การพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้าระดับประเทศ สำหรับประเทศไทย

Development of National Freight Transport Model for Thailand

สิทธา เจนศิริศักดิ์ [*1] เอกชัย สุมาลี [2] สุเมธ องค์กิตติกุล [3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและโครงสร้าง มหาวิทยาลัยฮองกงโพลีเทคนิค
[3]สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย

Sittha Jaensirisak [*1] Agachai Sumalee [2] Sumet Ongkittikul [3]
[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190
Tel : 045-353-336 E-mail: sittha@gmail.com
[2]Department of Civil and Structural Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong
Tel : +852-3400-3963 E-mail: ceasumal@polyu.edu.hk
[3]Thailand Development Research Institute (TDRI), Bangkok
Tel : 0-2718-5460 E-mail: sumet@tdri.or.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาและการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าที่ดีทั้งทางถนน รถไฟ และ เรือ ไม่เพียงสามารถทำให้ต้นทุนของผลผลิตและผลิตภัณฑ์ลดลงได้ ยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการภายในประเทศให้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกสูงขึ้น เครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการวางแผนพัฒนาการบริหารการขนส่งสินค้า คือ แบบจำลองการขนส่งสินค้า บทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดการพัฒนา แบบจำลองการขนส่งสินค้าระดับประเทศ สำหรับประเทศไทย เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ วางแผนและกำหนดนโยบายการขนส่งสินค้าในอนาคต โดยคุณสมบัติเด่นของแบบจำลองนี้ ได้แก่ (1) ความสามารถในการอธิบายการขนส่งสินค้าในระดับมหภาค และอธิบายพฤติกรรมการเลือกรูปแบบและเส้นทางในการขนส่งสินค้าภายในประเทศได้ และ (2) ความสามารถในการพยากรณ์แนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสินค้า และแสดงปริมาณการไหลเวียนของสินค้าในรูปแบบการขนส่งต่างๆ ในโครงข่ายระดับประเทศ รวมไปถึงการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ ในระดับกลยุทธ์

คำหลัก แบบจำลองการขนส่งสินค้า การเลือกรูปแบบและเส้นทางการขนส่งสินค้า การขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ

Abstract

Appropriate development and management of freight transport on road, rail and ship can help to reduce cost of goods and product. This leads to help in increasing manufactures' capability in market competition. An important tool for transport planning is freight transport model. This paper presents the concept for developing national freight transport modal for Thailand. The model can be used in analysing, planning and formulating freight transport policy. Some advantages of the model include: (1) explaining freight transport in macro-level, and behaviour of transport mode and route choice, and (2) forecasting trend of freight volume, and freight volume on each transport mode and route, as well as volume on multi-modal freight transport in strategic level.

Keywords: Freight transport model, transport mode and route choice, multi-modal freight transport

1. บทนำ

การขนส่งสินค้าภายในประเทศมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญในการนำผลผลิตและผลิตภัณฑ์จากแหล่งผลิตภายในประเทศออกสู่ตลาดโลก ซึ่งสามารถช่วยส่งเสริมความสามารถแข่งขันในด้านการค้าในตลาดโลกของประเทศไทยได้ การขนส่งสินค้าช่วยให้เกิดการเข้าถึง (accessibility) แหล่งผลิตและการส่งต่อไปยังผู้บริโภค

การพัฒนาและการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าที่ดีทั้งทางถนน รถไฟ และ เรือ ไม่เพียงสามารถทำให้ต้นทุนของผลผลิตและผลิตภัณฑ์ลดลงได้ ยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการภายในประเทศให้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกสูงขึ้น ทำให้เศรษฐกิจของประเทศในด้านการค้าดีขึ้นได้ในภาพรวม อีกทั้งยังเป็นการลดความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดจากการบรรทุกสินค้า เช่น ความเสียหายของเส้นทาง และความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่มีต่อมูลค่าของสินค้า ชีวิตและทรัพย์สินของผู้เดินทางทั่วไปอีกด้วย

เครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการวางแผนพัฒนาการบริหารการขนส่งสินค้า คือ แบบจำลองการขนส่งสินค้าระดับประเทศ (national freight transport model) ซึ่งสามารถช่วยในการคาดการณ์ปริมาณสินค้า รูปแบบการขนส่ง และเส้นทางการขนส่ง

ถึงแม้ว่าเบื้องต้นของการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้ามีการพัฒนามาจากแบบจำลองการเดินทาง (travel demand model) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบบจำลอง 4 ขั้นตอน (four stages model) ซึ่งแบ่งขั้นตอนการสร้างแบบจำลองออกเป็นสี่ขั้น คือ แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (trip generation) แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (trip distribution) แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (modal split) และแบบจำลองการจราจรบนโครงข่าย (network assignment) แต่การขนส่งสินค้ามีความแตกต่างจากการเดินทางของคนอยู่มาก เนื่องจากสินค้าไม่สามารถเคลื่อนที่เองได้ด้วยตนเอง จำเป็นต้องมีการดูแลการขนส่งในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งกระบวนการขนส่งสินค้า เกิดจากความต้องการในการซื้อขายแลกเปลี่ยน (trade) ซึ่งต้องมี ผู้ซื้อ และ ผู้ขาย โดยการขนส่งส่วนใหญ่เกิดจากผู้ขายจัดส่งสินค้าให้แก่ผู้ซื้อไปถึงจุดหมายปลายทางที่กำหนด แต่ในบางกรณี ผู้ซื้อเป็นคนรับผิดชอบไปรับสินค้าจากผู้ขาย ณ แหล่งผลิต นอกจากนั้น สินค้าที่มีการเคลื่อนย้ายนั้น อาจเป็นสินค้าขั้นกลางที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต สินค้าดังกล่าวเกิดจากการผลิตจากวัตถุดิบหลายประเภท และแหล่งผลิตแต่ละแห่งอาจมีการผลิตสินค้าหลายชนิด ดังนั้น การที่แหล่งผลิตแหล่งหนึ่งมีทั้งการขนส่งวัตถุดิบหลายชนิดมาใช้ในการผลิต และการกระจายสินค้า (ซึ่งอาจมีหลายชนิด) ไปยังจุดหมายปลายทางหลายแห่งก็เป็นประเด็นที่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์อย่างละเอียดในการวิเคราะห์ปริมาณการขนส่งสินค้าที่อยู่ในแนวทางการพัฒนาแบบจำลองด้วย

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ ประกอบด้วย

1. เพื่อทราบถึงขอบเขต จุดเด่นและข้อจำกัดของแบบจำลองการขนส่งสินค้าที่ได้มีการพัฒนาขึ้น ในอดีตที่ผ่านมา และกำหนดแนวทางที่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้า

2. เพื่อกำหนดโครงสร้างและขอบเขตของแบบจำลองการขนส่งสินค้า ทั้งในส่วนของปัจจัยที่มีอิทธิพล ขั้นตอนการพยากรณ์อุปสงค์การขนส่งสินค้าของแบบจำลอง

3. เพื่อกำหนดแนวทางการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้า สำหรับวิเคราะห์และพยากรณ์ปริมาณการขนส่งสินค้า เส้นทางการขนส่งสินค้า และรูปแบบการขนส่ง

การพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้านี้ มีแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองทั้งหมด 4 ส่วน คือ (1) แบบจำลองความต้องการสินค้าในระดับมหภาค ซึ่งเป็นแบบจำลองในการอธิบายในส่วนของมูลค่าการผลิต การนำเข้า การส่งออกและการบริโภคสินค้าโดยรวมของประเทศ (2) แบบจำลองปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศซึ่งเป็นแบบจำลองที่อธิบายปริมาณการไหลเวียนของสินค้าระหว่างพื้นที่ต่างๆ ภายในประเทศ (3) แบบจำลองการเลือกรูปแบบของการขนส่งสินค้าซึ่งเป็นแบบจำลองที่อธิบายและคาดการณ์สัดส่วนและการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบ (mode) ในการขนส่งสินค้าภายในประเทศ และ (4) แบบจำลองการเลือกเส้นทางในการขนส่งสินค้า ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เส้นทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าเพื่อกระจายสินค้าไปยังจุดหมายปลายทางต่างๆ

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ใช้ใน (1) โครงการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยและผลกระทบเพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (modal shift) อย่างเหมาะสมต่อการเดินทางสัญจรและการขนส่งทางถนนไปสู่การขนส่งระบบรางและการขนส่งทางน้ำ [1] (2) โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาเส้นทางพิเศษสำหรับรถบรรทุก และระบบบริหารจัดการเพื่อเชื่อมต่อการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ [2] (3) โครงการศึกษาจัดทำแผนบูรณาการเพื่อพัฒนาระบบโครงข่ายด้านการขนส่งและจราจร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กลุ่มที่ 2) จังหวัดมุกดาหาร นครพนม และสกลนคร [3]

บทความนี้ได้ทบทวนแบบจำลองการขนส่งสินค้าของต่างประเทศและในประเทศไทย ในหัวข้อที่ 2 และ 3 แล้วสรุปประเด็นสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเทศไทย ในหัวข้อที่ 4 ต่อจากนั้น หัวข้อที่ 5 เสนอหลักการและแนวคิดการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้า หัวข้อที่ 6 อธิบายการพัฒนาแบบจำลองปริมาณและการกระจายการขนส่งสินค้า และ หัวข้อที่ 7 อธิบายแบบจำลองการขนส่งสินค้า

2. แบบจำลองการขนส่งสินค้าของต่างประเทศ

แบบจำลองการขนส่งสินค้าในต่างประเทศมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 70 (หรือประมาณปี พ.ศ. 2513) จากการทบทวนการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้าในต่างประเทศ ได้แก่ Chisholm and O'Sullivan [4] Williams [5] Harker and Friesz [6] Crainic และคณะ [7] Tavasszy [8] WSP [9] Tavassy [10] สามารถนำมากรอบแนวคิดของการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้าในต่างประเทศได้ โดยภาพรวมของการพัฒนาแบบจำลองได้ดังตารางที่ 1 ซึ่ง Tavasszy [10] ได้ให้ข้อสังเกตต่อแนวทางการพัฒนาไว้สองประเด็น คือ (1) การพัฒนาการในด้านการเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลอง ในส่วนของรูปแบบการตัดสินใจขององค์กรให้มีลักษณะในเชิงบูรณาการมากยิ่งขึ้น และ (2) เริ่มมีการพิจารณาในด้านของพฤติกรรมการตัดสินใจ และมีการนำพฤติกรรมเหล่านั้นมาจำลองสถานการณ์ในแบบจำลองเชิงสถานการณ์ (simulation) มากยิ่งขึ้น

