การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า ระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง กับท่าเรือแหลมฉบัง

Measuring Capacity Flexibility of Freight Transportation Network Between Ladkrabang Inland Container Depot (LICD) and Laem Chabang Port (LCB)

รพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล[1] สราวุธ จันทร์สุวรรณ[2*]
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 118 หมู่ 3 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพ 10240
E-mail: [1]rapeepat.csittikul@gmail.com, [2]sarawutj@gmail.com*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์เพื่อใช้ประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า ซึ่งเป็นการประเมินหาขีดความจุสูงสุดที่ระบบโครงข่ายขนส่งสินค้าสามารถรองรับปริมาณการขนส่งสินค้าได้ ผลการศึกษาดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงความจุคงเหลือของโครงข่าย การประเมินหาความจุของโครงข่ายใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จากปัญหา 2 ระดับ (Bi-level Programming) ประกอบด้วย ปัญหาระดับบน (Upper Level) ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าที่มากที่สุดของตัวคูณความจุสำรองภายในโครงข่ายทางหลวง หรือ μ และปัญหาระดับล่าง (Lower Level) ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมการเลือกเส้นทางสำหรับการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาจากปัญหาการเลือกเส้นทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) โดยการศึกษานี้ได้เลือกศึกษาโครงข่ายการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบังกับท่าเรือแหลมฉบัง ที่ประกอบด้วยโครงข่ายทางหลวงและโครงข่ายรถไฟเป็นกรณีศึกษา และทำการเปรียบเทียบสถานการณ์การขนส่งสินค้า 3 สถานการณ์ คือ 1) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกเพียงรูปแบบเดียว 2) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าร่วมกันผ่านรถบรรทุกและรถไฟในช่วงเวลาปัจจุบัน และ 3) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าร่วมกันผ่านรถบรรทุกและรถไฟในอนาคต (หลังเสร็จสิ้นโครงการพัฒนาศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟ) ซึ่งผลการศึกษา พบว่า สถานการณ์ที่ 1 และ 2 มีความจุของโครงข่ายทางหลวงหลักที่ใช้ขนส่งสินค้าไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการในปัจจุบัน โดยมีค่า μ เท่ากับ 0.39 และ 0.62 ตามลำดับ ในส่วนของสถานการณ์ที่ 3 พบว่า เมื่อโครงข่ายทางรางได้รับการพัฒนาแล้วเสร็จ จะทำให้สัดส่วนการขนส่งสินค้าทางรางเพิ่มขึ้นร้อยละ 14 และส่งผลให้ค่า μ เพิ่มขึ้นเป็น 0.81 ทั้งนี้ ยังพบปัญหาคอขวดอยู่บนถนนทางหลวงหมายเลข 7 ช่วงทางต่างระดับหนองขาม - ท่าเรือแหลมฉบัง ทั้ง 2 ทิศทาง ผลการศึกษาของกรณีศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงสภาพปัญหาของระบบขนส่งสินค้าที่ต้องการการปรับปรุงและเพิ่มความจุให้กับระบบโครงข่ายเพื่อลดปัญหาคอขวดของระบบ

คำสำคัญ: ความยืดหยุ่นด้านความจุ, จุดสมดุลของผู้เดินทาง, จุดคอขวด, การขนส่งสินค้า

Abstract

This paper develops a quantitative assessment of capacity flexibility for containerized freight transportation. The capacity flexibility is one of the performance measures used to evaluate the residual capacity of the system that can accommodate the demand pattern changes. The case study of freight transportation between Ladkrabang Inland Container Depot (LICD) and Laem Chabang Port (LCB) was adopted to demonstrate the capability of the proposed model. A bi-level mathematical programming is developed. It includes the upper-level problem determines the maximum capacity multiplier μ that can be allocated to a network without violating a pre-specified level of service (LOS) and the lower-level problem is formulated as the user equilibrium (UE) following the behavior of freight transporters resulted from the upper level. Three scenarios of container transportation are considered in the study: 1) single mode transportation by highway network, 2) multimodal freight transportation network by highway and railway, and 3) future scenario of newly developed Single Rail Transfer Operator (SRTO) project. The results indicate that the multipliers μ in scenario 1, 2 and 3 are 0.39, 0.62 and 0.81, respectively. These results imply the insufficiency of the current system to accommodate the current demand patterns. The potential bottlenecks on the Highway No.7 between Khongkham - Laem Chabang Port are also detected. The capacity enhancement scheme to relieve the potential problems on capacity could be derived.

