและสินค้านระหว่างประเทศ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีแบบจำลองที่แสดงรูปแบบการขนส่งสินค้านระหว่างประเทศ โดยเฉพาะภูมิภาคอาเซียนซึ่งมีปริมาณและมูลค่าของการค้าระหว่างประเทศภายในภูมิภาคสูง จึงทำให้การวางแผนโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งของภาครัฐไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร และอาจไม่สอดคล้องกับความต้องการที่เกิดขึ้นจริง

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการสร้างแบบจำลองรูปแบบการขนส่งสินค้านระหว่างประเทศ ในภูมิภาคอาเซียน ‘ASEAN Freight Transportation Model’ จากข้อมูลพื้นฐานด้านการค้า และการขนส่งระหว่างประเทศที่สามารถรวบรวมได้ในปัจจุบัน เพื่อศึกษารูปแบบการขนส่งที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน และใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อรูปแบบการขนส่งสินค้าที่จะเปลี่ยนแปลงไป หากเกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการเปิดเสรีประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนขึ้นในอนาคต เนื่องจากโครงการดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อลดต้นทุนด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ระหว่างประเทศสมาชิกในอาเซียน จากความจุของเส้นทางการขนส่ง (capacity enhancement of transit routes) ที่เพิ่มขึ้น

โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และใช้ข้อมูลนี้เพื่อสร้างแบบจำลองรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (2) เพื่อคำนวณหารูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดในสภาพปัจจุบัน และ (3) เพื่อคำนวณรูปแบบการขนส่งที่จะเปลี่ยนไป เมื่อเกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง เพื่อรองรับการเปิดเสรีประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในอนาคต งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ทั้งต่อนักวางแผนและหน่วยงานภาครัฐ ในการวางแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานให้มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในอนาคตต่อไป ความเชื่อมโยงกันของประเทศสมาชิกที่เพิ่มขึ้น การรวมกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบขนส่งระหว่างประเทศที่ครอบคลุมและปลอดภัย จะช่วยยกระดับความสามารถในการแข่งขันทางด้านการค้าระหว่างประเทศของภูมิภาคนี้ให้สูงขึ้น และนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นทุนการขนส่งสินค้า

การขนส่งสินค้า คือ การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบจากแหล่งผลิตไปสู่อุตสาหกรรมการผลิต การเคลื่อนย้ายสินค้าแปรรูป (processed product) ไปสู่ศูนย์กระจายสินค้า หรือผู้ค้าปลีกโดยตรง และการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (finished product) จากผู้ค้าปลีกไปสู่ผู้บริโภค โดยการเชื่อมต่อสินค้าจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคมีทั้งแบบง่ายและแบบซับซ้อน โดยการขนส่งแบบง่ายจะเป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคโดยตรง ยกตัวอย่างเช่น ถ่านหินจะถูกขนส่งโดยตรงจากเหมืองไปสู่โรงไฟฟ้าถ่านหิน ในขณะที่การขนส่งแบบซับซ้อน คือ การขนส่งจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคโดยจะผ่านคนกลางที่ช่วยทำหน้าที่ในการขนส่ง ยกตัวอย่างเช่น ผู้ผลิตสินค้าทำการส่งสินค้าให้ผู้บริโภค โดยขนส่งผ่านบริษัทรับจ้างขนส่งสินค้า

ต้นทุนของการเคลื่อนย้ายสินค้า ประกอบด้วย ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนการดำเนินการของพาหนะขนส่งสินค้า ต้นทุนการซ่อมบำรุงพาหนะ ค่าใช้จ่ายของตู้คอนเทนเนอร์ นอกจากนี้ยังรวมถึงค่าผ่านทาง ค่าสถานที่ในการจัดเก็บสินค้า และค่าการรับและส่งต่อสินค้าที่ปลายทางอีกด้วย ค่าดำเนินการของพาหนะขนส่งสินค้า ประกอบไปด้วย ค่าน้ำมัน ค่าบำรุงรักษา ค่าประกัน ค่าใบอนุญาต ค่าภาษีที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงค่ายานพาหนะและค่าอะไหล่ด้วย ค่าใช้จ่ายของตู้คอนเทนเนอร์ ประกอบไปด้วย ค่าทำความสะอาด ค่าการจัดเก็บแบบพิเศษ เช่น การจัดเก็บแบบควบคุมอุณหภูมิ หรือควบคุมความชื้น เป็นต้น ในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบต้องมีการแจ้งเตือนล่วงหน้า เช่น การทำบรรจุภัณฑ์สินค้า การทำเอกสารเพิ่มเติม รวมถึงการขออนุญาตเพื่อขนส่งสินค้าผ่านเส้นทางเฉพาะ และเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นกับสินค้าอาจมองได้ว่ากำไรที่ได้จากสินค้านั้น ๆ จะลดลง การเกิดอุบัติเหตุจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสินค้า เสียเวลา รวมถึงอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฟ้องร้องด้วย

การขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบ (mode) จะมีต้นทุนที่เกิดขึ้นต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การขนส่งโดยรถยนต์จะมีต้นทุนในการจ่ายค่าผ่านทาง ส่วนการขนส่งทางเรือจะมีการจ่ายค่าผ่านทางทางน้ำ และเนื่องจากธุรกิจการขนส่งมีการแข่งขันสูง ผู้ประกอบการจึงต้องทำความเข้าใจในต้นทุนที่เกิดขึ้นของการขนส่งแต่ละรูปแบบ และต้นทุนของการผสมผสานรูปแบบการขนส่งสินค้าว่ามีอะไรบ้าง เพื่อลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด นอกจากนี้ความน่าเชื่อถือของการให้บริการก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการมีต้นทุนต่ำ เพราะต้องคำนึงถึงต้นทุนการขนส่งและการจัดเก็บสินค้าคงคลัง การขนส่งที่ตรงเวลาก็มีความสำคัญ ในกรณีที่สินค้าที่ขนส่งนั้น เป็นสินค้าที่เสื่อมคุณภาพได้ง่าย เช่น นม ผัก อาหารสด เป็นต้น จึงต้องมีการเพิ่มต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า เช่น ห้องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสินค้าที่ทำการขนส่งจะสามารถคงคุณภาพได้จนถึงมือผู้บริโภค (Allen et al., 1985; Vilain and Wolfrom, 2000)

ต้นทุนสินค้าขึ้นกับการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (Origin) ถึงจุดปลายทาง (Destination) หรืออาจเรียกว่า Movement Channel หรือ Traffic Lane โดยสำหรับรูปแบบขนส่งสินค้าประเภทหนึ่ง ระยะเวลาที่อาจมีผลต่อต้นทุนเช่นกัน เช่น การขนส่งสินค้าที่ขึ้นกับฤดูกาล หรือการขนส่งสินค้าแบบมีกำหนดเวลา เช่น การขนส่งแบบข้ามคืน การขนส่งภายใน 3 วัน หรือการขนส่งแบบระบุวัน เวลาที่รับของได้ เป็นต้น ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ส่งสินค้าส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญในรูปแบบการให้บริการการขนส่งมากกว่ารูปแบบการขนส่งที่ใช้ โดยที่ราคาในการขนส่งจะคิดเป็นราคาต่อหน่วย เช่น ต้น กิโลเมตร ต้น-กิโลเมตร เป็นต้น ทั้งผู้รับสินค้าและผู้ขนส่งสินค้า มีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงราคาสินค้าในตลาด หรือการเปลี่ยนแปลงต้นทุนเนื่องจากสภาพอากาศที่ย่ำแย่ และการจราจรที่แออัด ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงเหล่านี้ได้ โดยการทำประกันทั้งกับสินค้าที่ต้องการขนส่ง พาหนะที่ทำการขนส่ง

การขนส่งสินค้าข้ามแดนต้องทำการจ่ายภาษี มีการเสียเวลาเกิดขึ้นในการตรวจสอบสินค้า และขนถ่ายสินค้าจากผู้ขนส่งสินค้าต่างประเทศเป็นผู้ขนส่งสินค้าภายในประเทศ ทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น ต้นทุนในการขนส่งสินค้าสามารถแสดงออกมาในรูปทรัพยากรในการขนส่งสินค้าจำนวนหนึ่ง ๆ ในระยะทางหนึ่ง ๆ หรือแสดงในรูปของอัตราค่าระวางขนส่ง (freight rate) ที่ทำการจัดเก็บโดยผู้ขนส่งสินค้าหรือตัวแทนผู้ส่งสินค้าที่ทำหน้าที่นั้น ๆ