โดยสรุปการพัฒนาการของแบบจำลองการขนส่งสินค้า สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. การปรับปรุงการแสดงความเชื่อมโยงระหว่างการขนส่งสินค้าและระบบเศรษฐกิจ (freight-economy forward linkages) ในการศึกษาต้นทุนและประโยชน์ของการพัฒนาระบบขนส่งสินค้าผ่านทางแบบจำลอง ผลกระทบที่สำคัญที่การศึกษาต่างๆ พิจารณา คือ การเชื่อมโยงระหว่างการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (productivity growth) และการพัฒนาระบบขนส่งสินค้าโดยเฉพาะการพัฒนาระบบขนส่งให้เข้าถึงพื้นที่ได้สะดวกขึ้น ซึ่งการศึกษานี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยเชิงพื้นที่ (spatial aspect) ซึ่งแบบจำลองการขนส่งสินค้า มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเชื่อมโยงระบบเศรษฐกิจและตัวแปรเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงกันระหว่าง การซื้อขายแลกเปลี่ยน (trade) และการผลิตและการบริโภค (production/consumption) แบบจำลองล่าสุด ที่มีการพัฒนา คือแบบจำลองคำนวณดุลยภาพทั่วไปเชิงพื้นที่ หรือ Spatial Computable General Equilibrium (SCGE) ซึ่งมีหลักการจากแบบจำลองคำนวณดุลยภาพทั่วไป Computable General Equilibrium (CGE)

2. การพัฒนาด้านพฤติกรรมโลจิสติกส์ (logistics behaviors) ซึ่งพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการขนส่งและการเก็บสินค้าคงคลัง (เพื่อการผลิต) ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองที่เชื่อมโยงระหว่าง จุดเริ่มต้น-ปลายทาง (Origin-Destination: O/D) สำหรับ ตำแหน่งของการผลิตและการบริโภค และ O/D ที่มีการแสดงถึงตำแหน่งของคลังสินค้าด้วย ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องจาก (1) รูปแบบของการไหลเวียนของสินค้าเชิงพื้นที่ ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ (2) ค่าใช้จ่ายของการขนส่งสินค้า และ (3) ผลกระทบทางเศรษฐกิจของนโยบายที่เกี่ยวกับการขนส่งสินค้า

(3) การพัฒนาด้านรูปแบบการขนส่งสินค้าและโครงข่าย (freight trips and networks) ในประเทศแถบทวีปยุโรปมีการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (multimodal network assignment) สำหรับการขนส่งสินค้า ซึ่งโครงข่ายนี้มีทั้งในระดับประเทศและระดับสหภาพยุโรป (European Union)

ตารางที่ 1 สรุปการพัฒนาการของแบบจำลองการขนส่งสินค้าในต่างประเทศ [10]

<table>
<tr><th>ปัญหาและรูปแบบการตัดสินใจ</th><th>ลักษณะแบบจำลอง</th><th colspan="3">ลักษณะของเทคนิค</th></tr>
<tr><td>การผลิตและการบริโภค</td><td>การเกิดการขนส่งและตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยผลิต ความเชื่อมโยงระหว่างระบบเศรษฐกิจ การขนส่งสินค้า และรูปแบบการบริโภค</td><td>Land Use-Transport Interaction Model [LUTI] (1970s) และ Spatial Computable General Equilibrium Model [SCGE] (1990s)</td><td colspan="2">Trip generation models, I/O (1970s)</td></tr>
<tr><td>การซื้อ-ขาย และแลกเปลี่ยน</td><td>การซื้อขายแลกเปลี่ยนระหว่างประเทศการแปลงมูลค่าเป็นปริมาณ</td><td></td><td>Gravity models, synthetic O/D models (1970s)</td><td rowspan="4">Agent based simulation models (1990s)</td></tr>
<tr><td>การบริการโลจิสติกส์</td><td>ตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้า การพิจารณาถึงการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทาน</td><td colspan="2">Logistics choice models (1990s)</td></tr>
<tr><td>การบริการขนส่ง</td><td>การเลือกรูปแบบการขนส่ง การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รถบรรทุกขนาดเล็ก</td><td>Simple trip conversion factors (1970s) Discrete choice models (1990s)</td><td rowspan="2">Multimodal networks (1980s)</td></tr>
<tr><td>โครงข่ายและเส้นทาง</td><td>การเลือกเส้นทางและปัญหาความแออัดของเส้นทางการวางแผนเส้นทางแบบมีจุดส่ง-รับ หลายจุดการเข้าออกเขตเมืองของรถบรรทุก</td><td>Network assignment (1980s) Simulation (1990s)</td></tr>
</table>

3. แบบจำลองการขนส่งสินค้าของประเทศไทย

แบบจำลองการขนส่งสินค้าของประเทศไทยได้มีการพัฒนาในเชิงวิชาการซึ่งส่วนใหญ่เป็นการวิจัยโดยสถาบันการศึกษาและหน่วยงานในภาครัฐ เช่น โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ [11] และ โครงการพัฒนาระบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและการจัดการต่อเนื่องระบบโลจิสติกส์เพื่อการนำแผนไปสู่การปฏิบัติ [12] ซึ่งพบว่าโดยทั่วไปแบบจำลองการขนส่งสินค้าของประเทศไทยจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มการพยากรณ์ปริมาณสินค้าในอนาคต และกลุ่มของพฤติกรรมการเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้าของผู้ขนส่งสินค้า

ในกลุ่มการพยากรณ์ปริมาณสินค้าในอนาคตส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลปริมาณการขนส่งในอดีต มาสร้างแบบจำลองเชิงเส้น (linear model) โดยมีปริมาณการขนส่งเป็นตัวแปรตาม (dependent variable) และมีตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม เช่น ระดับรายได้ประชาชาติ จำนวนประชากร อัตราการบริโภค เป็นตัวแปรต้น (independent variables)

สำหรับในกลุ่มของแบบจำลองพฤติกรรมการเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้านั้นเป็นการใช้แบบจำลองโลจิต (Logit) เป็นแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะสำหรับการทำนายพฤติกรรมการเลือกรูปแบบการเดินทาง แต่ว่าการศึกษาแบบจำลองการขนส่งสินที่ผ่านมา ยังไม่พบว่ามีการนำแบบจำลองโลจิตในระดับสูงมาใช้ เช่น แบบจำลอง

Nested Logit, Mixed Logit หรือ Probit จากการทบทวนเบื้องต้นนั้นการปรับปรุงแบบจำลองระดับประเทศเพื่อการขนส่งสินค้าเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิที่สามารถนำมาใช้นำมาปรับปรุงฐานข้อมูลในแบบจำลองและนำมาปรับปรุงความสามารถในการวิเคราะห์ของแบบจำลองให้ได้ผลลัพธ์ละเอียดขึ้น

4. ประเด็นสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้าสำหรับประเทศไทย

จากการทบทวนงานวิจัยแบบจำลองการขนส่งสินค้าทั้งของต่างประเทศและในประเทศ ทำให้พบประเด็นในการนำมาพัฒนาแบบจำลองในครั้งนี้เพื่อประโยชน์และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงและช่วยในการวิเคราะห์และคาดคะเนความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบการขนส่งสินค้า ดังนี้

1. โครงสร้างของแบบจำลองต้องมีความสามารถในการอธิบายความสัมพันธ์และผลประโยชน์ที่ได้จากการขนส่งสินค้าในระดับมหภาค และอธิบายพฤติกรรมการเลือกรูปแบบและเส้นทางในการขนส่งสินค้าภายในประเทศได้

2. ผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถพยากรณ์แนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสินค้า และแสดงปริมาณการไหลเวียนของสินค้าในรูปแบบการขนส่งต่างๆในโครงข่ายระดับประเทศ รวมไปถึงการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ

3. แบบจำลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับฐานข้อมูลที่มีอยู่และฐานข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจรวบรวมเพิ่มเติมในครั้งนี้ และเพื่อประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์วางแผนการขนส่งสินค้าระดับประเทศ

5. หลักการและแนวคิดการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้า

แนวคิดของการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้าโดยพิจารณาจากฐานข้อมูลที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น และประเด็นที่ได้จากการทบทวนการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งสินค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยแนวทางการพัฒนาแบบจำลองในครั้งนี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การพัฒนาแบบจำลองในระดับมหภาค (ดูหัวข้อที่ 7.1) เป็นการพิจารณาถึงตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์ มหภาค เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของการขนส่งสินค้า และอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ แบบจำลองนี้ แสดงทั้งในส่วนมูลค่าการผลิต การนำเข้า การส่งออก และการบริโภค โดยรวมของประเทศ

2. การพัฒนาแบบจำลองปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศ (ดูหัวข้อที่ 7.2) เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาปริมาณการไหลเวียนของสินค้าภายในประเทศ โดยที่แบบจำลองนี้ เน้นการหาปริมาณการขนส่งสินค้า ซึ่งแสดงในรูปของ ปริมาณการขนส่งเป็น ตัน-กิโลเมตร และปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่างพื้นที่ ซึ่งแสดงในรูปของ จุดเริ่มต้น-จุดปลายทาง ของการขนส่งสินค้า หรือเรียกว่า OD Matrix

3. การพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบยานพาหนะและเส้นทางสำหรับการขนส่งสินค้าประยุกต์ใช้แบบจำลอง Logit และ Probit (ดูหัวข้อที่ 7.3) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางของการขนส่ง (modal shift) และการเลือกเส้นทางที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งมีอิทธิพลต่อต้นทุนในการขนส่ง

4. การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายการขนส่งสินค้า (ดูหัวข้อที่ 7.3) ในกรณีของการวิเคราะห์โครงข่ายเส้นทางในการขนส่งได้ใช้รูปแบบจำลองการกระจายปริมาณการขนส่งสินค้าในเส้นทางต่างๆ ด้วยแบบจำลองลักษณะ Stochastic Probit User Equilibrium Assignment