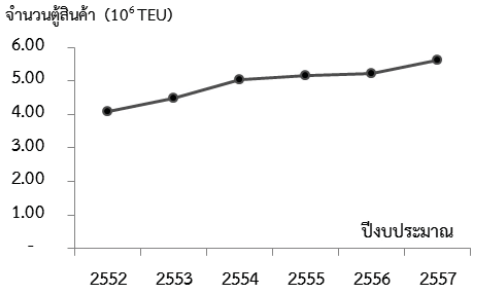
Keywords: capacity flexibility, user equilibrium, potential bottleneck, freight transportation

* Corresponding author: E-mail: sarawutj@gmail.com
[1] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์
[2] อาจารย์และผู้อำนวยการหลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์

1. ที่มาและความสำคัญ

พื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย ถือเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม จำนวนมาก มีท่าเรือแหลมฉบังและท่าเรือมาบตาพุดเป็นประตูการส่งออกสินค้าที่สำคัญของประเทศ ส่งผลให้การพัฒนาโครงข่ายการคมนาคมและระบบโลจิสติกส์เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ในภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพัฒนาโครงข่ายการขนส่งที่เชื่อมโยงรูปแบบการขนส่งสินค้าประเภทต่างๆ ระหว่างนิคมอุตสาหกรรมกับประตูการค้าหลักให้รวดเร็ว คล่องตัวและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมที่รวดเร็วในปัจจุบันย่อมส่งผลให้เกิดปริมาณความต้องการในการขนส่งสินค้าไปยังประตูการค้าหลักเพิ่มสูงขึ้นและใกล้เคียงกับความจุของโครงข่าย (Network Capacity) ส่งผลให้โครงข่ายทางหลวงหลักภายในพื้นที่มีปริมาณจราจรที่หนาแน่น และติดขัดเป็นวงกว้าง เกิดปัญหาคอขวดขึ้นในหลายจุด

สอดคล้องกับข้อมูลจากกองแผนงาน ท่าเรือแหลมฉบัง ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณการขนส่งตู้สินค้าผ่านเข้า-ออกท่าเรือ แหลมฉบังด้วยรถบรรทุกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] แต่ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่า ระบบโครงข่ายการขนส่งขั้นพื้นฐานภายในภูมิภาคกลับไม่ได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้มีปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายการขนส่งในภาคตะวันออกหนาแน่นขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 1 ปริมาณการขนส่งตู้สินค้าผ่านเข้า-ออกท่าเรือแหลมฉบังด้วยรถบรรทุกระหว่างปีงบประมาณ 2552 ถึง 2557

ด้วยเหตุนี้ การประเมินประสิทธิภาพด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงของภาคตะวันออกในปัจจุบันและการประเมินผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้โครงข่ายทางหลวงของพื้นที่ดังกล่าวในอนาคต จึงถูกหยิบยกมาศึกษาและวิเคราะห์เพื่อประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Freight Network Capacity Flexibility) สำหรับพิจารณาขีดความจุสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับปริมาณจราจรบนโครงข่ายทางหลวง ภายใต้ระดับการให้บริการที่ยอมรับได้ โดยผลการประเมินในมิติดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณความจุคงเหลือของโครงข่าย (Network Reserve Capacity) ทั้งนี้ หากความจุคงเหลือของโครงข่ายมีปริมาณน้อยหรือไม่เพียงพอ ก็จะสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดหนึ่ง ที่ระบุถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการปรับปรุงและเพิ่มความจุให้กับเส้นทางดังกล่าวได้

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาโครงข่ายการขนส่งสินค้า ระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง กับท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ มีโครงข่ายทางหลวงและโครงข่ายทางรางเชื่อมต่อโดยตรงกับท่าเรือขนส่งสินค้า ซึ่งเปรียบเสมือนประตูการนำเข้าและส่งออกสินค้าที่สำคัญที่สุดของประเทศ โดยจะทำการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าใน 3 สถานการณ์ (scenario) ได้แก่ 1) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกเพียงรูปแบบเดียว 2) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าร่วมกันผ่านรถบรรทุกและรถไฟในช่วงเวลาปัจจุบัน และ 3) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าร่วมกันผ่านรถบรรทุกและรถไฟในอนาคต (หลังเสร็จสิ้นโครงการพัฒนาศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟ หรือ Single Rail Transfer Operator - SRTO ทั้งระยะที่หนึ่งและระยะที่สอง ในปี พ.ศ. 2564)

โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณความจุคงเหลือของโครงข่ายจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดสำหรับการพิจารณาแนวทางในการแก้ไขปัญหาและพัฒนาโครงข่ายของการขนส่งสินค้าในพื้นที่ ให้มีปริมาณความจุของโครงข่ายเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าภายในประเทศ อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการส่งออกสินค้าให้เกิดความสะดวกและเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันในตลาดโลกให้สูงขึ้น ซึ่งย่อมส่งผลให้เศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศดีขึ้นตามลำดับ

2. ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2547 [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของระบบการขนส่งสินค้าผ่านตู้สินค้าทางราง โดยทำการคำนวณความจุสูงสุดของระบบ ซึ่งเป็นปริมาณการไหลของยานพาหนะที่มากที่สุดที่ระบบสามารถรองรับได้ แล้วทำการประเมินความยืดหยุ่นใน 2 ประเด็น ได้แก่ 1) ช่วงของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายขนส่งที่ยังไม่เกินความจุของระบบ เมื่อได้กำหนดรูปแบบการเลือกเส้นทางการเดินทางไว้แน่นอนแล้ว และ 2) ปริมาณการใช้โครงข่ายที่ระบบยอมรับได้ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลือกเส้นทางการเดินทาง ต่อมาในปี พ.ศ. 2549 [3] ได้ทำการขยายงานวิจัย [2] โดยพัฒนาแนวคิดใน 3 ประเด็นคือ 1) แนวคิดการปรับปรุงความไม่แน่นอนของรูปแบบการเลือกเส้นทางการเดินทางในอนาคต 2) แนวคิดการผสานรวมกันของ Volume-delay function เพื่อใช้อธิบายผลกระทบของความแออัดและเงื่อนไขของระดับการให้บริการ และ 3) แนวคิดการเลือกใช้ขั้นตอน Probit-based stochastic traffic assignment เพื่อพัฒนาให้ Routing options มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในปี พ.ศ. 2554 [4] ได้ทำการศึกษาความยืดหยุ่นของระบบการขนส่งผู้โดยสารผ่านการวัดและประเมินในเชิงปริมาณด้วยตัวแบบ 2 ระดับสำหรับวัดความจุของระบบ (Bi-level network capacity model) โดยการพิจารณาปัญหาในระดับบน (Upper-level problem) จะเป็นการพิจารณาความจุสำรองของระบบ (Reserve capacity) ร่วมกับการพิจารณาปัญหาระดับล่าง (Lower-level problem) ซึ่งเป็นการพิจารณาพฤติกรรมของผู้เดินทางตามหลักของจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User equilibrium) จาก 2 ตัวแบบข้างต้น ได้ถูกนำพัฒนาเพื่อใช้พิจารณาความยืดหยุ่น 2 ประเภท คือ ความยืดหยุ่นรวม (The total flexibility) และความยืดหยุ่นที่ถูกจำกัดไว้ (Limited flexibility)

3. นิยามและแนวคิดพื้นฐานของการประเมินความยืดหยุ่น

3.1 จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium)

จำนวนผู้เดินทางในช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่งบนท้องถนนเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจเลือกใช้เส้นทางของผู้เดินทางที่มีความเป็นอิสระต่อกัน โดยในแต่ละครั้งของการเดินทางจากจุดต้นทาง (Origin node) ไปยังจุดปลายทาง (Destination node) นั้น ผู้เดินทางจะเป็นฝ่ายพิจารณาและตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางด้วยตนเอง โดยการตัดสินใจดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความแออัดในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของระบบการขนส่ง ทั้งนี้ ก่อนการวิเคราะห์จุดสมดุลของผู้เดินทาง ผู้วิจัยจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลนำเข้า (Input Data) ดังนี้

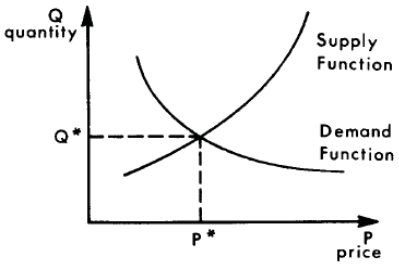
1) ระบบโครงข่ายการขนส่ง ประกอบด้วย โครงข่ายทางหลวงและโครงข่ายรถไฟ