2.2 การประมาณรูปแบบการเคลื่อนย้ายสินค้านระหว่างประเทศ

การเคลื่อนย้ายสินค้าที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการวางแผนสินค้าที่มีประสิทธิภาพ โดยต้องใช้แบบจำลองในการคาดการณ์ความต้องการบริการด้านการขนส่งสินค้า ที่จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การสร้างแบบจำลองในอดีตนั้น มีทั้งที่เน้นไปที่การขยายตัวของสินค้าโภคภัณฑ์ โดยเฉพาะ โดยใช้ข้อมูลด้านเวลาเพื่อวางแผนการเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของการเคลื่อนย้ายสินค้าโภคภัณฑ์ในอนาคต หรือใช้แบบจำลอง four-step urban transportation planning (Transportation Research Board, 1997; Cambridge Systematics, 1995) ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยมมากกว่า

โดยทั่วไปแล้ว แบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ความต้องการในการเดินทางปกติจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน แต่แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการในการขนส่งสินค้า จะเพิ่มขั้นตอนขึ้นจากแบบจำลองปกติอีก 1 ขั้นตอน คือ การแปลงข้อมูลการขนส่งสินค้าเป็นข้อมูลการเคลื่อนย้ายพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า (ขั้นตอนที่ 4) ดังนั้น แบบจำลองในการวิเคราะห์การขนส่งสินค้าจะมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ

- 1) Freight Generation
- 2) Freight Distribution
- 3) Modal Split
- 4) Vehicle/Fleet Loading
- 5) Traffic Route Assignment

การวิเคราะห์รูปแบบการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารนั้น จะมีวิธีและลักษณะของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่างกัน เนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์แตกต่างกัน กล่าวคือ

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า จำเป็นต้องปรับแก้และตรวจสอบแบบจำลองเครือข่ายที่ทำการทำนายไว้ก่อนนำไปใช้จริง เนื่องจากข้อมูลที่มีอาจไม่ครอบคลุม หรือไม่แม่นยำเท่าข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสาร
2. การตัดสินใจในการขนส่งสินค้าจะมีความซับซ้อนมากกว่า และยากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดสินใจการเดินทางของผู้โดยสาร
3. Algorithm ที่มีประสิทธิภาพและมีต้นทุนในการพัฒนาไม่สูงมากที่ใช้ในการแก้แบบจำลองเครือข่ายทางคณิตศาสตร์อย่างแม่นยำ เป็นสิ่งที่หาได้ยากและค่อนข้างเข้าใจยาก
4. แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายเครือข่ายสินค้าขนาดใหญ่ ไม่สามารถนำมารวมกันกับแบบจำลองดุลยภาพทั่วไป (Computable General Equilibrium; CGE) ได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากความไม่สอดคล้องกันระหว่าง กิจกรรมทางเศรษฐศาสตร์ระดับชาติหรือระดับภูมิภาค ที่ทำนายไว้หรือคำนวณจากแบบจำลองดุลยภาพทั่วไปกับราคาสินค้าและรายละเอียดการไหลเวียนของสินค้าในระบบการขนส่งทางกายภาพในสถานการณ์จริง

3. วิธีการศึกษาและตัวแบบที่เลือกใช้

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น เป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากฐานข้อมูล (Database) ของ Global Trade Analysis Project (GTAP, 2015) ซึ่งเป็นข้อมูลแสดงการเคลื่อนไหวของสินค้า

จากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง (Origin-Destination หรือ O-D flow) และอธิบายด้วยตัวแปร ในแบบจำลองซึ่งกำหนดให้เป็นค่าคงที่ โดย I และ S แสดงถึง ประเทศต้นทาง (Origin country) และประเทศปลายทาง (Destination country) ของทางส่งสินค้าประเภท ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลปี 2011 เป็นปีฐาน

โดยขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 10 ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ASEAN) ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีประเภทของสินค้าและบริการจำนวน 57 ชนิดตามที่จำแนกในฐานข้อมูลของ GTAP โดยผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มชนิดของสินค้าและบริการใหม่เป็น 12 กลุ่ม เพื่อให้การคำนวณด้วยแบบจำลองทำได้ง่ายขึ้นและง่ายต่อการแสดงผลการวิเคราะห์ ทั้งนี้ 12 กลุ่มสินค้าและบริการ ประกอบด้วย

1. กลุ่มสินค้าเกษตรประเภทเมล็ด ธัญพืช และพืชเศรษฐกิจ ประกอบด้วย ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ธัญพืช ผัก ผลไม้ ถั่ว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด พืชเส้นใย เป็นต้น
2. กลุ่มปศุสัตว์และเนื้อสัตว์แปรรูป ประกอบด้วย วัว แพะ แกะ ม้า หมู ไก่ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ (เช่น ไข่ หนัง) นมสด (ยังไม่ผ่านการแปรรูป) ขนสัตว์ เส้นใยไหม เนื้อสัตว์และเครื่องในสัตว์ (วัว แพะ แกะ หมู ไก่) เป็นต้น
3. กลุ่มทรัพยากรธรรมชาติ ประกอบด้วย ป่าไม้ ประมง ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ แร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น

ตารางที่ 1: รายชื่อประเทศในแบบจำลอง ASEAN freight transportation model

ลำดับ	สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง	ความหมาย
1	BRN	Brunei Darussalam
2	KHM	Cambodia
3	IDN	Indonesia
4	LAO	Lao People's Democratic Republic
5	MYS	Malaysia
6	MYM	Myanmar
7	PHL	Philippines
8	SGP	Singapore
9	THA	Thailand
10	VNM	Vietnam

4. กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปประกอบด้วย น้ำมันพืช น้ำมันจากสัตว์ ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากนม (นมสด เนย ชีส) น้ำตาล ผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารสำเร็จรูป เครื่องดื่ม ยาสูบ เป็นต้น
5. กลุ่มสิ่งทอ เสื้อผ้าและเครื่องนุ่มห่ม
6. กลุ่มอุตสาหกรรมเบา ประกอบด้วย เครื่องหนัง ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไม้ กระดาษและสิ่งพิมพ์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนที่ผลิตจากโลหะ ยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น
7. กลุ่มอุตสาหกรรมหนัก ประกอบด้วย อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ยาง พลาสติก ผลิตภัณฑ์จากแร่ การถลุง เหล็กและโลหะหนักอื่น ๆ เป็นต้น
8. กลุ่มสาธารณูปโภคและการก่อสร้าง ประกอบด้วย ไฟฟ้า แก๊ส น้ำประปา และการก่อสร้าง
9. การขนส่งทางบก ประกอบด้วย การขนส่งทางถนน และการขนส่งทางราง
10. การขนส่งทางทะเล
11. การขนส่งทางอากาศ
12. กลุ่มบริการ ประกอบด้วย การค้าส่ง-ค้าปลีก การสื่อสาร บริการทางการเงิน ประกันภัย บริการเพื่อธุรกิจอื่น ๆ การท่องเที่ยว ร้านอาหาร โรงแรม บริการภาครัฐ (การศึกษา การป้องกันประเทศ สาธารณสุข การศึกษา) บริการด้านอสังหาริมทรัพย์ เป็นต้น

ทั้งนี้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีจุดประสงค์เพื่อวางแผนรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้น ข้อมูลแสดงการเคลื่อนไหวของสินค้าจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง (Origin-Destination หรือ O-D flow) หรือ T_i^{rs} จะคิดเฉพาะสินค้าใน 7 กลุ่มแรกเท่านั้น เนื่องจาก กลุ่มสาธารณูปโภคและการก่อสร้างและกลุ่มบริการ จะมีลักษณะเฉพาะคือ เป็น “บริการ” ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเท่านั้น จะไม่มีการเคลื่อนย้ายของบริการระหว่างพื้นที่/ประเทศ

ตารางที่ 2: ต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละรูปแบบของการขนส่งสินค้า

รูปแบบการขนส่ง	ปริมาณทั้งหมด (ตัน)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)	ปริมาณ*ระยะทาง (ตัน-กม.)	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ตัน-กม.)
ถนน	710,150,694	275,952,035,755	129,970,789,241	2.1232
ราง	9,646,136	2,352,337,009	2,466,964,285	0.9535
ทะเล	69,554,434	6,749,847,204	10,427,693,071	0.6473
อากาศ	35,502	252,062,954	25,206,295	10.000
รวม	789,386,766	285,306,282,923	142,890,652,893	1.9967

นอกจากนี้ เนื่องจากข้อจำกัดของฐานข้อมูล GTAP ทำให้รูปแบบในการขนส่งสินค้าที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเพียงแค่ 3 รูปแบบเท่านั้น คือ ทางบก ทางทะเล และทางอากาศ โดยการขนส่งทางบก จะรวมการขนส่งทางถนน และการขนส่งทางรางเข้าไว้ด้วยกัน