ส่วนเชื่อมต่อระหว่างแบบจำลอง คือ จุดเริ่มต้น-จุดปลายทางของการขนส่งสินค้า หรือ OD Matrix โดยที่แบบจำลองปริมาณและการกระจายการขนส่งสินค้าระหว่างภูมิภาค ทำการสร้าง OD Matrix สำหรับแบบจำลองการเลือกรูปแบบและเส้นทางการขนส่งสินค้า และใช้ในแบบจำลองโครงข่าย

6. โครงสร้างแบบจำลองปริมาณและการกระจายการขนส่งสินค้า

โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณและการกระจายการขนส่งสินค้า สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

หลัก ได้แก่ การศึกษาปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์มหภาคต่อปริมาณการขนส่งสินค้า การสร้างเมตริกซ์การกระจายของการผลิตและการบริโภค และการแปลงเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค เป็นเมตริกซ์ต้นทางและปลายทางของสินค้า โดยโครงสร้างของแบบจำลองนี้ แสดงในรูปที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์มหภาค ต่อปริมาณการขนส่งสินค้า ในส่วนนี้ ได้ทำการศึกษามูลค่าและปริมาณสินค้า ทั้งที่ผลิตในประเทศและที่มีการนำเข้า และส่งออก รวมไปถึงการบริโภคสินค้าในประเทศ มีการศึกษาโครงสร้างการผลิตของประเทศ โดยนำวิธีการวิเคราะห์ ปัจจัยการผลิตและผลผลิต (input-output analysis) มาเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างการผลิตและการบริโภคของประเทศ เพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณสินค้าที่ไหลเวียนระหว่างภาคการผลิตและการบริโภคได้

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค (Production/Consumption Matrix: P/C Matrix) โดยศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ของสินค้า และการบริโภค เพื่อให้ได้ตารางการผลิตและการบริโภคเชิงพื้นที่ (P/C Matrix) ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่นั้น เป็นการเก็บรวบรวมจากข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก เช่น ปริมาณผลผลิตเกษตรรายภาค และรายจังหวัด ปริมาณการผลิตอุตสาหกรรมรายสินค้า รายภาคและรายจังหวัด ปริมาณการนำเข้า และส่งออกตามด่านศุลกากรต่างๆ ทั่วประเทศ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 การแปลงเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค (P/C Matrix) เป็นเมตริกซ์ต้นทางและปลายทางของสินค้า (O-D Freight Matrix) โดยข้อมูลหลักคือ ลักษณะการขนส่งของแต่ละชนิดสินค้า เช่น หีบห่อสินค้า ปริมาณสินค้าต่อเที่ยว ปริมาณการวิ่งเที่ยวเปล่าของรถบรรทุก โดยมีการเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบในการวิเคราะห์

ทั้งสามขั้นตอน มีรายละเอียดในการพัฒนาแบบจำลองออกเป็น 4 ประเด็น คือ

- การกำหนดสาขาการผลิตและแบ่งเขตพื้นที่
- การปรับปรุงโครงสร้างตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต
- การสร้างตารางการกระจายผลผลิตและการบริโภคเชิงพื้นที่ (Production/Consumption Matrix)

6.1 การกำหนดสาขาการผลิตและแบ่งเขตพื้นที่

การกำหนดชนิดของสินค้าตามสาขาการผลิตมีความสำคัญ เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวเนื่องกับการขนส่งสินค้า และข้อมูลทางเศรษฐกิจต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง Spatial Input Output นี้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งมีการรวบรวมจากหลายหน่วยงาน และแต่ละหน่วยงานนั้น มีการกำหนดสาขาการผลิตที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของหน่วยงานนั้นๆ

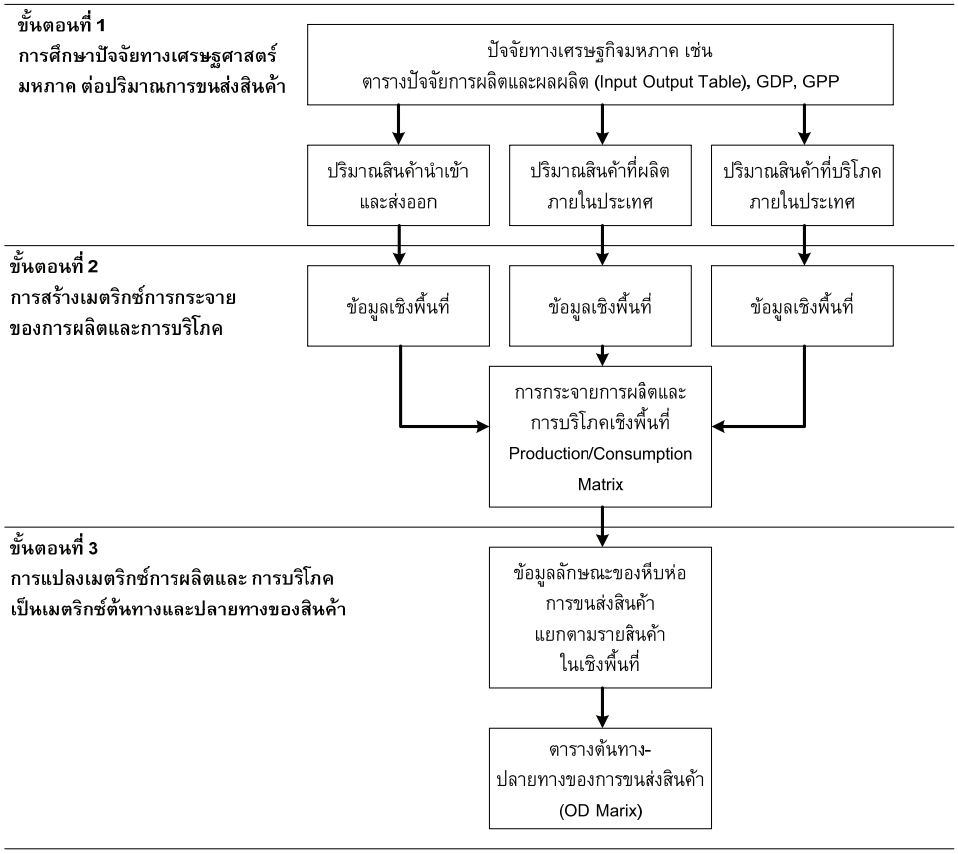
ในการกำหนดสาขาการผลิตสำหรับการศึกษานี้ จำแนกสาขาการผลิตของข้อมูลเป็นตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการกำหนดสาขาการผลิตที่ละเอียดถึง 180 สาขาการผลิต และนำมายุบรวมเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลการขนส่งสินค้าของกระทรวงคมนาคม ซึ่งมี 22 ชนิดสินค้า ซึ่งสาขาการผลิตที่นำมาใช้ของโครงการนี้มีทั้งสิ้น 33 สาขาการผลิต ที่มีความเชื่อมโยงกับสาขาการผลิตของตารางปัจจัยการผลิต/ผลผลิต และชนิดสินค้าของกระทรวงคมนาคม

ในส่วนของการแบ่งเขตพื้นที่ ได้ใช้พื้นที่เชิงอนุภูมิภาค (subregion) ซึ่งมีการแบ่งออกเป็น 20 อนุภูมิภาค (แสดงในรูปที่ 2) (ข้อมูลเชิงเศรษฐกิจรายพื้นที่ในระดับจังหวัดอาจมีความคลาดเคลื่อนสูง ทำให้การวิเคราะห์อาจผิดพลาดได้ จึงใช้ระดับอนุภาค)

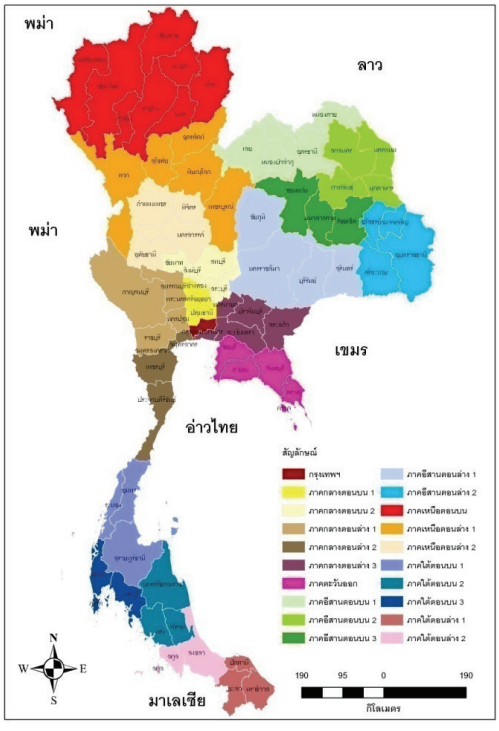
6.2 การปรับปรุงโครงสร้างตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต

ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตแสดงโครงสร้างการผลิตของสาขาการผลิตต่างๆ ในระบบเศรษฐกิจของประเทศ ในประเทศไทย ได้มีการสร้างตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตทุกๆ 5 ปี แต่เนื่องจากวิกฤตเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งโครงสร้างการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก เป็นเหตุให้สำนักงานเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ได้จัดทำตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต ในปี ค.ศ. 1998 หรือ พ.ศ. 2541 ขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจมากยิ่งขึ้น

การศึกษานี้ ได้นำค่าสัมประสิทธิ์ของตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของปี ค.ศ. 1995 1998 และ 2000 มาพิจารณาโครงสร้างการผลิตของสาขา และทำการปรับปรุงเพื่อสร้างตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตปี



รูปที่ 1 โครงสร้างของแบบจำลองปริมาณและการกระจายการขนส่งสินค้า



รูปที่ 2 การแบ่งเขตพื้นที่ตามอนุภูมิภาคสำหรับแบบจำลอง

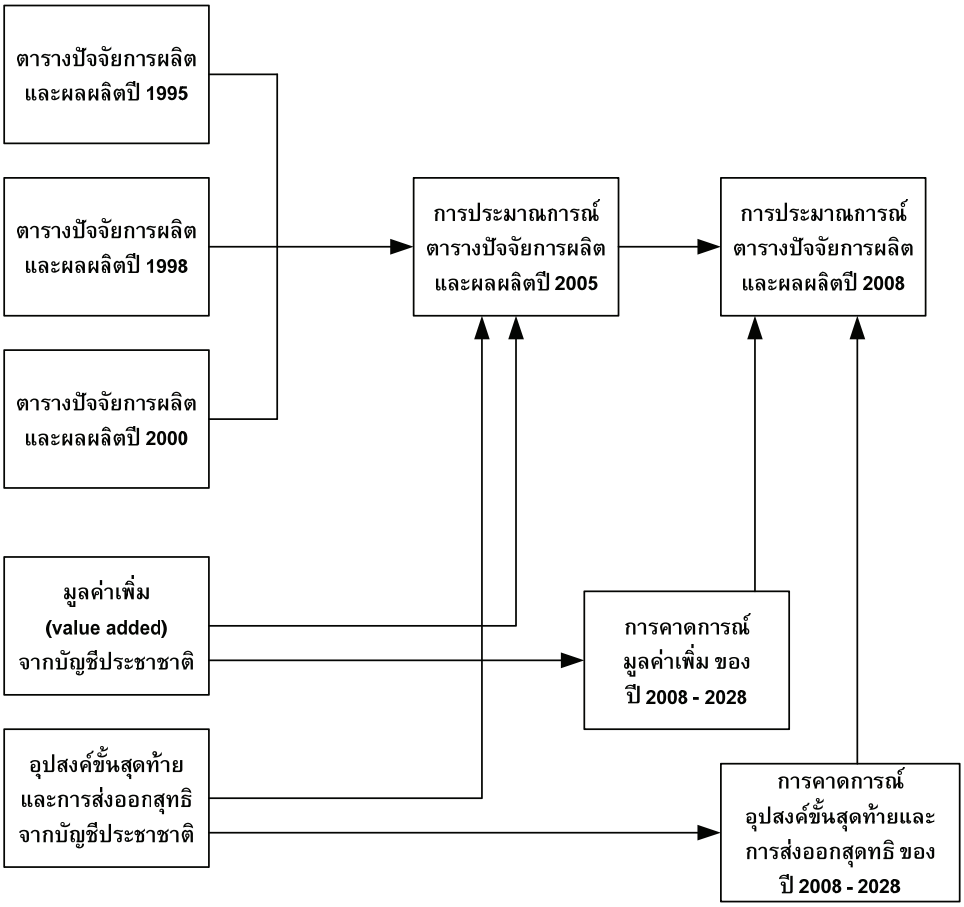
ฐาน ซึ่งคือปี พ.ศ. 2551 โดยมีกระบวนการปรับปรุงดังรูปที่ 3

ทั้งนี้ ค่าที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต คือมูลค่าเพิ่ม อุปสงค์ขั้นสุดท้าย และการส่งออกสุทธิของแต่ละสาขาการผลิต ซึ่งได้มาจากข้อมูลผลผลิตมวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) และข้อมูลบัญชีประชาชาติ (National Income Account)

6.3 การสร้างตารางการกระจายผลผลิตและการบริโภคเชิงพื้นที่ (Production/Consumption Matrix)

หลังจากได้โครงสร้างการผลิต จากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตแล้ว ขั้นตอนต่อมา เป็นการสร้างตารางการกระจายผลผลิตและการบริโภคเชิงพื้นที่ ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างตารางดังรูปที่ 4

ในส่วนนี้ มีส่วนสำคัญสองส่วนคือ



รูปที่ 3 การปรับปรุงตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต

- ผลผลิต ซึ่งคำนวณจากข้อมูลโครงสร้างการกระจายผลผลิตจากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต และข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัด (Gross Provincial Product: GPP) และข้อมูลผลผลิตการเกษตร และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
- การบริโภค หรือปัจจัยการผลิตขั้นกลาง ซึ่งคำนวณมาจากข้อมูลโครงสร้างการผลิตและโครงสร้างการบริโภคของแต่ละพื้นที่

จากนั้น การนำเข้าหรือส่งออกสุทธิของพื้นที่นั้น หรือปัจจัยการผลิตขั้นกลาง ได้ โดยข้อมูลการนำเข้าหรือส่งออกสุทธินี้ เป็นข้อมูลการไหลเวียนของสินค้าระหว่างพื้นที่ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณ O-D Freight Matrix ได้

พื้นที่ ก	ผลผลิต (มูลค่า)	การบริโภค หรือ ปัจจัยการผลิต (มูลค่า)	การนำเข้าหรือส่งออก ของพื้นที่ (มูลค่า)
สาขาการผลิตที่ 1	X	Y	X-Y
สาขาการผลิตที่ 2	...	...	...
สาขาการผลิตที่ 3	...	...	...
...	...	...	...

ข้อมูลโครงสร้าง การกระจายผลผลิต | ข้อมูลโครงสร้างการผลิต และโครงสร้างการบริโภค | ข้อมูลการไหลเวียน ของสินค้าระหว่างพื้นที่

รูปที่ 4 ตัวอย่างตารางการกระจายผลผลิตและการบริโภคเชิงพื้นที่

6.4 การแปลงเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค (P/C Matrix) เป็นเมตริกซ์ต้นทางและปลายทางของสินค้า (O-D Freight Matrix)

การแปลงเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค (P/C Matrix) เป็นเมตริกซ์ต้นทางและปลายทางของสินค้า (O-D Freight Matrix) โดยข้อมูลหลักคือลักษณะการขนส่ง

ของแต่ละชนิดสินค้า เช่น หีบห่อสินค้า ปริมาณสินค้าต่อเที่ยว ปริมาณการวิ่งเที่ยวเปล่าของรถบรรทุก โดยส่วนนี้มีการเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบในการวิเคราะห์

7. แบบจำลองการขนส่งสินค้า

7.1 แบบจำลองความต้องการขนส่งสินค้าระดับมหภาค

แบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายความต้องการการขนส่งสินค้าในระดับมหภาคประกอบด้วย การประมาณการ GDP ระดับประเทศโดยสร้างแบบจำลองทั่วไป (Computable General Equilibrium Model: CGE) ที่มีการรวบรวมฐานข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง และ การจัดทำตารางบัญชีสังคม หรือที่เรียกว่า Social Accounting Matrix (SAM) โดยการจัดทำตารางบัญชีเมตริกส์ ซึ่งโครงสร้างของแบบจำลอง CGE และ SAM ประกอบด้วย

- ภาคการผลิต 79 ภาค
- โครงสร้างของมูลค่าเพิ่ม (value added) ของแต่ละภาคการผลิต ได้แก่ การใช้ปัจจัย
- แรงงานและสินค้าทุน ภาษีประเภทต่างๆ เช่น ภาษีมูลค่าเพิ่ม เป็นต้น
- ภาคครัวเรือน แบ่งตามขนาดและประเภทของครัวเรือน คือ ครัวเรือนภาคเกษตร และครัวเรือนนอกภาคเกษตร ตามระดับรายได้ของครัวเรือน 10 ระดับ (decile) รวมเป็นจำนวน 20 กลุ่มครัวเรือน
- ภาครัฐบาล ซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บภาษีและใช้จ่ายภาครัฐ (ทั้งใช้จ่ายประจำและใช้จ่ายเพื่อการลงทุน)
- ภาคธุรกิจ และภาคต่างประเทศ
- สมการกำหนดอุปสงค์ประเภทต่าง ๆ คือ การบริโภค การลงทุน การส่งออก การนำเข้า

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและ SAM คือ บัญชีรายได้ประชาชาติรายปีประจำปี 2001 ตารางปัจจัยการผลิต/ผลผลิต หรือตาราง input-output table ประจำปี 1998 ข้อมูลการสำรวจรายได้และรายจ่ายครัวเรือนประจำปี 2001 (socio-economic survey 2000), ข้อมูลการสำรวจแรงงานปี 2001/2002 ข้อมูลภาคต่างประเทศในปี 2001/2002 ซึ่งรวมทั้งส่วนที่เป็นดุลการค้า (การส่งออกและนำเข้าสินค้าและบริการ) ส่วนที่เป็นดุลการชำระเงิน (การท่องเที่ยว รายได้และรายจ่ายปัจจัยการผลิต เงินโอน) และส่วนที่เป็นบัญชีเงินทุนเคลื่อนย้าย (การลงทุนโดยตรงและการลงทุนในสินทรัพย์ทางการเงิน)

เนื่องจากการประมาณการเศรษฐกิจไทยในระยะที่ค่อนข้างยาวมาก คือถึงปี 2600 ซึ่งการใช้แบบจำลอง CGE ช่วยในการประมาณการอาจมีความผิดพลาดได้ เนื่องจากในช่วงเวลาที่ยาวมาก ๆ น่าจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจและสังคมของไทยขนานใหญ่ ซึ่งโดยปกติไม่สามารถศึกษาด้วยแบบจำลอง CGE ได้ จึงมีการใช้เทคนิคเพิ่มเติมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจของไทยในช่วงระยะเวลา 50 ปีข้างหน้า แล้วนำผลการศึกษาที่ได้มาเป็นแนวทาง สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง CGE

การพยากรณ์ผลิตภัณฑ์ภาค (GRP) และจังหวัด (GPP) ในปี พ.ศ. 2550-2580 ได้ทำการพยากรณ์สัดส่วนของสาขาการผลิตจำนวน 22 สาขา โดยมีวิธีการคาดประมาณโดยใช้ข้อมูลการประมาณ GDP ในระดับประเทศ โดยหาสัดส่วนในอนาคตเพื่อนำมาแตก GDP รายสาขาเป็น GRP และ GPP นั้น เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากค่าพยากรณ์มูลค่าเพิ่มในสาขาการผลิตแต่ละสาขาของภาคและ/หรือจังหวัดต่างๆ เมื่อรวมกันแล้วไม่ควรเกินค่าพยากรณ์ในระดับประเทศ ดังนั้น วิธีการในส่วนนี้ จึงได้แบ่งออกเป็น การคำนวณหาสัดส่วนของมูลค่าเพิ่มในแต่ละภูมิภาคต่อมูลค่าเพิ่มในระดับประเทศ และการคำนวณหาสัดส่วนมูลค่าเพิ่มของแต่ละจังหวัดต่อมูลค่าเพิ่มในภูมิภาคนั้นๆ เนื่องด้วยวิธีการที่คล้ายกันระหว่างการหาสัดส่วนระหว่าง GRP กับ GDP และ GPP กับ GRP ดังนั้น จึงนำเสนอวิธีการควบคู่กันไป