2) การดำเนินงานและนโยบายที่ใช้ในการควบคุมระบบการขนส่ง

3) ปริมาณความต้องการในการเดินทาง (Demand for Travel) ภายในโครงข่ายการขนส่ง

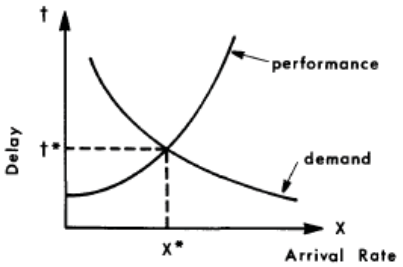
หลังจากได้ข้อมูลนำเข้าแล้ว ผู้วิจัยจะนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างฟังก์ชันคุณลักษณะของโครงข่าย (Link Performance Function) โดยผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่มักนิยมเลือกใช้ระยะเวลาในการเดินทางเป็นมาตรวัดของฟังก์ชันคุณลักษณะของโครงข่าย เพราะสามารถคำนวณได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถบ่งชี้การขัดขวางการไหลของยานพาหนะได้ ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อมีการเลือกใช้ตัวชี้วัดอื่นในการพิจารณา กลับพบว่าระยะเวลาในการเดินทางจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันเสมอ

โดยการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางจะเป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดเรื่องการพิจารณาภาวะดุลยภาพของอุปสงค์และอุปทาน ตามหลักวิชาเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของระดับราคาที่ลูกค้ามีความต้องการซื้อเท่ากับระดับของปริมาณสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าต้องการขาย ดังรูปที่ 2



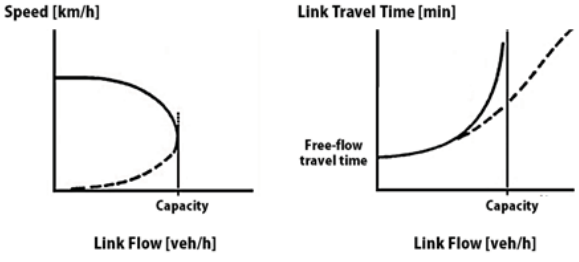
รูปที่ 2 การพิจารณาภาวะดุลยภาพของฟังก์ชันอุปสงค์และอุปทาน [5]

สำหรับการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางนั้น ผู้วิจัยจะกำหนดฟังก์ชันที่มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิม กล่าวคือ จะมีการพิจารณาฟังก์ชันอุปสงค์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการมาถึงของยานพาหนะ (Arrival Rate) ที่ส่งผลต่อความล่าช้าของการเดินทาง (Delay) ร่วมกับฟังก์ชันคุณลักษณะของโครงข่าย (Performance Function) ยกตัวอย่างเช่น การพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางภายในเส้นทางแห่งหนึ่ง จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเส้นทางดังกล่าวมีอัตราการเข้ามาของยานพาหนะต่ำ ย่อมส่งผลให้ปริมาณยานพาหนะบนเส้นทางนั้นลดน้อยลง ความล่าช้าที่เกิดจากการเดินทางจึงลดลงด้วย สถานการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ผู้เดินทางหันมาสนใจและใช้เส้นทางดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น อุปสงค์ของการเดินทางภายในเส้นทางนั้นจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในทางกลับกัน หากมีอัตราการเข้ามาของยานพาหนะสูงมากก็จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางสูงขึ้น ผู้เดินทางจึงไม่เลือกที่จะสัญจรผ่านเส้นทางดังกล่าว อุปสงค์ของการเดินทางจึงลดน้อยลง ทั้งนี้ จุดสมดุลของ ผู้เดินทางภายในเส้นทางนั้นจะอยู่ในตำแหน่ง (x^*, t^*) ซึ่งเป็นจุดตัดกันของฟังก์ชันทั้งสองพอดี



รูปที่ 3 การพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทาง [5]

อย่างไรก็ตาม ความพยายามปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของผู้ขับขี่จะสิ้นสุดลงเมื่อระบบเข้าสู่สถานะที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ระยะเวลาในการเดินทางของแต่ละคนสั้นลงได้อีกแล้ว สถานะดังกล่าว เรียกว่า จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium - UE) ซึ่งจะพบว่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางใดๆ จะเท่ากันทุกเส้นทาง และจะต้องไม่มากกว่าเวลาที่ใช้เดินทางในเส้นทางที่ไม่ได้ถูกใช้งาน [5] ทั้งนี้ ในแต่ละเส้นทางจะถูกบ่งชี้คุณลักษณะด้วย Link Performance Function โดยจะขึ้นอยู่กับระดับการให้บริการ หรือความต้านทานของการเดินทางในโครงข่าย ซึ่งจะถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง (Speed) หรือ ระยะเวลาในการเดินทาง (Travel Time) เนื่องจาก 2 ความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการขัดขวางการไหลของแต่ละเส้นทางได้ง่ายที่สุด ทั้งนี้ ระยะเวลาในการเดินทางที่มีปริมาณการไหลเป็นศูนย์ จะถูกเรียกว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางอย่างอิสระ (Free-flow travel time) จากรูปที่ 4(a) เมื่อมีปริมาณการไหลเพิ่มสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางลดลง เป็นเหตุให้ระยะเวลาในการเดินทางเพิ่มสูงขึ้น และจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณการไหลใกล้เต็มความจุของเส้นทางดังรูปที่ 4(b)