ข้อมูลต้นทุนการขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบ อ้างอิงจากผลการศึกษา โครงการศึกษาพัฒนาปรับปรุง บำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อเสนอแนะและแบบจำลองเพื่อบูรณาการพัฒนาระบบขนส่งและจราจร การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDL) ของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม (2558) ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับการขนส่งทางบก ซึ่งรวมรูปแบบการขนส่งทางรางและทางถนนเข้าไว้ด้วยกัน จึงต้องคำนวณต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของการขนส่งทางถนนและทางราง ซึ่งเท่ากับ 2.085 บาท ต่อตัน-กิโลเมตร จากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนเฉลี่ยของการขนส่งทางบก การขนส่งทางทะเล และการขนส่งทางอากาศ จะเห็นได้ว่าต้นทุนเฉลี่ยของการขนส่งทางบกคิดเป็น 3.2648 เท่าของต้นทุนการขนส่งทางทะเล และต้นทุนการขนส่งทางอากาศคิดเป็น 15.4488 เท่าของต้นทุนการขนส่งทางทะเล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ จะใช้ในแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split) ต่อไป

3.2 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split Model)

3.2.1 การหาปริมาณสินค้าในแต่ละรูปแบบการขนส่ง

จากข้อมูล T_i^{rs} ในฐานข้อมูล GTAP จะทราบเพียงปริมาณสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ ที่ขนส่งจากประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศหนึ่ง แต่จะไม่ทราบว่าปริมาณการขนส่งสินค้านั้นในรูปแบบต่าง ๆ (ทางบก ทางทะเล และทางอากาศ) มีปริมาณเท่าใด อย่างไรก็ตาม ปริมาณการขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบสามารถคำนวณได้จากระบบสมการ ดังนี้

$$T_i^{rs,land} + T_i^{rs,sea} + T_i^{rs,air} = T_i^{rs} \quad (1)$$

โดย T_i^{rs} คือ จำนวนสินค้าทั้งหมดที่ทำการขนส่ง
 $T_i^{rs,land}$ คือ ปริมาณสินค้าที่ขนส่งทางบก
 $T_i^{rs,sea}$ คือ ปริมาณสินค้าที่ขนส่งทางทะเล
 $T_i^{rs,air}$ คือ ปริมาณสินค้าที่ขนส่งทางอากาศ

จากการเปรียบเทียบต้นทุนเฉลี่ยของการขนส่งทางบก การขนส่งทางทะเล และการขนส่งทางอากาศ จากการรายงานการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ตามที่อธิบายข้างต้น จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบ ซึ่งสามารถนำมาเขียนในรูปแบบสมการได้ คือ

$$c_i^{rs,land} = 3.2648 c_i^{rs,sea} \quad (2)$$

$$c_i^{rs,air} = 15.4488 c_i^{rs,sea} \quad (3)$$

โดย	$C_i^{rs,land}$	คือ ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของการขนส่งทางบก
	$C_i^{rs,sea}$	คือ ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของการขนส่งทางทะเล
	$C_i^{rs,air}$	คือ ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของการขนส่งทางอากาศ

นอกจากนี้ ข้อมูลของต้นทุนทั้งหมดการขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบ จากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง (Total cost) ยังสามารถหาได้ฐานข้อมูล GTAP โดยความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนรวม ปริมาณสินค้า และต้นทุนต่อหน่วย แสดงได้ดังนี้

$$C_i^{rs,land} T_i^{rs,land} = C_i^{rs,land} \quad (4)$$

$$C_i^{rs,sea} T_i^{rs,sea} = C_i^{rs,sea} \quad (5)$$

$$C_i^{rs,air} T_i^{rs,air} = C_i^{rs,air} \quad (6)$$

โดย	$C_i^{rs,land}$	คือ มูลค่าของต้นทุนทั้งหมดในการขนส่งสินค้าผ่านทางบก
	$C_i^{rs,sea}$	คือ มูลค่าของต้นทุนทั้งหมดในการขนส่งสินค้าผ่านทางทะเล
	$C_i^{rs,air}$	คือ มูลค่าของต้นทุนทั้งหมดในการขนส่งสินค้าผ่านทางอากาศ

จากระบบสมการ (1) ถึง (6) จะเห็นว่ามีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด 6 ตัว คือ $T_i^{rs,land}$, $T_i^{rs,sea}$, $T_i^{rs,air}$, $C_i^{rs,land}$, $C_i^{rs,sea}$, $C_i^{rs,air}$ และมีจำนวนสมการเชิงเส้นทั้งหมด 6 สมการ ดังนั้นเมื่อแก้ระบบสมการนี้ จะทำให้ทราบค่าของตัวแปรทั้งหมดได้ กล่าวคือ จะหาปริมาณสินค้าในแต่ละรูปแบบการขนส่งรวมทั้งต้นทุนต่อหน่วยของการขนส่งแต่ละรูปแบบได้

3.2.2 การหาค่า share parameter ที่ใช้ในแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง

การหาปริมาณสินค้าในแต่ละรูปแบบการขนส่ง ตามที่อธิบายข้างต้นนั้น ใช้ได้เฉพาะกับฐานข้อมูล GTAP ในกรณีฐาน หรือ Base Case เท่านั้น เมื่อต้นทุนการขนส่งในแต่ละรูปแบบ หรือแต่ละเส้นทางเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจัยภายนอก เช่น โครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split) จะถูกนำมาใช้ในการจำลองพฤติกรรมของ Carrier หรือผู้ทำหน้าที่ขนส่งสินค้าว่าจะเลือกส่งสินค้าในรูปแบบใดเป็นสัดส่วนเท่าใด โดยแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์การแบ่งรูปแบบการขนส่งที่ได้รับความนิยมมาก คือ แบบจำลองโลจิสต์ (Logit Model) ซึ่งจะเลือกรูปแบบการขนส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ และวิธีนี้สามารถใช้หาต้นทุนเฉลี่ยของการขนส่งได้ อย่างไรก็ตามด้วยลักษณะของข้อมูลในฐานข้อมูล GTAP ที่มีลักษณะเป็นข้อมูลภาคตัดขวาง (Cross-Section Data) ณ จุดเวลาหนึ่ง ๆ ไม่ใช่ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data) จึงทำให้ไม่สามารถหาค่า Parameter ในแบบจำลองโลจิสต์ (Logit Model) ได้ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้หลักพื้นฐานทางเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือ จะใช้หลักการ Utility Maximization เพื่อสะท้อนพฤติกรรมของ Carrier หรือผู้ทำหน้าที่ขนส่งสินค้าแทน โดยเลือกใช้ Cobb-Douglas utility function ซึ่งนิยมใช้โดยทั่วไป เนื่องจากมีรูปแบบของฟังก์ชันที่ไม่ซับซ้อน โดยมีวิธีดังต่อไปนี้

ทำหน้าที่ขนส่งสินค้า หรือ Carrier กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ ต้องการความพึงพอใจ (Utility) สูงสุด จากการขนส่งสินค้าให้ได้ปริมาณมากที่สุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยใช้ Cobb-Douglas utility function ซึ่งมีรูปแบบ ดังนี้

$$\max_m U_i^{rs} = A \prod_m (T_i^{rs,m})^{\alpha_i^{rs,m}} \quad (7)$$

โดยที่คุณสมบัติของ share parameter ($\alpha_i^{rs,m}$) ใน Cobb-Douglas utility function คือ

$$\sum_m \alpha_i^{rs,m} = 1 \quad (8)$$

ข้อจำกัด หรือ Constraint กำหนดโดยงบประมาณหรือรายได้ที่มีอยู่อย่างจำกัด

$$\sum_m c_i^{rs,m} T_i^{rs,m} = M_i^{rs} \quad (9)$$

โดย	m	คือ รูปแบบการขนส่งต่าง ๆ (Mode) เช่น การขนส่งทางบก ทางทะเล ทางอากาศ
	U_i^{rs}	คือ ระดับความพึงพอใจ (Utility) ที่ได้รับจากการส่งสินค้า ระหว่างคู่จุดเริ่มต้นและปลายทาง
	M_i^{rs}	คือ งบประมาณหรือรายได้ที่มีอยู่อย่างจำกัด (กำหนดเป็นค่าคงที่) ในการส่งสินค้า i ระหว่างคู่จุดเริ่มต้นและปลายทาง (r,s)
	$c_i^{rs,m}$	คือ ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของการขนส่งในรูปแบบของสินค้า m ระหว่างคู่จุดเริ่มต้น และปลายทาง (r,s)
	$T_i^{rs,m}$	คือ ปริมาณสินค้า i ที่ส่งโดยใช้รูปแบบการขนส่งสินค้า ระหว่างคู่จุดเริ่มต้นและปลายทาง (r,s)