จากการพิจารณาสาขาเศรษฐกิจใดสาขาหนึ่งทีละสาขา ความจำเป็นที่ต้องมีดัชนี i จะหมดไป และเราสามารถคำนวณมูลค่าเพิ่มในสาขาใดสาขาหนึ่งของภาคหรือจังหวัด j ณ เวลา t ดังสมการที่ 1, 2 และ 3

$$Y_{jt} = Y_{j,t-1} + \Delta Y_{jt} \quad (1)$$

$$S_{jt} = \frac{Y_{jt}}{Y_t} = \frac{Y_{j,t-1}}{Y_t} + \frac{\Delta Y_{jt}}{Y_t} \quad (2)$$

$$S_{jt} = S_{j,t-1} \cdot \left(\frac{Y_{t-1}}{Y_t}\right) + \frac{\Delta Y_{jt}}{\Delta Y_t} \cdot \left(\frac{\Delta Y_t}{Y_t}\right) \quad (3)$$

โดยที่

Y^{i}_{jt} = มูลค่าเพิ่มในสาขา i ของภาคหรือจังหวัด j ณ เวลา t

Y^{i}_{t} = มูลค่าเพิ่มในสาขา i ของประเทศหรือของภาค ณ เวลา t

S^{i}_{jt} = $\frac{Y^{i}_{jt}}{Y^{i}_{t}}$ = สัดส่วนมูลค่าเพิ่มของสาขา i ของภาคหรือจังหวัด j ต่อมูลค่าเพิ่มของประเทศหรือภาคในสาขา i โดยลำดับ

ถ้า ΔY_{jt} คือ การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเพิ่มในเวลา t ซึ่งพบว่าสัดส่วนมูลค่าเพิ่มของสาขาการผลิตต่างๆ ของภาคหรือจังหวัดต่อมูลค่าเพิ่มของประเทศหรือของภาค ณ เวลา t มีความสัมพันธ์กับตัวมันเองในช่วงเวลาที่ผ่านมาและกับอัตราการเติบโตของสาขาในระดับประเทศ ซึ่งแต่ละจังหวัดหรือภาคมีส่วนแบ่งจากการเติบโตของมูลค่าเพิ่มในระดับประเทศมากน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของภาคหรือจังหวัดนั้นๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ทรัพยากรธรรมชาติ ประชากร บริการพื้นฐานด้านเศรษฐกิจและสังคม ลักษณะความเป็นเมือง เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีข้อพิจารณาอีกว่า เมื่อเวลาผ่านไปสัดส่วนดังกล่าวของบางภาคหรือจังหวัดอาจมีแนวโน้มลดลงไปเรื่อยๆ แต่อย่างต่ำที่สุดก็ไม่ควรต่ำกว่าศูนย์ (หรือมีค่าติดลบ) หากไม่ใส่ข้อจำกัดนี้ไว้ในการประมาณการ ผลการพยากรณ์ในอนาคตของบางภาคหรือจังหวัดอาจมีค่าต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นสมการที่นำมาประมาณค่าจึงควรมีรูปแบบเฉพาะที่จำกัดให้ค่าทำนายอยู่ในพิสัยที่เป็นบวก (non-negative range) ซึ่งเทคนิคแบบหนึ่งในการประมาณค่าดังกล่าว คือ แบบจำลองล็อกลิมิต (log-limit model)

เพื่อความง่ายในการอธิบาย ให้ เป็นชุด หรือ Matrix ของตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของมูลค่าเพิ่มในแต่ละภาคหรือจังหวัด ความสัมพันธ์ในแบบจำลอง log-limit ระหว่าง S_{jt} , $S_{j,t-1}$ และ X_{jt} สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4

$$\ln S_{jt} = \alpha + \ln S_{jt} - 1 + \gamma X_{jt} + U_{jt} \quad (4)$$

โดย U_{jt} เป็นค่าความคลาดเคลื่อน (error term) และ ln เป็น natural logarithmic function

จากการประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares) จะได้ค่าประมาณของ α, β, และ γ ดังนั้นค่าทำนายของ S_{jt} หาได้ดังสมการที่ 5 และสมการที่ 6 ซึ่งแสดงว่าค่าทำนายของสัดส่วนมูลค่าเพิ่มในแต่ละภาคหรือจังหวัด ซึ่งอยู่ในพิสัยที่เป็นบวกถึงแม้ว่าแนวโน้มนี้อาจลดลงก็ตาม

$$\ln \hat{S}_{jt} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \ln S_{j,t-1} + \hat{\gamma} X_{it} \quad (5)$$

$$\hat{S}_{jt} = e^{(\hat{\alpha} + \hat{\beta} \ln S_{j,t-1} + \hat{\gamma} X_{it})}$$

$$\hat{S}_{jt} = e^{\hat{\alpha}} \cdot e^{\hat{\beta} \ln S_{j,t-1}} \cdot e^{\hat{\gamma} X_{j,t}}$$

$$\hat{S}_{jt} = S^{\hat{\beta}}_{j,t-1} \cdot e^{(\hat{\alpha} + \hat{\gamma} X_{jt})} \quad (6)$$

โดยที่ U_{jt} เป็นค่าความคลาดเคลื่อน (error term)

$\wedge$ หมายถึง ค่าประมาณการ

ข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติมีข้อมูลเกี่ยวกับมูลค่าเพิ่มในสาขาการผลิตหลัก 22 สาขา โดยผลผลิตในสาขาเหล่านี้มีข้อมูลเป็นรายจังหวัด (j = 1, 2,...,76) และเป็นรายปีระหว่าง พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2547 (t = 1, 2 ,...,8) การศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ข้อมูลร่วมของแบบตัดขวาง (cross section) และแบบอนุกรมเวลา (time series) ในการประมาณค่าโดยแยกออกเป็น 7 ภาคกับอีก 1 เมืองหลวง

สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายสัดส่วนของมูลค่าเพิ่มในแต่ละภาคหรือจังหวัดต่อประเทศหรือภาคโดยลำดับนั้น นอกจากจะใช้สัดส่วนย้อนหลัง ($S_{j,t-1}$)

แล้วยังมีตัวแปรที่อยู่ในชุดของตัวแปรอิสระ (X_{jt}) ซึ่งมาอธิบายไว้โดยสังเขป ดังนี้

- อัตราการเติบโตของสาขาเศรษฐกิจนั้นๆ ในระดับประเทศตามที่อธิบายแล้วในตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเฉพาะของแต่ละจังหวัด ซึ่งมีอยู่จำกัด เพราะนอกจากจะมีข้อมูลในอดีตสำหรับนำมาประมาณค่าแล้ว ยังต้องพิจารณาด้วยว่ามีข้อมูลในอนาคตเพื่อนำมาใช้พยากรณ์ค่า S_{jt} หรือไม่
- ความหนาแน่นของประชากร เป็นตัวแทนลักษณะเฉพาะของจังหวัด เนื่องจากเป็นตัวแปรที่รวมข้อมูลด้านพื้นที่และประชากร และยังอาจถือเป็นตัวแปรแทน (proxy variable) ของความเป็นเมืองด้วย ซึ่งเป็นข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
- กำลังแรงงาน เป็นตัวแปรซึ่งแสดงถึงศักยภาพของจังหวัดที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยใช้สัดส่วนของกำลังแรงงาน (อายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป) ต่อประชากรของประเทศหรือภาคนั้นๆ มาเป็นแกนของศักยภาพของจังหวัด
- ตัวแปรที่เป็นปฏิสัมพันธ์ (interaction variable) เป็นตัวแปรอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งได้นำมาพิจารณา เช่น ตัวแปรยกกำลังสองของความหนาแน่นของประชากร ทั้งนี้เพื่อทดสอบดูว่าอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้อาจไม่ได้อยู่ในลักษณะเชิงเส้นเท่านั้น
- ตัวแปรดัมมี่ภาคหรือจังหวัด ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวัด และ/หรือภาค ซึ่งผลประมาณการบ่งชี้เองว่า แต่ละภาคหรือจังหวัดมีความแตกต่างจากกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเฉพาะของจังหวัดตัวอื่นๆ มีอีกเป็นจำนวนมาก ที่ผู้วิจัยสามารถเลือกนำมาใช้ในการศึกษานี้ได้ แต่จำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังในการนำมาใช้ เนื่องจากถ้าใช้มากเกินไปก็ประสบปัญหาจำนวน degree of freedom เหลือน้อยจนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ประมาณการได้ขาดความน่าเชื่อถือและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นถ้าการประมาณด้วยแบบจำลองตามวิธีการข้างต้นไม่สามารถประมาณการแล้ว ก็ใช้วิธีประมาณด้วยค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (moving average) หรือ growth rate แทน

มูลค่าเพิ่มของภาคและจังหวัดทำได้โดยการนำสัดส่วนที่ปรับแล้วไปคูณกับมูลค่าเพิ่มของสาขาในระดับประเทศหรือภาค ก็จะได้มูลค่าเพิ่มของภาคและจังหวัดในสาขานั้นๆ (Y_j^i) ในแต่ละปี อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ว่าผลิตภัณฑ์รวมของภาคที่พยากรณ์ได้นี้อาจขาดความต่อเนื่องกับข้อมูลในอดีตบ้าง จึงได้มีปรับสัดส่วนโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เพื่อปรับข้อมูลพยากรณ์ให้เป็นไปในทิศทางที่เหมาะสม

7.2 แบบจำลองปริมาณและการกระจายการขนส่งสินค้าภายในประเทศ

ในการสร้างเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค การศึกษานี้ แบ่งสาขาการผลิตตามชนิดสินค้า ออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อหารูปแบบการผลิตและการบริโภคที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ได้แก่

1. สินค้าเกษตรที่ต้องแปรรูป ได้แก่ สาขาการทำนา (สินค้าข้าวเปลือก) ไร่ข้าวโพด ไร่มันสำปะหลังและ ไร่อ้อย สินค้าเหล่านี้ มีการเดินทางระยะสั้น ไปยังแหล่งแปรรูปต่างๆ