รูปที่ 4 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับระยะเวลาในการเดินทาง [6]

3.2 ความจุของโครงข่ายการขนส่ง (Network Capacity)

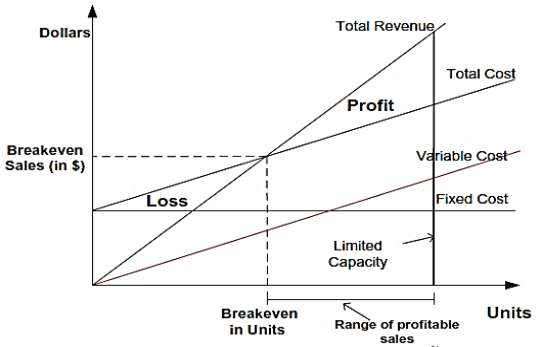
จากการอธิบายแนวคิดเรื่องจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ในรูปที่ 4 นั้น ได้มีการกล่าวถึงคำว่า ความจุของเส้นทางการขนส่ง ซึ่งถูกใช้เป็นตัวกำหนดขอบข่ายของการพิจารณากราฟที่แสดง

ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับความเร็วและระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปแล้วนั้น สำหรับหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะทำการอธิบายความหมายและวิธีการพิจารณาความจุของโครงข่ายการขนส่ง โดย [5] ได้ให้ความหมายของคำว่าความจุของเส้นทางในการขนส่งไว้ว่า เป็นปริมาณการไหลที่มากที่สุดที่สามารถสัญจรผ่านโครงข่ายการขนส่งได้

ทั้งนี้ ปริมาณการไหลดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของจำนวนคน ยานพาหนะ หรือสินค้า ในช่วงเวลาและพื้นที่หนึ่งๆ เช่น ปริมาณการไหลที่มากที่สุดที่จำนวนรถขนาดเทียบเท่ากับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลสามารถสัญจรได้ (ในหน่วย คัน / ชั่วโมง / ช่องทางจราจร) หรือปริมาณการไหลที่มากที่สุดของจำนวนสินค้าที่ขนส่งทางรถไฟ (ในหน่วย ตัน / ขบวน / วัน) เป็นต้น และเพื่อให้ระบบโครงข่ายการคมนาคมสามารถรองรับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนยานพาหนะบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการคมนาคม โดยแนวคิดดังกล่าวจะถูกกล่าวถึงเพื่ออธิบายหลักการพิจารณาในหัวข้อถัดไป

3.3 การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง (Network Capacity Flexibility)

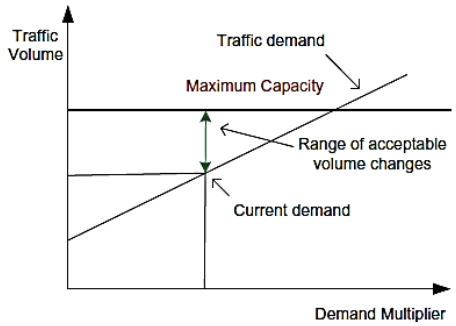
ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า หมายถึง ความสามารถของระบบขนส่งที่รองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ปริมาณจราจร ในขณะที่ระบบยังคงรักษาไว้ซึ่งระดับการให้บริการเดิม ซึ่งหลักการพิจารณาความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายนั้น ได้ทำการประยุกต์ใช้แนวคิดของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Analysis) ในสาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ สำหรับการหาช่วงของปริมาณการขายสินค้าที่สามารถสร้างผลกำไรได้ เมื่อต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่ความต้องการสินค้าเกิดขึ้นไม่แน่นอน