สัดส่วนของปริมาณสินค้า i ที่ส่งโดยใช้รูปแบบการขนส่งสินค้า m ระหว่างคู่จุดเริ่มต้นและปลายทาง (r,s) ซึ่งทำให้ผู้ทำหน้าที่ขนส่งสินค้า หรือ Carrier มีความพึงพอใจสูงสุด (maximized utility) สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการของ Lagrange ดังนี้

$$L = A \prod_m (T_i^{rs,m})^{\alpha_i^{rs,m}} - \lambda \left[M_i^{rs} - \sum_m c_i^{rs,m} T_i^{rs,m} \right] \quad (10)$$

โดย λ คือ Lagrange multiplier

เมื่อทำการ Differentiation ของ Lagrange เทียบกับตัวแปรที่ต้องการทราบค่า $T_i^{rs,m}$ และ Lagrange multiplier λ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ กล่าวคือ

$$\frac{\partial L}{\partial T_i^{rs,m}} = \alpha_i^{rs,m} A \prod_m (T_i^{rs,m})^{\alpha_i^{rs,m}-1} - \lambda c_i^{rs,m} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = M_i^{rs} - \sum_m c_i^{rs,m} T_i^{rs,m} = 0 \quad (12)$$

กำหนดให้ $\bar{U}$ คือ ระดับสูงสุดของ U ที่ได้รับจาก optimal solution $T_i^{rs,m*}$

$$\bar{U} = A \prod_m (T_i^{rs,m*})^{\alpha_i^{rs,m}} \quad (13)$$

เมื่อคุณตลอดสมการที่ (11) ด้วย $T_i^{rs,m*}$ จะได้

$$\alpha_i^{rs,m} A \prod_m (T_i^{rs,m*})^{\alpha_i^{rs,m}} - \lambda c_i^{rs,m} T_i^{rs,m*} = 0 \quad (14)$$

$$\alpha_i^{rs,m} \bar{U} - \lambda c_i^{rs,m} T_i^{rs,m*} = 0 \quad (15)$$

เมื่อรวมทุก ๆ รูปแบบการขนส่ง m ของสมการที่ (15) จะได้

$$\bar{U} \sum_m \alpha_i^{rs,m} - \lambda \sum_m c_i^{rs,m} T_i^{rs,m*} = 0 \quad (16)$$

และเมื่อแทนค่าจากสมการ (8) และ (9) จะได้

$$\bar{U} - \lambda M_i^{rs} = 0 \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{\bar{U}}{M_i^{rs}} \quad (18)$$

แทนค่า λ ในสมการที่ (15) จะหาค่าปริมาณสินค้า i ที่ส่งโดยใช้รูปแบบการขนส่งสินค้า m ระหว่างคู่จุดเริ่มต้นและปลายทาง (r,s) ที่เหมาะสมที่สุด (ทำให้ได้ระดับความพึงพอใจสูงสุด) คือ

$$T_i^{rs,m*} = \frac{\alpha_i^{rs,m} M_i^{rs}}{c_i^{rs,m}} \quad (19)$$

กำหนดให้ $\phi_i^{rs,m}$ คือ อัตราส่วนของปริมาณสินค้าที่ขนส่งด้วยรูปแบบการขนส่ง m ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ผู้ทำหน้าที่ขนส่งสินค้า หรือ Carrier ได้ระดับความพึงพอใจสูงสุด ตามแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split) ดังนั้น

$$\phi_i^{rs,m} = \frac{T_i^{rs,m*}}{\sum_m T_i^{rs,m*}} = \frac{\alpha_i^{rs,m} / c_i^{rs,m}}{\sum_m (\alpha_i^{rs,m} / c_i^{rs,m})} \quad (20)$$

$$T_i^{rs,m} = \phi_i^{rs,m} T_i^{rs} \quad (21)$$

ค่า share parameter ใน Cobb-Douglas utility function สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\alpha_i^{rs,m} = \frac{c_i^{rs,m} T_i^{rs,m}}{\sum_m c_i^{rs,m} T_i^{rs,m}} \quad (22)$$

โดยค่า share parameter จะมีค่าคงที่ และสมการ (20) นี้จะใช้ในการคำนวณหา อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของการขนส่งด้วยรูปแบบการขนส่งหนึ่ง ๆ เมื่อต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยของแต่ละรูปแบบเปลี่ยนแปลงไป ภายใต้สถานการณ์จำลองเมื่อเกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง

3.3 แบบจำลองการจัดสรรปริมาณสินค้าในแต่ละเส้นทางการขนส่ง (Trip Route

Assignment) ภายใต้สมมติฐาน Wardropian User Equilibrium

ผู้วิจัยนำข้อมูล $T_i^{rs,m}$ ที่ได้มาจากแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split) มาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการทำแบบจำลองการจัดสรรปริมาณสินค้าในแต่ละเส้นทางการขนส่ง (Trip Route Assignment) ต่อไป โดยทฤษฎีที่ใช้เป็นต้นแบบในการคำนวณ คือ Wardropian User Equilibrium โดยการจัดสรรปริมาณสินค้าในแต่ละเส้นทางการขนส่งนี้ จะพิจารณาแยกทีละรูปแบบการขนส่ง (ทางบก ทางทะเล และทางอากาศ) ดังนั้น เพื่อให้การอธิบายในส่วนนี้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จะขอแทน $T_i^{rs,m}$ ของแต่ละรูปแบบการขนส่งด้วย T_i^{rs} เนื่องจากคำอธิบายในส่วนนี้จะใช้ได้กับรูปแบบการเดินทางใด ๆ ก็ได้

กำหนดให้

L	คือ	set ของเส้นทางเชื่อมต่อ (link) ทั้งหมดในเครือข่าย
P_{rs}	คือ	set ของเส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นในภูมิภาค r ไปปลายทาง s (path)
P	คือ	$\bigcup_{rs} P_{rs}$, set ของ path ทั้งหมดในเครือข่าย
Δ	คือ	(δ_{ap}) เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง link กับ path
δ_{ap}	คือ	องค์ประกอบของ Δ ซึ่ง $\delta_{ap} = 1$ เมื่อ link a อยู่ใน path p และ $\delta_{ap} = 0$ เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ
Λ	คือ	$(\lambda_{p,rs})$, เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จุดเริ่มต้นกับจุดปลายทาง กับ path
$\lambda_{p,rs}$	คือ	องค์ประกอบของ Λ ซึ่ง $\lambda_{p,rs} = 1$ ถ้า path p เชื่อมต่อระหว่างจุดเริ่มต้น r ไปยังจุดปลายทาง s และ $\lambda_{p,rs} = 0$ เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ
h_p^i	คือ	ปริมาณของสินค้า i ที่ผ่าน path $p \in P$
$f \in \Re^{L \times N }$	คือ	เวกเตอร์ของปริมาณสินค้าที่ผ่าน path
f_a^i	คือ	$\sum_{p \in P} \delta_{ap} h_p^i$ ปริมาณสินค้า i ที่ผ่าน link $a \in L$
$f \in \Re^{L \times N }$	คือ	เวกเตอร์ของ ปริมาณสินค้าที่ผ่าน link
$c_a^i(f)$	คือ	ต้นทุนต่อหน่วยของการขนส่งสินค้า i ที่ผ่าน link $a \in L$
$\tilde{c}(f)$	คือ	$(..., c_a^i(f), ...) \in \Re^{L \times N }$
$c_p^i(h)$	คือ	$\sum_{a \in A} \delta_{ap} c_a^i(f)$ = ต้นทุนต่อหน่วยของการขนส่งสินค้า i ผ่าน path p
c	คือ	$(..., c_p^i(f), ...) \in \Re^{P \times N }$
u_{rs}^i	คือ	$\min_{p \in P_{rs}} c_p^i$ ต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการขนส่งสินค้า i ระหว่างภูมิภาคเริ่มต้น r ไปยังภูมิภาคปลายทาง s
$u \in \Re^{ N \times N \times N }$	คือ	เวกเตอร์ของต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด

ปริมาณการขนส่งในแต่ละ link และต้นทุนการขนส่ง (f^*, u^*) คือ Wardropian User Equilibrium ก็ต่อเมื่อ

(a) ต้นทุนส่วนเกินของ path จะไม่เป็นลบ

$$c(h) - \Lambda u \geq 0 \quad (23)$$

- (b) ปริมาณการขนส่งจะต้องอนุรักษ์

$$\Lambda^T h - T = 0 \quad (24)$$

- (c) Path ที่ใช้งานจะไม่มีต้นทุนส่วนเกิน และ path ที่มีต้นทุนส่วนเกินจะไม่ถูกใช้งาน

$$h(c(h) - \Lambda u) = 0 \quad (25)$$

- (d) ปริมาณสินค้าที่ใช้ path และต้นทุนการขนส่งระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางจะไม่ติดลบ

$$h \geq 0, u \geq 0 \quad (26)$$

จากสมมติฐานความไม่เป็นลบของต้นทุนการขนส่ง (cost positivity) จะทำให้ระบบสมการที่ (23)-(26) เป็น nonlinear complementarity problem และอาจเขียนได้ในรูปของสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} h(c(h) - \Lambda u) &= 0 \\ u(\Lambda^T h - T) &= 0 \\ c(h) - \Lambda u &= 0 \\ \Lambda^T h - T &\geq 0 \\ (h \ u) &\geq 0 \end{aligned} \quad (27)$$