2. สินค้าเกษตรที่แปรรูปแล้ว ได้แก่ กิจการโรงสี (ข้าวสาร) กิจการสีและบดข้าวโพด อาหารสัตว์ โรงแป้งมัน โรงงานน้ำตาล สวนยางและการผลิตยางแผ่นยางก้อน รวมทั้งผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ และอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม ซึ่งการขนส่งสินค้าเหล่านี้แบ่งออกเป็นสองช่องทาง คือ

- การบริโภคภายในประเทศ ซึ่งแต่ละภูมิภาคมีการบริโภคตามสัดส่วนของประชากร
- การส่งออก ซึ่งมีช่องทางส่งออกทางท่าเรือแหลมฉบัง และทางด่านปะดังเบซาร์ ตามชนิดของสินค้า

3. สินค้าอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งมีการผลิตและการบริโภคที่ซับซ้อนขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง เนื่องจากปัจจัยการผลิตบางชนิด เป็นปัจจัยการผลิตที่นำเข้า ซึ่งการสร้างเมตริกซ์การผลิตและการบริโภค แบ่งได้เป็นสามช่องทาง คือ

- การนำเข้าวัตถุดิบ ซึ่งมีสมมติฐานว่าวัตถุดิบนำเข้าทางท่าเรือแหละฉบังทั้งหมด และกระจายไปยังแหล่งการผลิตต่างๆ ตามสัดส่วนของผลผลิตมวลรวมของสาขาการผลิตนั้นๆ
- การบริโภคภายในประเทศ ซึ่งแต่ละภูมิภาคมีการบริโภคตามสัดส่วนของประชากร
- การส่งออก ซึ่งมีช่องทางส่งออกทางท่าเรือแหลมฉบัง และทางด่านปะดังเบซาร์ ตามชนิดของสินค้า

4. สินค้าอุตสาหกรรมที่เป็นสินค้านำเข้าเป็นหลัก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียมและเหล็กและผลิตภัณฑ์จากเหล็ก ซึ่งมีสมมติฐานว่าสินค้าดังกล่าว นำเข้าทางท่าเรือแหลมฉบังทั้งหมด และกระจายไปยังแหล่งการผลิตต่างๆ ตามสัดส่วนของผลผลิตมวลรวมของสาขาการผลิตนั้นๆ

ส่วนการพยากรณ์การผลิตและการบริโภคในอนาคตอ้างอิงผลการประมาณการณ์ของผลผลิตมวลรวมของจังหวัดเป็นหลัก เพื่อให้ได้ปริมาณการผลิตและบริโภคของแต่ละพื้นที่ในอนาคตได้

การแปลงเมตริกซ์ต้นทางและปลายทางของสินค้า (O-D Freight Matrix)

หลังจากได้ปริมาณการผลิตและบริโภคของแต่ละชนิดสินค้าแล้ว การแปลงเป็นเมตริกซ์ต้นทางและปลายทางของสินค้าใช้แบบจำลองความโน้มถ่วง (Gravity Model) โดยใช้ระยะทางทางถนนระหว่างจุดต่างๆ ของแต่ละโซนในการกำหนดโดยสมการความโน้มถ่วงแสดงได้ดังสมการที่ 7 อย่างไรก็ดี แบบจำลองความโน้มถ่วงได้ถูกดัดแปลงเพื่อใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ทางด้านโครงข่ายการขนส่ง เช่น Trip Origin-Destination Flows หรือ Commodity Flows ดังสมการที่ 8 ที่สามารถเปลี่ยนรูป โดยใช้วิธี Entropy Maximizing ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองความโน้มถ่วง โดยมีรูปแบบของแบบจำลองดังสมการที่ 9 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ Ai และ Bj ใช้วิธีการทำซ้ำ (iterative procedure) ค่าที่ได้ เป็นค่าคงที่เพื่อปรับแก้แบบจำลองให้สมดุล (balancing factors) สำหรับฟังก์ชันของระยะทางกีดขวาง ($-\beta cij$) ซึ่งในที่นี้ได้ใช้ค่า β เท่ากับ 2

$$V_{ij} = \frac{P_i C_j}{D_{ij}^{\ 2}} \tag{7}$$

โดย V_{ij} คือ ปริมาณสินค้าที่ขนส่งจากโซน i ไปยังโซน j

P_i คือ ปริมาณสินค้าที่ผลิตที่โซน i

C_j คือ ปริมาณสินค้าที่บริโภคในโซน j

D_{ij} คือ ระยะทางระหว่างโซน i และ j

$$x_{rr'} = kO_r^{\alpha} D_{r'}^{\gamma} f(d_{rr'}) \tag{8}$$

โดย X'_{rr} คือ การหมุนเวียนจากพื้นที่ r ไปยัง r′

k, α, γ คือ ค่าคงที่

O คือ การหมุนเวียนที่เริ่มต้นที่พื้นที่ r

D_i คือ การหมุนเวียนที่สิ้นสุดที่พื้นที่ r′

$f(d_{rr'})$ คือ ฟังก์ชันของระยะทางกีดขวางระหว่าง r และ r′

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \tag{9}$$

โดย T_{ij} คือ การหมุนเวียนของสินค้าจากพื้นที่ i ไปยัง j

A_i และ B_j คือ ค่าคงที่

O_i คือ การหมุนเวียนที่เริ่มต้นที่พื้นที่ i

D_i คือ การหมุนเวียนที่สิ้นสุดที่พื้นที่ j

$-\beta c_{ij}$ คือ ฟังก์ชันของระยะทางกีดขวางระหว่าง i และ j

7.3 แบบจำลองการเลือกรูปแบบและการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า

การพัฒนาแบบจำลองการเลือกเส้นทางดำเนินการโดยใช้ข้อมูล Revealed Preference (RP) และ Stated Preference (SP) ผสมผสานกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูล 3 ประเภท ดังนี้

- ข้อมูลของรูปแบบการขนส่งที่มีอยู่
- ข้อมูลทางเลือกรูปแบบการขนส่งของแต่ละบริษัท
- ข้อมูลแสดงรายละเอียดรูปแบบการขนส่งที่เลือกใช้และรูปแบบการขนส่งอื่นๆ โดยในแบบจำลองการเลือกรูปแบบการขนส่งของการขนส่งสินค้า ได้รวมถึงเวลาที่ใช้ในการขนส่ง และมูลค่าอื่นๆ ของแต่ละรูปแบบการขนส่ง ซึ่งคิดเป็นมูลค่าเงินของผู้ส่ง รวมทั้งคุณภาพของบริการ

เวลาและมูลค่าของส่งสินค้าเข้าและออกจากรูปแบบการขนส่ง รวมทั้งจุดเปลี่ยนถ่ายต่างๆ

ข้อมูลในส่วน SP ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธ์ของส่วนต่างๆในฟังก์ชั่นอรรถประโยชน์ โดยที่แต่ละทางเลือกรูปแบบและเส้นทางการขนส่งที่ได้นำเสนอในแบบสอบถามไม่มีความสัมพันธ์กัน หมายความว่า ค่า covariance ของแต่ละคู่ของทางเลือกสามารถถูกกำหนดเป็นศูนย์ หลังจากได้ค่าสัมประสิทธ์แล้ว ใช้ข้อมูลทางด้าน RP ช่วยในการหาค่า variance-covariance matrix โดยที่ค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรในฟังก์ชั่นอรรถประโยชน์ได้มาจากข้อมูลแบบ SP ซึ่งถูกปรับใช้กับแต่ละ link ในโครงข่ายเพื่อคำนวณค่า systematic utility ของแต่ละ link และกำหนดค่า variance ของค่า perception error (ε) ในลักษณะฟังก์ชั่นกับระยะทาง หรือ ระยะเวลาการเดินทางบนแต่ละส่วน link นั้นๆ $\sigma_l^2(\varepsilon) = k \cdot d_l$ โดยที่ *k* คือค่าสัมประสิทธ์ที่ต้องทำการปรับค่าจากข้อมูล RP และ d_l คือระยะทางของ link l ซึ่งทางเลือกในรูปแบบโครงข่ายเป็นเส้นทางซึ่งแต่ละเส้นทาง (*p*) ประกอบไปด้วยถนนช่วง (link *l*) ต่างๆ โดยกำหนดให้ค่า $\delta_{l,p} = 1$ ถ้าเส้นทาง p ใช้ถนนช่วง *l* และ $\delta_{l,p} = 0$ ถ้าเส้นทาง *p* ไม่ใช้ถนนในช่วง *l* ดังนั้นค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละเส้นทางสามารถกำหนได้เป็น $U_p = \sum_{\forall l} \delta_{l,p} U_l$ จากคุณสมบัติของ Normal Distribution ค่าอรรถประโยชน์ในการเดินทางบนเส้นทาง *p* เป็นค่าแปรปรวนตามรูปแบบ Normal Distribution เช่นกันโดยที่ค่า variance เท่ากับ $\sigma_p^2 = \sum_{\forall l} \delta_{l,p} \sigma_l^2(\varepsilon) = \sum_{\forall l} \delta_{l,p} k d_l$ ในส่วนของค่า covariance สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแต่ละเส้นทางขนส่งในโครงข่ายซึ่ง $\sigma_{p,p'}^2 = \sum_{\forall l} \delta_{l,p} \delta_{l,p'} \sigma_l^2(\varepsilon) = \sum_{\forall l} \delta_{l,p} \delta_{l,p'} k d_l$ โดย $\sigma_{p,p'}^2$ แสดงแทนค่า covariance ระหว่างเส้นทาง *p* และ *p'* ดังนั้นเราสามารถปรับหาค่าสัมประสิทธ์ k ที่เหมาะสมโดยวิธี Simulated Maximum Likelihood หรือ Minimum Least Square Error เปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณการจราจรที่เก็บได้จากข้อมูลทุติยภูมิ และ ค่าปริมาณการจราจรซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายปริมาณการจราจรในแบบ Probit (stochastic probit traffic assignment)

หลังจากได้ทำการหาค่าสัมประสิทธ์สำหรับฟังก์ชั่นอรรถประโยชน์ และ ค่าคงที่สำหรับกำหนด variance-covariance matrix ของแต่เส้นทาง ก็สามารถดำเนินการปรับใช้รูปแบบจำลองการกระจายปริมาณการขนส่งสินค้าตามเส้นทางต่างๆ แบบจำลองเป็นลักษณะ Stochastic Probit User Equilibrium Assignment