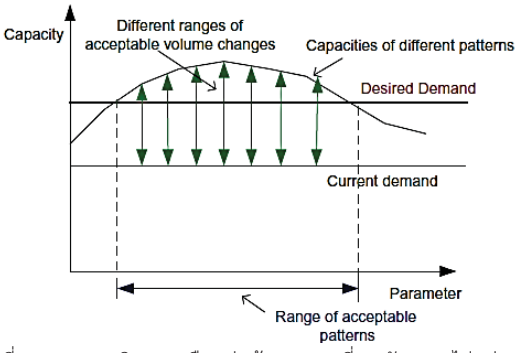
รูปที่ 5 แนวคิดของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนซึ่งถูกใช้เป็นพื้นฐานของการประเมินความยืดหยุ่น [4]

จากรูปที่ 5 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven point) จะทำการพิจารณาระดับต่ำสุดของระบบที่สามารถสร้างผลกำไรให้กับการขายสินค้าได้ โดยจุดดังกล่าวจะเป็นจุดที่มีรายได้รวม (Total Revenue) เท่ากับ ต้นทุนรวม (Total Cost) หรือกล่าวได้ว่า จุดดังกล่าวเป็นจุดตัดของเส้นกราฟต้นทุนรวมกับเส้นกราฟรายได้รวมนั่นเอง ทั้งนี้ ความยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นจากการขายสินค้าจะอยู่ในช่วงที่มีปริมาณการขายสินค้าสามารถสร้างผลกำไรได้ (Range of profitable sales) หรือเป็นช่วงของความแตกต่างระหว่างปริมาณสินค้าทั้งหมดที่บริษัทผลิตได้ (Limited capacity line) กับปริมาณสินค้าที่ขายได้ ณ ตำแหน่งของจุดคุ้มทุน สำหรับช่วงของความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งนั้น จะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ปริมาณจราจรที่โครงข่ายสามารถยอมรับได้ ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายจราจรสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในมิติเชิงปริมาณของการไหล (Flow) และมิติของรูปแบบการเลือกเส้นทาง (Pattern)

กล่าวคือ ในรูปที่ 6 จะแสดงถึงแนวคิดในการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของระบบขนส่งตามแนวคิดความจุสำรอง (Reserve Capacity) ที่สะท้อนค่าความยืดหยุ่นในการรองรับความไม่แน่นอนของอุปสงค์การขนส่งในด้านปริมาณ (Demand Volume) เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ รูปที่ 7 จะแสดงการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของระบบขนส่งที่สะท้อนความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ การขนส่งในด้านปริมาณ (Demand Volume) ร่วมกับ รูปแบบของอุปสงค์ (Demand Pattern)



รูปที่ 6 การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุที่รองรับความไม่แน่นอนของ อุปสงค์การขนส่งในด้านปริมาณเพียงอย่างเดียว [4]



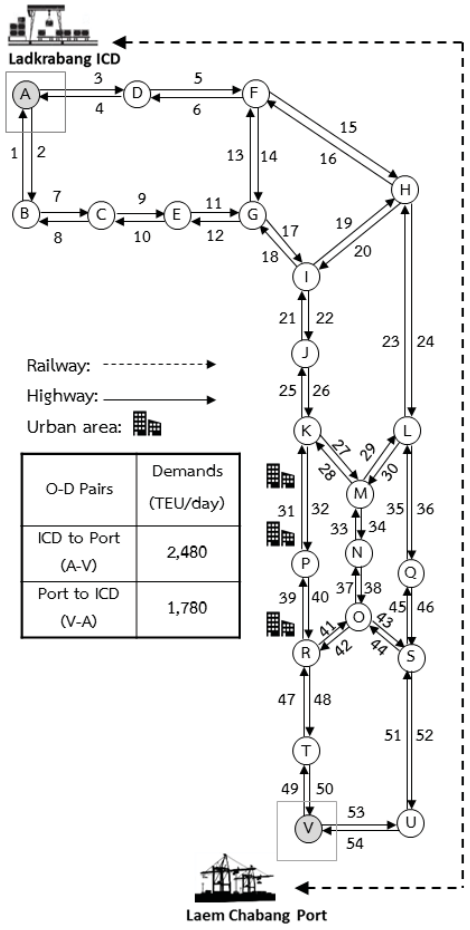
รูปที่ 7 การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุที่รองรับความไม่แน่นอนของ อุปสงค์การขนส่งในด้านปริมาณ ร่วมกับรูปแบบของอุปสงค์ [4]

4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

4.1 การเก็บและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับการพิจารณาความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง กับท่าเรือแหลมฉบังนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บและรวบรวมเส้นทางการสัญจรหลัก (Travel links) ของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่ โดยคัดเลือกเฉพาะเส้นทางของโครงข่ายทางหลวงที่มีหมายเลขไม่