ค่าตัวแปร h_i^p และ u_i^{rs} คือตัวแปรที่อธิบายรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศในสภาพปัจจุบัน ซึ่งหากนำโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งมาพิจารณา จะทำให้ต้นทุนการขนส่งสินค้าในเส้นทางที่กำหนดเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อแก้ระบบสมการ (27) ของแบบจำลองการจัดสรรปริมาณสินค้าในแต่ละเส้นทางขนส่งอีกครั้ง จะได้ค่าตัวแปร h_i^p และ u_i^{rs} ใหม่ ซึ่งจะอธิบายรูปแบบการขนส่งสินค้าในอนาคตที่จะเปลี่ยนไปนั่นเอง

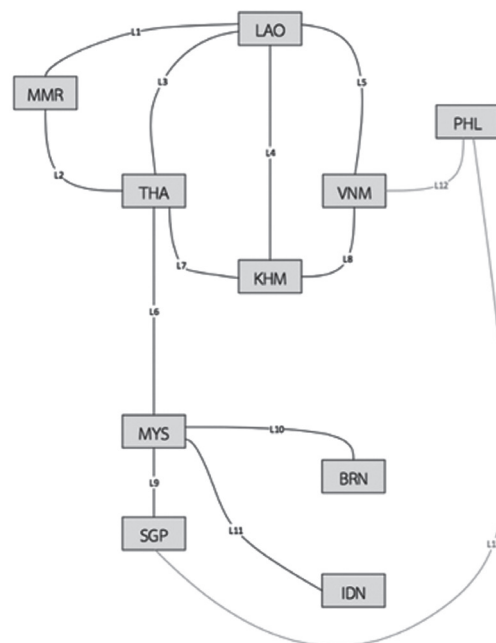
4. ผลการศึกษา

4.1 โครงข่ายการขนส่งสินค้าแต่ละรูปแบบ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลโครงข่ายระบบการขนส่งสินค้า จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ จะทำให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อหาเส้นทางขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบ ตามแบบจำลองที่อธิบายข้างต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งทางบกเป็นหลัก ผู้วิจัยจึงขอแสดงโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางบกเท่านั้น ผู้ที่สนใจรายละเอียดเกี่ยวกับโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางทะเล และทางอากาศ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยนี้.

โครงข่ายการขนส่งสินค้าทางบกดังแสดงใน **รูปที่ 1** จะเชื่อมโยงเมืองสำคัญ (เมืองหลวงหรือเมืองเศรษฐกิจที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศ) ของแต่ละประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไว้ด้วยกัน โดยผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางทางถนนที่เชื่อมเมืองสำคัญแต่ละคู่ โดยใช้โปรแกรม Google Maps และเลือกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยจำเป็นต้องสร้างสมมุติฐานเพิ่มเติมเพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางบกของทุกประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนี้

- สำหรับประเทศบรูไน ซึ่งอยู่ในเกาะ Borneo มีพรมแดนทางบกติดกับรัฐ Sarawak ของมาเลเซีย และรัฐ Kalimantan ของอินโดนีเซีย จะใช้สมมุติฐานในการเลือกเส้นทาง การขนส่งสินค้าทางบกเพื่อเชื่อมโยงประเทศทั้งสาม คือ เลือกเชื่อมโยงเมือง Bandar Seri Begawan เมืองหลวงของบรูไน กับเมือง Kuching เมืองหลวงของรัฐ Sarawak ของมาเลเซีย และเมือง Balikpapan ซึ่งเป็นเมืองสำคัญของเกาะ Borneo ในจังหวัด East Kalimantan ของอินโดนีเซีย ซึ่งเส้นทางที่เชื่อมเมือง Bandar Seri Begawan และเมือง Balikpapan จะผ่านเมือง Kuching ก่อน ดังแสดงใน **รูปที่ 1**



รูปที่ 1 เส้นทางของ link ที่เชื่อมระหว่างประเทศทางบก

ตารางที่ 3: ระยะทางของเส้นทางตรงระหว่างประเทศทางบก (หน่วย: กิโลเมตร)

	BRN	IDN	KHM	LAO	MMR	MYS	PHL	SGP	THA	VNM
BRN		-	-	-	-	957	-	-	-	-
IDN	-		-	-	-	1794	-	-	-	-
KHM	-	-		1270	-	-	-	-	659	279
LAO	-	-	1270		1856	-	-	-	646	1245
MMR	-	-	-	1856		-	-	-	827	-
MYS	957	1794	-	-	-		-	350	1471	-
PHL	-	-	-	-	-	-		-	-	-
SGP	-	-	-	-	-	350	-		-	-
THA	-	-	659	646	827	1471	-	-		-
VNM	-	-	279	1245	-	-	-	-	-	

ตารางที่ 4: ระยะทางของเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างประเทศทางบก (หน่วย: กิโลเมตร)

	BRN	IDN	KHM	LAO	MMR	MYS	PHL	SGP	THA	VNM
BRN		2751	3087	3074	3255	957	2056	1307	2428	3366
IDN	2751		3924	3911	4092	1794	2893	2144	3265	4203
KHM	3087	3924		1270	1486	2130	813	2480	659	279
LAO	3074	3911	1270		1473	2117	1779	2467	646	1245
MMR	3255	4092	1486	1473		2298	2299	2648	827	1765
MYS	957	1794	2130	2117	2298		1099	350	1471	2409
PHL	2056	2893	813	1779	2299	1099		749	1472	534
SGP	1307	2144	2480	2467	2648	350	749		1821	2759
THA	2428	3265	659	646	827	1471	1472	1821		938
VNM	3366	4203	279	1245	1765	2409	534	2759	938	

- สำหรับประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเกาะ และไม่มีพรมแดนทางบกติดกับประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เลย จะใช้เส้นทางการขนส่งทางทะเลแทน โดยใช้สมมุติฐานว่าเส้นทางทางทะเลของฟิลิปปินส์จะเชื่อมกับสิงคโปร์และเวียดนามเท่านั้น เพื่อไม่ให้โครงข่ายการขนส่งสินค้าซับซ้อนจนเกินไป ทั้งนี้พิจารณาจากประเทศคู่ค้าที่มีปริมาณการค้าระหว่างประเทศทางทะเลที่มากที่สุด (สิงคโปร์) และประเทศคู่ค้าที่มีระยะทางการขนส่งทางทะเลที่สั้นที่สุด (เวียดนาม) โดยระยะทางการขนส่งทางทะเลนี้ จะถูกแปลงมาเป็นระยะทางการขนส่งทางบก โดยหารระยะทางทางทะเล (หน่วยเป็นกิโลเมตร) ด้วยค่าคงที่ “3.2648” เนื่องจากต้นทุนเฉลี่ยของการขนส่งทางบกคิดเป็น 3.2648 เท่าของต้นทุนการขนส่งทางทะเล

ตารางที่ 3 แสดงระยะทางของเส้นทางตรงระหว่างประเทศทางบก (กิโลเมตร) ตามสมมุติฐานข้างต้น จากนั้นเมื่อคำนวณระยะทางของเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างประเทศทางบก โดยรวมระยะทางของ link ที่เชื่อมโยงแต่ละคู่ประเทศ และเลือกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุด จะได้ผลดังแสดงใน **ตารางที่ 4**

เป็นที่น่าสนใจว่าระยะทางทางบกจากไทยไปยังเวียดนามเท่ากับ 938 กิโลเมตร ในขณะที่ระยะทางจากลาวไปยังเวียดนามเท่ากับ 1,245 กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยเลือกเมืองโฮจิมินห์ ซึ่งเป็นเมืองที่มีเศรษฐกิจขนาดใหญ่ทางตอนใต้ของเวียดนามเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างประเทศ ทำให้ระยะทางทางบกระหว่างไทยกับเวียดนาม (ผ่านกรุงเทพมหานครของกัมพูชา) มีระยะทางสั้นกว่าระยะทางทางบกจากเมืองเวียงจันทน์ของลาวไปยังเมืองโฮจิมินห์ ซึ่งต้องลัดเลาะผ่านเส้นทางที่เป็นภูเขาสูงจำนวนมากนั่นเอง