ปริมาณสินค้าในแต่ละชนิดถูกกำหนดโดยจุดต้นทางและ จุดปลายทาง (origin-destination) ซึ่งมีเส้นทางต่างๆที่สามารถทำการขนส่งสินค้าระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง เป็นในหลาย รูปแบบการขนส่ง (multi-modal)

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของโครงข่ายการขนส่งสินค้าโดยแต่ละ link มีค่าอรรถประโยชน์กำหนดอยู่ นอกจากนี้แล้ว รูปแบบการกระจายสินค้าอาจเกิดการล่าช้าเนื่องมาจากปริมาณจราจร หรือ ปริมาณสินค้าที่ส่งในแต่ละ link หรือ node ยกตัวอย่างเช่น ถ้ามีปริมาณสินค้าที่ต้องการเปลี่ยนถ่ายมาจากรถเทรลเลอร์ไปยังรถไฟในรูปที่ 5 อาจเกิดการล่าช้า (delay) อย่างมากบริเวณ node ที่แสดงแทนจุดเปลี่ยนถ่าย เพราะฉะนั้นฟังก์ชั่น delay-volume ถูกกำหนดสำหรับแต่ละ link และ node ดังสมการที่ 10

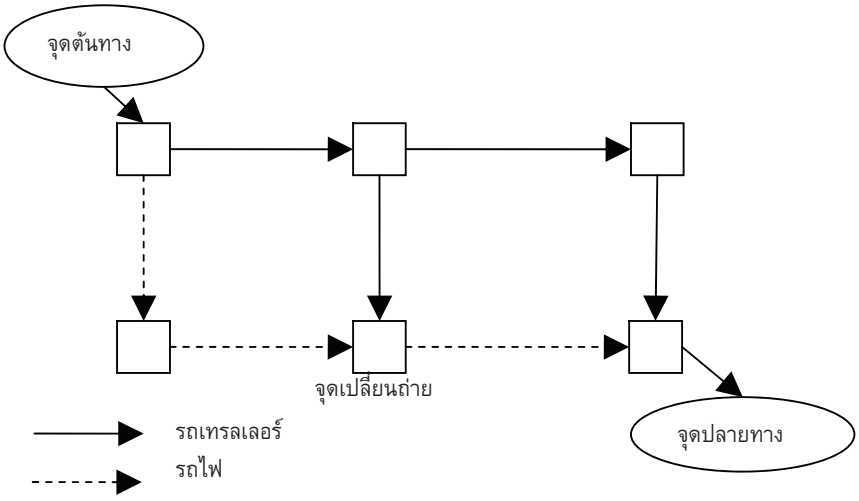
$$\text{Time}_l = a_l + b_l \left(v_l / c_l \right)^{n_l} \qquad (10)$$

โดยที่ Time_l คือระยะเวลาที่ต้องใช้ในการขนส่งสินค้าผ่าน link l หรือ node อื่นๆ v_l คือ ปริมาณสินค้าที่ขนส่งผ่าน link l และ a_l, b_l, c_l, n_l คือค่าสัมประสิทธ์ที่ต้องมีการกำหนด ซึ่งกำหนดจากชนิดของถนน และ ลักษณะทางวิศวกรรมของ link และ node

ดังนั้น ค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละ link หรือ node สามารถกำหนดได้ดังสมการที่ 11

$$U_l = ASC_l + \beta_o \left(\text{Cost}_l \right) + \beta_t \left(\text{Time}_l \left(v_l \right) \right) + \beta_r \left(\text{Reli}_l \right) \qquad (11)$$

ค่า ASC สามารถระบุได้จากชนิดของ link นั้นๆ หรือ รูปแบบการขนส่งนั้นๆ ระหว่างจุดต้นทาง และปลายทาง อาจมีหลายเส้นทางขนส่งที่เป็นไปได้ ซึ่งทางเลือกถูกกำหนดให้มีไม่เกินสี่เส้นทาง โดยพิจารณา



รูปที่ 5 ตัวอย่างโครงข่ายการขนส่งสินค้าแบบหลายรูปแบบการขนส่ง

จากระยะทาง และ ต้นทุนในการขนส่ง โดยกำหนดให้ Π_{rs} เป็นเซตของเส้นทางที่สามารถเลือกส่งสินค้าได้ระหว่างจุดต้นทาง *r* และจุดปลายทาง *s* ค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละเส้นทาง *p* จะสามารถคำนวณได้ $U_p = \sum_{\forall l} \delta_{l,p} U_l$ กำหนดให้ q_{rs} เป็นปริมาณสินค้าที่ต้องการส่งระหว่างจุดต้นทาง *r* และจุดปลายทาง *s* หลังจากกำหนดค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละเส้นทางได้ปริมาณสินค้าที่ถูกส่งไปในแต่ละเส้นทางที่ถูกกำหนดโดย Probit model

$$F_p = q_{rs} \Pr\left(U_p \geq U_{p'} \middle| \forall p' \in \Pi_{rs}\right) \qquad (12)$$

โดย F_p คือปริมาณการขนส่งสินค้าไปบนเส้นทาง *p* จะเห็นว่าปริมาณสินค้าที่ส่งไปบนแต่ละเส้นทางเป็นฟังก์ชั่นกับค่าอรรถประโยชน์ของแต่เส้นทางที่เกี่ยวข้อง ซึ่งค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละเส้นทางเกี่ยวเนื่องกับค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละ link และ node ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของปริมาณสินค้าที่ส่งผ่านในแต่ละ link และ node นั้นๆ (v_l) โดยที่ $v_l = \sum_{\forall p} F_p \delta_{l,p}$ เพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาการกระจายสินค้าเป็นรูปแบบการแก้ปัญหา Fixed-point problem วิธีการแก้ปัญหาการกระจายสินค้าแบบ Method of Successive Average (MSA) ถูกนำมาใช้กับวิธีการคำนวณค่า $\Pr\left(U_p \geq U_{p'} \middle| \forall p' \in \Pi_{rs}\right)$ จากวิธี Monte-Carlo simulation

Probit model ได้ถูกนำมาใช้ในส่วนการตัดสินใจ และ กำหนดค่าอรรถประโยชน์ให้เป็นค่าแปรปรวนแบบ Normal Distribution ส่วน covariance ของแต่ละเส้นทางการขนส่งถูกกำหนดโดยอัติโนมัติจากรูปแบบโครงข่าย

ซึ่งในส่วนนี้ช่วยให้สามารถแสดงแทนเส้นทางการขนส่งแบบหลายรูปแบบ (multi-modal) ได้โดยตรงในโครงข่าย

7.4 การกำหนดต้นทุนในการขนส่ง

แบบจำลองที่นำเสนอสามารถจำลองการตัดสินใจของผู้ขนส่งสินค้าโดยที่ลักษณะการตัดสินใจขึ้นอยู่กับต้นทุนโดยรวม (Generalized cost) ของแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้า ต้นทุนในการขนส่งสินค้าผ่านแต่ละช่วงการขนส่งถูกกำหนดให้เป็นไปตามสมการที่ 13

$$GC_a = \lambda_a \cdot t_a + \beta_a \cdot d_a + \alpha_a \qquad (13)$$

โดยที่ GC_a คือ ต้นทุนในการขนส่งสินค้าโดยรวมผ่าน link a

t_a คือ ระยะเวลาในการขนส่งสินค้าผ่าน link a (นาที)

d_a คือ ระยะทางในการขนส่งสินค้าผ่าน link a (กม.)

λ_a (บาท/ตัน/นาที) คือ สัมประสิทธิ์ต้นทุนในการ

ขนส่งสินค้าต่อระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งบน link a

β_a (บาท/ตัน/กม) คือ สัมประสิทธิ์ต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่อระยะทางที่ใช้ในการขนส่งบน link a

α_a คือ สัมประสิทธิ์เฉพาะสำหรับแต่ละรูปแบบถนน (เช่น มอเตอร์เวย์ หรือ ถนนสายหลัก)

ค่าของสัมประสิทธิ์ λ_a ถูกกำหนดจากมูลค่าเวลาการขนส่ง (Value of Time , VOT) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงแทนน้ำหนักที่ให้ในส่วนระยะเวลาการขนส่งสำหรับการตัดสินใจของผู้ขนส่งสินค้า ดังนั้นค่า λ_a มีค่าเท่ากันสำหรับทุกรูปแบบถนน และ รูปแบบการขนส่ง ในส่วนที่สองของต้นทุนในการขนส่งสินค้าผ่านแต่ละช่วงการเดินทางเกี่ยวข้องกับอัตราต้นทุนต่าง ๆที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง และ ปริมาณสินค้า (หน่วยเป็น บาท/ตัน/กม) องค์ประกอบของต้นทุนต่อระยะทางขนส่งขึ้นอยู่กับชนิดของ link รายละเอียดในการกำหนดค่าต่าง ๆของแต่ละชนิดถนน และ รูปแบบการเดินทาง

7.5 การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

กระบวนการที่สำคัญส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งก็คือกระบวนการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งหลังจากที่ได้สร้างโครงข่ายระบบขนส่ง และ กำหนดตัวแปรต่าง ๆซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลแล้ว แบบจำลองโครงข่าย และ ตารางปริมาณการขนส่งสินค้าถูกปรับเทียบอีกครั้งเพื่อที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลสถิติทางด้านการขนส่งต่าง ๆในปัจจุบัน (ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกที่วิ่งผ่านแต่ละเส้นทาง)