เกิน 3 หลัก แล้วนำมาสร้างแผนภาพโครงข่ายจำลอง ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 โครงข่ายจำลองพื้นที่ศึกษาและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเฉลี่ยต่อวัน ในแต่ละคู่ O-D pair

จากรูปที่ 8 แสดงโครงข่ายจำลองพื้นที่ศึกษาของโครงข่ายทางหลวงและโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางรางระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง กับท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งประกอบด้วย 22 จุด (nodes) และ 54 เส้นทาง (Links) โดยมีจุด A แทนตำแหน่งของสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง และจุด V แทนตำแหน่งของท่าเรือแหลมฉบัง ส่งผลให้เกิดคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางหรือ คู่ O-D pair จำนวน 2 คู่ คือ (A-V) และ (V-A) โดยกำหนดให้มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในแต่ละคู่เป็น 2,480 และ 1,780 TEU ต่อวันตามลำดับ (TEU; Twenty-foot equivalent unit หมายถึงปริมาณความจุของตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต)

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทำการเก็บข้อมูลที่สำคัญเพื่อนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผล เช่น ระยะทางในแต่ละเส้นทาง จำนวนช่องจราจร และข้อจำกัดด้านความเร็วเฉลี่ยใน แต่ละเส้นทาง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางอย่างอิสระบนเส้นทาง (Free-flow travel time on link) หรือ t_a^0 สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่แนวระดับด้วยความเร็วคงที่ดังสมการ

$$t_a^0 = \frac{s_a}{v_a} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

t_a^0 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางอย่างอิสระบนเส้นทาง a (ชั่วโมง)

s_a ระยะทางของเส้นทาง a (กิโลเมตร)

v_a ความเร็วสูงสุดที่รถบรรทุกสามารถสัญจรผ่านได้ในเส้นทาง a (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

ในส่วนของความจุของเส้นทาง (C_a) นั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาจากปริมาณจราจรที่สูงที่สุดที่สามารถสัญจรในแต่ละเส้นทางในหน่วย คัน/ชั่วโมง/ช่องทาง และทำการแปลงเป็นหน่วย คัน/วัน/เส้นทาง โดยกำหนดให้รถบรรทุกสามารถบรรทุกสินค้าได้ 1 TEU/คันและมีเวลาสำหรับการขนส่งสินค้า 15 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่าง ICD ลาดกระบังกับท่าเรือแหลมฉบังมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับฤดูกาล (Seasonal Demand) แต่ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ใช้ปริมาณขนส่งสินค้าที่เป็นข้อมูลรายเดือนแล้วทำการเฉลี่ยเป็นรายวัน โดยทำการคัดเลือกปริมาณการขนส่งสินค้าในเดือนกรกฎาคม ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์และเห็นว่าเป็นเดือนที่มีเสถียรภาพ (Stability) ในรอบปีสำหรับใช้เป็นตัวแทนข้อมูลตลอดทั้งปี ผลดังกล่าวจะนำไปประกอบการพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรรายวันตลอดปี (Average annual daily traffic; AADT) ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ถูกสำรวจโดยสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง [7] และสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในแต่เส้นทางได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ในแต่ละเส้นทาง

เส้นทาง		เปรียบเทียบกับโครงข่ายจริง		พารามิเตอร์	
		ทางหลวง	ช่วงถนน	t_a^0 (นาที)	C_a (TEU/วัน)
1	2	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	7.8	4,282
3	4	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	16.5	2,354
5	6	7	บางปะกง-หนองรี	3.8	5,020
7	8	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	2.2	4,811
9		34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	15.5	316
10		34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	15.5	264
11		34	บางวัว-บางปะกง	2.6	4,592
12		34	บางวัว-บางปะกง	2.6	3,674
13	14	7	บางวัว-บางควาย	3.0	2,208
15	16	7	บางปะกง-หนองรี	5.3	5,020
17		34	บางวัว-บางปะกง	5.6	4,592
18		34	บางวัว-บางปะกง	5.6	3,674
19	20	314	บางปะกง-แสนภูดาษ	4.1	1,877
21		3	บางวัว-บางปะกง	4.8	3,674
22		3	บางวัว-บางปะกง	4.8	4,592
23	24	7	บางปะกง-หนองรี	13.5	5,020
25		3	บางปะกง-หน่อไม้แดง	4.5	4,570
26		3	บางปะกง-หน่อไม้แดง	4.5	5713