4.2 ปริมาณและต้นทุนการขนส่งในแต่ละรูปแบบการขนส่ง

จากการแก้ระบบสมการ (27) จะทำให้ทราบปริมาณของสินค้าแต่ละกลุ่มที่ขนส่งผ่านแต่ละเส้นทาง (path) และต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการขนส่งสินค้าแต่ละกลุ่ม ระหว่างประเทศต้นทางไปยังประเทศปลายทาง และจากเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง link กับ path จะทำให้ทราบปริมาณของสินค้าแต่ละกลุ่มที่ขนส่งผ่านแต่ละ link ได้โดยความสัมพันธ์

$$f_a^i = \sum_{p \in P} \delta_{ap} h_p^i$$

ดังแสดงใน **ตารางที่ 5** และสัดส่วนของการขนส่งสินค้าผ่านแต่ละ link (แยกตามรายกลุ่มสินค้า) แสดงใน **ตารางที่ 6**

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าปริมาณการค้าระหว่างประเทศของสินค้ากลุ่มอุตสาหกรรมหนักมีมากที่สุดถึง 49,871 ล้านตัน รองลงมาคือ กลุ่มอุตสาหกรรมเบา กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป กลุ่มทรัพยากรธรรมชาติ กลุ่มสินค้าเกษตร กลุ่มสิ่งทอ เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม และกลุ่มปศุสัตว์ และเนื้อสัตว์แปรรูป ตามลำดับ มี 2 link ที่จะไม่ถูกใช้ในการขนส่งระหว่างประเทศเลย ภายใต้สมมุติฐานการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest path) คือ เส้นทางที่เชื่อมระหว่าง เมียนมา-ลาว และ ลาว-กัมพูชา เนื่องจากการขนส่งระหว่างเมียนมาและลาวผ่านประเทศไทยมีระยะทางสั้นกว่า และการขนส่งระหว่างลาวและกัมพูชาผ่านประเทศไทยก็มีระยะทางสั้นกว่าเช่นกัน แต่ในความเป็นจริงการขนส่งระหว่างประเทศจะมีขั้นตอนทางศุลกากร ซึ่งทำให้ต้นทุนของการขนส่งเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประเทศที่สินค้าเคลื่อนที่ผ่าน ทำให้เส้นทางเชื่อมต่อโดยตรงเหล่านี้นี้มีการใช้งานเพื่อการขนส่งสินค้าอยู่บ้าง และสามารถแข่งขันกับเส้นทางอื่น ๆ ได้

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของการใช้ link เพื่อขนส่งสินค้าแต่ละกลุ่มใน ตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าสินค้าแต่ละกลุ่มมีรูปแบบการขนส่งทางบกที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยเส้นทางที่เชื่อมระหว่างประเทศ (link) ที่มีสัดส่วนการใช้งานเพื่อขนส่งสินค้ามากที่สุด 3 อันดับแรก คือ เส้นทางที่เชื่อมระหว่าง ไทย-มาเลเซีย มาเลเซีย-สิงคโปร์ และมาเลเซีย-อินโดนีเซีย ตามลำดับ จุดที่น่าสนใจ คือ การขนส่งสินค้ากลุ่มทรัพยากรธรรมชาติ ใช้เส้นทางระหว่างไทย-เมียนมา มากถึงร้อยละ 59.3 เนื่องจากเมียนมา ถือเป็นผู้ส่งออกทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ ถ่านหิน รายใหญ่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้เส้นทางระหว่างไทย-มาเลเซีย ก็มีสัดส่วนการขนส่งสินค้ากลุ่มทรัพยากรธรรมชาติค่อนข้างมาก (ร้อยละ 24.0) สาเหตุหลักเกิดจากการนำเข้าน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติในปริมาณมากของไทยจากมาเลเซียและอินโดนีเซีย

การขนส่งสินค้ากลุ่มปศุสัตว์และเนื้อสัตว์แปรรูปทางบก มีรูปแบบการใช้เส้นทางที่แตกต่างกันจากสินค้ากลุ่มอื่น ๆ ค่อนข้างมาก โดยพบว่าใช้เส้นทางมาเลเซีย-สิงคโปร์ มากถึงร้อยละ 51.6 เหตุผลหลักมาจากปริมาณการนำเข้าสินค้ากลุ่มปศุสัตว์และเนื้อสัตว์แปรรูปที่สูงมากของสิงคโปร์จากประเทศอื่น ๆ ในอาเซียน

ตารางที่ 5: ปริมาณของสินค้าแต่ละกลุ่มที่ขนส่งผ่านแต่ละ link ทางบก (หน่วย: ล้านตัน)

No. of link	Name of link	GCS	MLS	MNE	PCF	TTC	LMF	HMF
l1	MMR-LAO	0	0	0	0	0	0	0
l2	MMR-THA	80.8	16.5	3107.8	493.0	104.8	429.4	994.0
l3	THA-LAO	77.8	115.4	8.8	216.4	58.5	363.7	1241.5
l4	LAO-KHM	0	0	0	0	0	0	0
l5	LAO-VNM	35.8	1.7	108.3	9.6	9.2	248.3	146.6
l6	THA-MYS	1212.7	76.9	1257.8	1463.0	435.0	3892.4	13348.4
l7	THA-KHM	668.2	14.7	79.9	702.2	296.9	1046.4	1992.2
l8	VNM-KHM	724.9	13.9	79.4	689.2	275.8	1070.9	2215.8
l9	MYS-SGP	501.2	390.2	272.2	1374.7	520.7	3204.2	14842.1
l10	MYS-BRN	23.0	19.1	45.8	159.7	40.7	108.0	371.7
l11	MYS-IDN	1334.5	104.7	274.5	1552.8	622.4	4146.2	12100.1
l12	VNM-PHL	133.7	0.9	1.6	252.6	13.9	405.3	735.4
l13	SGP-PHL	26.3	2.5	7.0	253.7	13.0	178.7	1883.6
	TOTAL	4818.9	756.5	5243.1	7166.9	2390.9	15093.5	49871.4

ตารางที่ 6: สัดส่วนของปริมาณสินค้าแต่ละกลุ่มที่ขนส่งผ่านแต่ละ link ทางบก (หน่วย: ร้อยละ)

No. of link	Name of link	GCS	MLS	MNE	PCF	TTC	LMF	HMF
l1	MMR-LAO	0	0	0	0	0	0	0
l2	MMR-THA	1.68	2.18	59.28	6.88	4.38	2.84	1.99
l3	THA-LAO	1.62	15.25	0.17	3.02	2.45	2.41	2.49
l4	LAO-KHM	0	0	0	0	0	0	0
l5	LAO-VNM	0.74	0.22	2.07	0.13	0.39	1.64	0.29
l6	THA-MYS	25.17	10.17	23.99	20.41	18.20	25.79	26.77
l7	THA-KHM	13.87	1.94	1.52	9.80	12.42	6.93	3.99
l8	VNM-KHM	15.04	1.84	1.51	9.62	11.53	7.10	4.44

ตารางที่ 6: สัดส่วนของปริมาณสินค้าแต่ละกลุ่มที่ขนส่งผ่านแต่ละ link ทางบก (หน่วย: ร้อยละ)

No. of link	Name of link	GCS	MLS	MNE	PCF	TTC	LMF	HMF
l9	MYS-SGP	10.40	51.57	5.19	19.18	21.78	21.23	29.76
l10	MYS-BRN	0.48	2.53	0.87	2.23	1.70	0.72	0.75
l11	MYS-IDN	27.69	13.83	5.24	21.67	26.03	27.47	24.26
l12	VNM-PHL	2.77	0.12	0.03	3.52	0.58	2.69	1.47
l13	SGP-PHL	0.55	0.33	0.13	3.54	0.54	1.18	3.78

โดยสรุปผลการศึกษา จากแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal split model) สามารถอธิบายสัดส่วนของรูปแบบที่ใช้ในการขนส่งสินค้าแต่ละกลุ่มได้ดังแสดงใน **ตารางที่ 7** โดยพบว่าเมื่อพิจารณาการขนส่งสินค้ารวมทุกกลุ่ม ของทั้งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การขนส่งทางทะเลมีสัดส่วนมากที่สุด คือ ร้อยละ 65.10 ตามด้วยการขนส่งทางบก และการขนส่งทางอากาศที่ร้อยละ 26.65 และ 8.25 ตามลำดับ การขนส่งทางทะเลมีปริมาณมากถึง 2.44 เท่า ของการขนส่งทางบก และมากถึง 7.89 เท่า ของการขนส่งทางอากาศ อย่างไรก็ตาม สินค้าแต่ละกลุ่มมีรูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกันโดยเฉพาะสินค้ากลุ่มปศุสัตว์ และเนื้อสัตว์แปรรูป ซึ่งใช้รูปแบบการขนส่งทางบกมากถึงร้อยละ 74.66 และใช้การขนส่งทางอากาศเพียง ร้อยละ 1.75 เท่านั้น