ตัวแปรในการปรับเทียบแบบจำลองที่พิจารณาประกอบไปด้วย ปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่างแต่ละจุดต้นทาง-ปลายทางและสัมประสิทธิ์ของ Variance-covariance matrix ของ Probit SUE (q) ซึ่งการปรับเทียบแบบจำลองเริ่มจากการปรับเทียบตารางปริมาณการขนส่งสินค้าก่อน โดยที่ทำการยึดเอาตารางปริมาณสินค้าซึ่งคำนวณมาจากตารางปัจจัยการผลิต และ ผลผลิต (input-output table) เสมือนตารางปริมาณการขนส่งสินค้าก่อนหน้า (prior matrix) โดยที่อนุญาตให้มีการปรับเปลี่ยนค่าในตารางปริมาณการขนส่งสินค้าได้ไม่เกิน 20% เพื่อไม่ให้สูญเสียโครงสร้างโดยรวมของตารางปริมาณการขนส่งสินค้า จุดประสงค์ในการปรับเทียบตารางการขนส่งสินค้าก็เพื่อที่ทำให้ค่าความแตกต่างน้อยที่สุดระหว่าง ปริมาณสินค้าที่ขนส่งผ่านแต่ละเส้นทาง และ ปริมาณรถบรรทุกจากข้อมูลปริมาณจราจรรายวันเฉลี่ย (Average Annual Daily Traffic, AADT) ของกรมทางหลวง และ ปริมาณสินค้าที่ขนส่งผ่านแต่ละเส้นทางที่แบบจำลองคำนวณได้ โดยการปรับเทียบตารางปริมาณสินค้าสามารถกำหนดได้ดังสมการที่ 14

$$Z = \min \sum_j \left(v_j^{AADT} - v_j^{forecast} \right)^2 \qquad (14)$$

โดยที่ v_j^{AADT} คือปริมาณสินค้าที่ขนส่งผ่านถนน j ในโครงข่ายซึ่งมาจากข้อมูล AAD

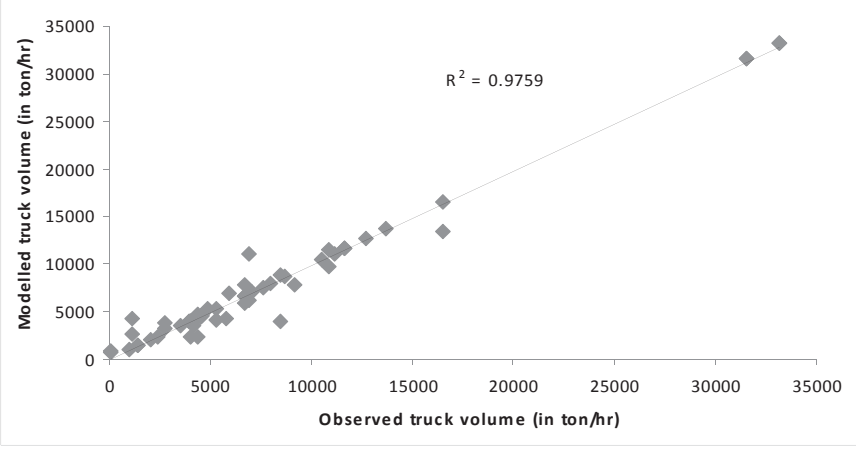
$v_j^{forecast}$ คือปริมาณสินค้าที่ขนส่งผ่านถนน j ในโครงข่ายซึ่งมาจากแบบจำลอง

โดยที่กรรมวิธีในการปรับเทียบตารางการขนส่งสินค้าจากค่า Z เป็นไปตามวิธี Genetic Algorithm (GA) ซึ่งคำนึงถึงค่าในการปรับเทียบสูงสุดที่เป็นไปได้ (ไม่เกินร้อยละ 20 จากปริมาณเริ่มต้นจากตารางปริมาณสินค้า)

ในการปรับเทียบตารางปริมาณสินค้านั้น ในส่วนของ Probit SUE assignment ถูกกำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ var-cov matrix (q) เป็น 1 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์กำหนดค่า variance ของตัวแปรสุ่ม (random variable) ซึ่งแสดงแทนความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ (perception error) โดยที่การกระจายตัวของต้นทุนในการขนส่งบนแต่ละเส้นทาง j เป็นไปตามการกระจายตัวแบบ Normal distribution โดยที่ mean ของการกระจายตัวเป็นต้นทุนรวมของการขนส่งผ่านเส้นทาง j (C_j) และค่า variance เท่ากับ ในส่วนของ covariance ของสองเส้นทางที่มีบางส่วนของเส้นทางที่เหมือนกันก็สามารถคำนวณได้จากค่า variance ของส่วนเส้นทางที่ทับกันของสองเส้นทางนั้น ๆ ซึ่งค่า covariance นี้เป็นตัวกำหนดความคล้ายคลึงกันของแต่ละเส้นทางการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง

หลังจากที่ได้ทำการปรับเทียบตารางปริมาณการขนส่งสินค้าแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ของ var-cov matrix (q)

ก็ถูกปรับเทียบ เนื่องจากค่า q ถูกกำหนดให้เป็นค่าเดียวกันทั้งโครงข่าย การปรับเทียบจึงไม่มีความยุ่งยาก โดยที่ค่า q ต่างๆ ถูกทดสอบเพื่อหาค่าที่ให้ค่า Z ที่ต่ำที่สุด ข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองเป็นปริมาณการขนส่งสินค้าบนเส้นทางต่างๆ จากข้อมูล AADT ของกรมทางหลวงผลที่ดีที่สุดของการปรับเทียบถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นผลการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าปริมาณการขนส่งที่คำนวณจากแบบจำลอง และ ค่าปริมาณการขนส่งที่คำนวณจากค่า AADT โดยการกำหนดเส้น Equality line ซึ่งค่า R^2 ของเส้นนี้เมื่อเทียบกับข้อมูลสามารถบ่งบอกถึงความแม่นยำของการปรับเทียบได้ ซึ่งในการปรับเทียบนี้ R^2 = 0.98 ซึ่งหมายความว่าประมาณ 98% ของข้อมูลที่คำนวณจากแบบจำลองมีค่าตรงกับข้อมูลที่คำนวณจากค่า AADT ซึ่งถือว่าน่าพอใจในระดับสูง



รูปที่ 6 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง

8. สรุป

แบบจำลองการขนส่งสินค้าระดับประเทศ สำหรับประเทศไทย ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ วางแผนและกำหนดนโยบายการขนส่งสินค้าในอนาคต โดยคุณสมบัติเด่นของแบบจำลองนี้ ได้แก่ (1) โครงสร้างของแบบจำลองความสามารถในการอธิบายการขนส่งสินค้าในระดับมหภาค และอธิบายพฤติกรรมการเลือกรูปแบบและเส้นทางในการขนส่งสินค้าภายในประเทศได้ และ (2) แบบจำลองสามารถพยากรณ์แนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสินค้า และแสดงปริมาณการไหลเวียนของสินค้าในรูปแบบการขนส่งต่างๆ ในโครงข่ายระดับประเทศ รวมไปถึงการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ ในระดับกลยุทธ์ (Strategic Level) แบบจำลองที่พัฒนา แบ่งเป็น 4 แบบจำลองย่อย ได้แก่ (1) การพัฒนาแบบจำลองในระดับมหภาค เป็นการพิจารณาถึงตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์มหภาค เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของการขนส่งสินค้า และอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (2) การพัฒนาแบบจำลองปริมาณการขนส่งสินค้าทางถนนภายในประเทศ เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาปริมาณการไหลเวียนของสินค้าภายในประเทศทางถนน (3) การพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบยานพาหนะและเส้นทางสำหรับการขนส่งสินค้า ซึ่งใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางของการขนส่ง (modal shift) สำหรับการขนส่งสินค้าแบบหลายรูปแบบการขนส่ง (multi-modal) และ (4) การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายการขนส่งสินค้า

แบบจำลองสามารถใช้ในการคาดการณ์ปริมาณการขนส่งในแต่ละเส้นทางของสถานการณ์หรือทดสอบนโยบายในอนาคตได้ เช่น การทดสอบนโยบายการเก็บเงินรถบรรทุกในบางเส้นทาง หรือ การทดสอบการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน โดยการสร้างเส้นทาง

รถบรรทุกใหม่ หรือ มีทั้งเส้นทางรถบรรทุกและมีการเก็บค่าผ่านทาง เป็นต้น นอกจากนี้ แบบจำลองยังสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการขนส่งสินค้าโดยรูปแบบต่าง ๆ ด้วย ได้แก่ รถบรรทุก รถไฟ และ เรือ

กิตติกรรมประกาศ

แบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในโครงการศึกษาเพื่อพัฒนาเส้นทางพิเศษสำหรับรถบรรทุกและระบบบริหารจัดการเพื่อเชื่อมต่อการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม อย่างไรก็ตาม แนวคิดและการดำเนินการพัฒนาทั้งหมดเป็นความรับผิดชอบของผู้ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] สนข. 2552. โครงการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยและผลกระทบเพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (modal shift) อย่างเหมาะสมต่อการเดินทางสัญจรและการขนส่งทางถนนไปสู่การขนส่งระบบรางและการขนส่งทางน้ำ. สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม

[2] สนข. 2553. โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาเส้นทางพิเศษสำหรับรถบรรทุก และระบบบริหารจัดการเพื่อเชื่อมต่อการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ. สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม

[3] สนข. 2553. โครงการศึกษาจัดทำแผนบูรณาการเพื่อพัฒนาระบบโครงข่ายด้านการขนส่งและจราจร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กลุ่มที่ 2) จังหวัดมุกดาหาร นครพนม และสกลนคร. สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม

[4] Chisholm, M. and O'Sullivan, P. 1973. Freight Flows and Spatial Aspects of the British Economy, Cambridge, the University Press.

[5] Williams, H.C.W.L. 1977. On the formulation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefits. Environment and Planning A, 9: 284-344.

[6] Harker, P. and Friesz, T. 1986. Prediction of intercity freight flows II: Mathematical formulations. Transportation Research Part B, 20: 155-174.

[7] Crainic, T.G., Florian, M., Guelat, J. and Spiess, H. 1990. Strategic planning of freight transportation: STAN – an interactive-geophysical system. Transportation Research Record, 1283: 97-124.

[8] Tavasszy, L.A. 1996. Modelling European Freight Transport Flow, PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

[9] WSP 2002. Review of freight modeling. Final Report, Prepared for contract no. PPAD 9/134/05 for the ITEA Division of DfT, London.

[10] Tavasszy, L.A. 2006. Freight Modelling – An overview of international experiences. Paper prepared for the TRB Conference on Freight Demand Modelling: Tools for Public Sector Decision Making, September 25-27, 2006, Washington DC.

[11] กระทรวงคมนาคม. 2544. โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

[12] สนข. 2549. โครงการพัฒนาระบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและการจัดการต่อเนื่องระบบโลจิสติกส์เพื่อการนำแผนไปสู่การปฏิบัติ. สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. กระทรวงคมนาคม