ตารางที่ 8 แสดงสัดส่วนของรูปแบบที่ใช้ในการส่งออกสินค้าจากแต่ละประเทศ จะเห็นได้ว่าแต่ละประเทศมีรูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกันอย่างมาก เช่น บรูไน และสิงคโปร์ ซึ่งเป็นประเทศขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นเกาะ จึงใช้การขนส่งทางทะเลมากถึง ร้อยละ 91.54 และ 85.83 ตามลำดับ ในขณะที่ ลาว เมียนมา และกัมพูชา ซึ่งมีพรมแดนทางบกติดต่อกับหลายประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จึงใช้การขนส่งทางบกมากถึง ร้อยละ 99.2, 89.22 และ 84.56 ตามลำดับ โดยไทย อินโดนีเซีย และเวียดนาม มีสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีการใช้การขนส่งทางบก ต่อการขนส่งทางทะเล ต่อการขนส่งทางอากาศ ในอัตราส่วนประมาณ 2:7:1

ตารางที่ 7: สัดส่วนของรูปแบบที่ใช้ในการขนส่งสินค้าแต่ละกลุ่ม (หน่วย: ร้อยละ)

	LAND	SEA	AIR
GCS	39.74	50.20	10.07
MLS	74.66	23.59	1.75
MNE	31.44	60.87	7.69
PCF	29.12	62.55	8.33
TTC	33.48	58.43	8.09
LMF	38.65	51.56	9.79
HMF	23.17	68.80	8.03
Total	26.65	65.10	8.25

ตารางที่ 8: สัดส่วนของรูปแบบที่ใช้ในการส่งออกสินค้าจากแต่ละประเทศ (หน่วย: ร้อยละ)

	LAND	SEA	AIR
BRN	7.14	91.54	1.32
IDN	17.35	70.80	11.86
KHM	84.56	14.93	0.51
LAO	99.20	0.73	0.07
MMR	89.22	9.98	0.79
MYS	63.89	28.56	7.55
PHL	40.98	56.86	2.15
SGP	7.19	85.83	6.98
THA	21.13	69.17	9.70
VNM	16.48	71.58	11.94
Total	26.65	65.10	8.25

4.3 รูปแบบการขนส่งเมื่อเกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง (Counterfactual Scenario)

จากร่างข้อเสนอโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) เพื่อพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะเชื่อมโยงโครงข่ายเมืองหลักไปสู่ภูมิภาคของไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน เช่น โครงการรถไฟความเร็วสูง ซึ่งจะเชื่อมโยงเมืองหลักของเศรษฐกิจชายแดนไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งแผนแม่บทในการพัฒนาโครงข่ายรถไฟความเร็วสูงของ สนข. มีทั้งหมด 4 เส้นทาง คือ 1) สายกรุงเทพฯ-นครราชสีมา-หนองคาย ระยะทาง 615 กม. 2) สายกรุงเทพฯ-หัวหิน-ปาดังเบซาร์ ระยะทาง 982 กม. 3) สายกรุงเทพฯ-พญา-ระยอง ระยะทาง 211 กม. และ 4) สายกรุงเทพฯ-พิษณุโลก-เชียงใหม่ ระยะทาง 745 กม. รวมทั้งโครงการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงชนบทเชื่อมต่อด้านการท่องเที่ยว เป็นส่วนหนึ่งของการเปิดเสรีอาเซียนภาคบริการท่องเที่ยว ซึ่งรัฐบาลมีแนวคิดและนโยบายกำหนดบทบาทของเมืองหลัก และเมืองรองในแต่ละภูมิภาคตามแนวระเบียงเศรษฐกิจเหนือ-ใต้ (North-South Economic Corridor : NSEC) และจากตะวันออ-ตะวันตก (East-West Economic Corridor : EWEC)

โครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการเปิดเสรี AEC ทั้ง 3 แนวทาง คือ ทางถนน ทางรางและระบบขนส่งสาธารณะ เชื่อมโยงโครงข่ายระหว่างเมืองในภูมิภาคและประเทศเพื่อนบ้านเหล่านี้ จะช่วยให้ต้นทุนภาคการขนส่งของประเทศลดลง และเนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณารูปแบบการขนส่งทางถนนและทางรางรวมกันเป็น “การขนส่งทางบก” ดังนั้น ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่า **ต้นทุนการขนส่งทางบกต่อระยะทางจะลดลงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับปีฐาน 2011 ในเส้นทางที่กำหนด** ได้แก่ เส้นทางขนส่งทางบกระหว่าง ลาว-ไทย ไทย-มาเลเซีย และ มาเลเซีย-สิงคโปร์ ตามแผนพัฒนาโครงการที่อธิบายข้างต้น ทั้งนี้ต้นทุนการขนส่งในเส้นทางทางบกนอกเหนือจากที่กำหนด และต้นทุนการขนส่งในรูปแบบอื่น ๆ (ทางทะเลและทางอากาศ) จะมีค่าคงที่เท่ากับค่าในปีฐาน (ปี 2011) เพื่อให้ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสะท้อนถึงผลกระทบที่เกิดจากการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางบกเท่านั้น

โดยเมื่อต้นทุนการขนส่งทางบกเปลี่ยนแปลงไป สัดส่วนของการขนส่งสินค้าในแต่ละรูปแบบจะเปลี่ยนไปจากสมการ (20) ของแบบจำลอง Modal split โดยกำหนดให้ค่า share parameter ในมีค่าคงที่ตามกรณีฐาน ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองรูปแบบการขนส่งสินค้าขึ้นมาใหม่ โดยกำหนดให้ปริมาณสินค้าที่ขนส่งระหว่างประเทศมีค่าคงที่ตามฐานข้อมูลเดิมจาก GTAP ในปีฐาน 2011

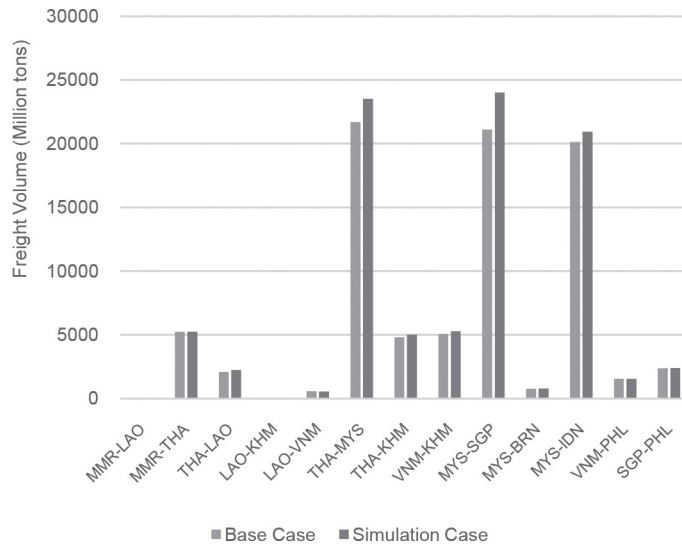
เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการจัดสรรปริมาณสินค้าในแต่ละเส้นทางการขนส่งที่คำนวณใหม่ตามระบบสมการ (27) เปรียบเทียบกับกรณีฐาน จะได้ผลการเปรียบเทียบปริมาณการขนส่งสินค้าทางบกในแต่ละ link และผลการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งสินค้าทางบกในแต่ละ link ในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (โดยพิจารณาเฉพาะรูปแบบการขนส่งทางบกเท่านั้น)

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่ามีปริมาณการขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้นทุกเส้นทาง แต่เส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด คือ มาเลเซีย-สิงคโปร์ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสินค้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.09 เป็นผลทำให้ลำดับปริมาณการขนส่งสินค้าของแต่ละเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกรณีฐาน โดยจากเดิมเส้นทางมาเลเซีย-สิงคโปร์ มีปริมาณการขนส่งมากเป็นอันดับ 2 รองจากมาเลเซีย-ไทย กลายเป็นเส้นทางมาเลเซีย-สิงคโปร์ มีปริมาณการขนส่งสินค้าเป็นลำดับ 1 แทนเส้นทางมาเลเซีย-ไทย นอกจากนี้เส้นทางไทย-ลาว และเส้นทางมาเลเซีย-ไทย มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.47 และ 3.79 ตามลำดับเช่นกัน

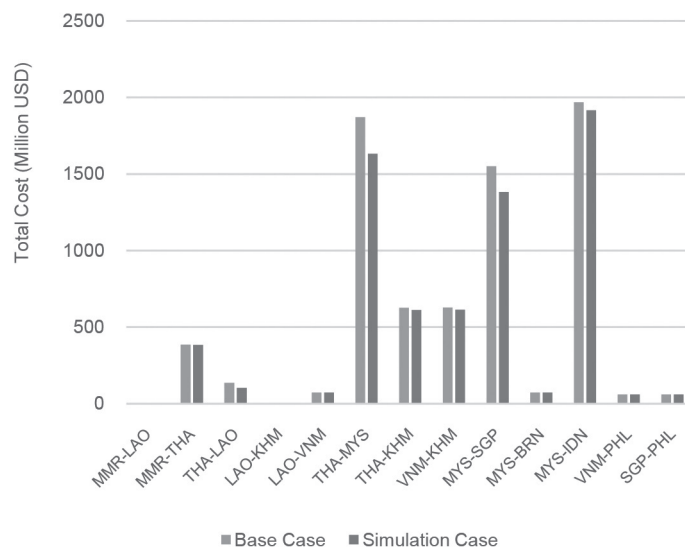
จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีต้นทุนการขนส่งลดลงทุกเส้นทาง เส้นทางที่ต้นทุนการขนส่งลดลงมากที่สุด คือ ไทย-ลาว (ร้อยละ 22.96) รองลงมาคือ มาเลเซีย-ไทย (ร้อยละ 12.77) มาเลเซีย-สิงคโปร์ (ร้อยละ 10.77) และ มาเลเซีย-อินโดนีเซีย (ร้อยละ 2.59) ตามลำดับ

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาารูปแบบการขนส่ง เมื่อเกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า (1) ปริมาณการขนส่งภายในภูมิภาคมีค่าคงที่ และ (2) ต้นทุนการขนส่งทางบกต่อระยะทางในเส้นทางระหว่าง ลาว-ไทย ไทย-มาเลเซีย และ มาเลเซีย-สิงคโปร์ ลดลงร้อยละ 30 จะพบว่าปริมาณการขนส่งและต้นทุนรวมของการขนส่งทั้ง 3 รูปแบบจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 9 และ ตารางที่ 10 ตามลำดับ โดยรูปแบบการขนส่งทางบก จะมีปริมาณการขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.38 ในขณะที่การขนส่งทางทะเล และทางอากาศ จะมีปริมาณการขนส่งสินค้าลดลง ร้อยละ 2.44 และ 1.38 ตามลำดับ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อก่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุดของผู้ทำหน้าที่ส่งสินค้า หรือ Carriers จากแบบจำลอง Modal split นั่นเอง ทั้งนี้ปริมาณการส่งสินค้านี้ระหว่างประเทศในกรณีฐาน (Base Case) ซึ่งแสดงใน ตารางที่ 9 เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากฐานข้อมูล GTAP ในปีฐาน 2011 และคำนวณจากการแก้ระบบสมการ (1) ถึง (6) ตามที่อธิบายข้างต้นในหัวข้อ “การหาปริมาณสินค้าในแต่ละรูปแบบการขนส่ง”



รูปที่ 2: เปรียบเทียบปริมาณการขนส่งสินค้าทางบกในแต่ละ link ระหว่างกรณีฐาน (Base Case) และกรณีหลังการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการขนส่งทางบก (Simulation Case)



รูปที่ 3: เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งสินค้าทางบกในแต่ละ link ระหว่างกรณีฐาน (Base Case) และกรณีหลังการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการขนส่งทางบก (Simulation Case)

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมของการส่งสินค้าที่เปลี่ยนแปลง จากกรณีฐาน (Base Case) และกรณีหลังการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการขนส่งทางบก (Simulation Case) จะเห็นได้ว่าการขนส่งทางบกมีต้นทุนรวมของทั้งระบบลดลงถึง ร้อยละ 8.69 อันเนื่องมาจาก 2 ปัจจัย คือ (1) ต้นทุนต่อหน่วยระยะทางที่ลดลงในเส้นทางที่เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง และ (2) ปริมาณการขนส่งทางบกที่เพิ่มขึ้นตามที่อธิบายข้างต้น ในขณะที่การขนส่งทางทะเล และทางอากาศ ก็จะมีต้นทุนรวมของทั้งระบบลดลงเช่นกัน เนื่องมาจากปริมาณการขนส่งในระบบที่ลดลง โดยลดลงร้อยละ 1.55 และ 2.15 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาต้นทุนการขนส่งของทั้งภูมิภาคในทุก ๆ รูปแบบ จะพบว่าต้นทุนรวมในการขนส่งสินค้าทั้งหมดลดลงร้อยละ 4.15 ดังแสดงใน ตารางที่ 10 ซึ่งนับว่าลดลงค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการขนส่งทางบกต่อระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปเพียง 3 เส้นทาง ตามสมมติฐานที่กำหนดข้างต้น

ตารางที่ 9: ปริมาณการส่งสินค้าที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกรณีฐาน (Base Case) และกรณีหลังการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการขนส่งทางบก (Simulation Case)

รูปแบบการขนส่ง	ปริมาณการขนส่งสินค้าทั้งหมด		
	Base Case (ล้านตัน)	Simulation Case (ล้านตัน)	ปริมาณสินค้าที่ เปลี่ยนแปลง (%)
บก	59951.61	63774.79	6.38
ทะเล	146436.58	142857.51	-2.44
อากาศ	18558.31	18314.20	-1.32
รวม	224946.5	224946.5	-

ตารางที่ 10: ต้นทุนรวมของการส่งสินค้าที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกรณีฐาน (Base Case) และกรณีหลังการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการขนส่งทางบก (Simulation Case)

รูปแบบการขนส่ง	ปริมาณการขนส่งสินค้าทั้งหมด		
	Base Case (ล้านบาท)	Simulation Case (ล้านบาท)	ต้นทุนรวม เปลี่ยนแปลง (%)
บก	4547.26	4152.14	-8.69
ทะเล	6062.66	5968.84	-1.55
อากาศ	2446.37	2393.80	-2.15
รวม	13056.29	12514.77	-4.15

แม้ว่างานวิจัยนี้จะสามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาค และคำนวณหารูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดในสภาพปัจจุบัน รวมทั้งสามารถใช้แบบจำลองของการขนส่งสินค้าที่สร้างขึ้นเพื่อคำนวณรูปแบบการขนส่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อเกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามก็ยังมีอีกหลายจุดที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองในอนาคตคำนวณ และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งจากปัจจัยภายนอกหรือโครงการพัฒนาของภาครัฐได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น ได้แก่

- การรวมตัวแปรในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ (Economic model) เข้ากับตัวแปรในแบบจำลองอื่น ๆ และประมวลผลแบบจำลองทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ซึ่งต้องใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขั้นสูงเพื่อออกแบบ algorithm ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมากและมีความไม่เชิงเส้น (Nonlinearity) สูง
- ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยอาจใช้ข้อมูลที่มีลักษณะเชิงอนุกรมเวลา (Time-series data) เพื่อตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่มีความสำคัญต่อผลการคำนวณจากแบบจำลอง เช่น ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วย-ระยะทาง (USD/ton-km) ของการขนส่งแต่ละรูปแบบ เป็นต้น
- พิจารณาด้านทุนทางอ้อมอื่น ๆ ประกอบกับต้นทุนทางตรงต่อหน่วยที่แปรผันตามระยะทาง เช่น ค่าระวางสินค้า อัตราภาษีศุลกากรที่เรียกเก็บตามการผ่านด่านระหว่างประเทศ ค่าเสียโอกาส (Opportunity cost) จากการพักสินค้า ณ ด่านตรวจเพื่อรอการขนถ่ายสินค้า เป็นต้น
- ในแบบจำลองเครือข่ายการขนส่งสินค้า (Route trip assignment model) ควรพิจารณาแปลงปริมาณสินค้าเป็น Vehicle/Fleet Loading โดยการประมาณจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าหาได้โดยตรงจากการเปลี่ยนปริมาณจากหน่วยตันหรือหน่วยของจำนวนเงิน เป็นจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ขนส่งสินค้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการจัดสรรการจราจรไปยังเส้นทางขนส่งต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและสะท้อนปัจจัยทางกายภาพของเส้นทางได้มากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาพัฒนาปรับปรุงบำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อเสนอแนะและแบบจำลองเพื่อบูรณาการพัฒนาระบบขนส่งและจราจร การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDL). 2558

Allen, W.B., Mahmoud, M.M., and McNeil, D. The importance of time in transit and reliability of transit time for shippers, receivers and carriers. *Transp. Res. B* 198 (1985): 447–456.

Cambridge Systematics Inc. Characteristics and Changes in Freight Transportation Demand: A Guidebook for Planners and Policy Analysts. NCHRP Report 8-30. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Academy Press, 1995.

GTAP, GTAP Data Bases: GTAP 9 Data base [ออนไลน์]. 2559. แหล่งที่มา: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v9/default.asp>

Transportation Research Board. A Guidebook for Forecasting Freight Transportation Demand. NCHRP Report 388. Washington, D.C.: TRB, National Academy Press, 1997.

Vilain, P. and Wolfrom, P. Value pricing and freight traffic: Issues and industry constraints in shifting from peak to off-peak movements. *Transp. Res. Rec.* 1707 (2000): 64–72.