เส้นทาง		เปรียบเทียบกับโครงข่ายจริง		พารามิเตอร์	
		ทางหลวง	ช่วงถนน	t_a^0 (นาที)	C_a (TEU/วัน)
27	28	361	ทางเลี่ยงเมืองชลบุรี	3.2	5,446
29	30	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	3.4	212
31	32	3	หน่อไม้แดง-ชลบุรี	7.5	1,411
33	34	361	ทางเลี่ยงเมืองชลบุรี	3.6	3,851
35	36	7	บางปะกง-หนองรี	6.0	5,020
37	38	361	ทางเลี่ยงเมืองชลบุรี	2.3	3,992
39	40	3	ชลบุรี-ศรีราชา	3.1	2,035
41	42	361	ทางเลี่ยงเมืองชลบุรี	1.7	4,212
43	44	7	หนองข้างคอก-คีรี	2.8	2,970
45	46	7	หนองรี-หนองขาม	4.5	4,294
47	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	21.5	2,035
49	50	3	ศรีราชา-พัทยา	6.0	428
51	52	7	หนองรี-หนองขาม	14.7	4,298
53	54	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	6.1	978

จากนั้น ผู้วิจัยจะทำการพิจารณาเส้นทางการขนส่งสินค้า (Path) ทั้งหมดในโครงข่าย ทั้งนี้ ในแต่ละเส้นทางที่นำมาพิจารณานั้นจะต้องไม่เกิดวงจรในการเดินทาง (Loop) และต้องมีทิศทางมุ่งเข้าหาจุดปลายทางเท่านั้น ยกเว้นเส้นทางในเขตชุมชนเมือง (Urban Area) ที่ยอมให้มีการขับอ้อมเพื่อเลี่ยงการเดินทางผ่านชุมชนเมืองได้ โดยเส้นทางที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เส้นทางการขนส่งสินค้าที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้

O-D	Path	Links
A-V	1	3, 5, 15, 24, 36, 46, 52, 54
	2	3, 5, 15, 24, 30, 34, 38, 42, 48, 50
	3	3, 5, 15, 20, 22, 26, 32, 40, 48, 50
	4	3, 5, 15, 20, 22, 26, 27, 34, 38, 42, 48, 50
	5	3, 5, 15, 20, 22, 26, 27, 34, 38, 43, 52, 54
	6	3, 5, 14, 17, 22, 26, 32, 40, 48, 50
	7	3, 5, 14, 17, 22, 26, 27, 34, 38, 42, 48, 50
	8	3, 5, 14, 17, 22, 26, 27, 34, 38, 43, 52, 54
	9	2,7, 9, 11, 17, 22, 26, 32, 40, 48, 50
	10	2,7, 9, 11, 17, 22, 26, 27, 34, 38, 42, 48, 50
	11	2,7, 9, 11, 17, 22, 26, 27, 34, 38, 43, 52, 54
V-A	12	53, 51, 45, 35, 23, 16, 6, 4
	13	49, 47 ,41, 37, 33, 29, 23, 16, 6, 4
	14	49, 47, 39, 31, 25, 21,19, 16, 6, 4
	15	49, 47 ,41, 37, 33, 28, 25, 21, 19, 16, 6, 4
	16	53, 51, 44, 37, 33, 28, 25, 21, 19, 16, 6, 4
	17	49, 47, 39, 31, 25, 21, 18, 13, 6, 4
	18	49, 47 ,41, 37, 33, 28, 25, 21, 18, 13, 6, 4
	19	53, 51, 44, 37, 33, 28, 25, 21, 18, 13, 6, 4
	20	49, 47, 39, 31, 25, 21, 18, 12, 10, 8, 1
	21	49, 47 ,41, 37, 33, 28, 25, 21, 18, 12, 10, 8, 1
	22	53, 51, 44, 37, 33, 28, 25, 21, 18, 12, 10, 8, 1

4.2 แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่าย

จากการศึกษาของ [8] ได้ทำการประเมินความจุสำรองของโครงข่าย โดยการสร้างแบบจำลองการประเมินความจุสำรอง (Reserve Capacity Model) ซึ่งเป็นการประมวลผลเชิงคณิตศาสตร์จากปัญหาสองระดับ (Bi-Level Programming Problem) อันประกอบด้วยปัญหาระดับล่าง ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมการเลือกเส้นทางสำหรับการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาจากปัญหาการเลือกเส้นทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium Traffic Assignment) ในขณะที่ปัญหาระดับบน จะเป็นการคำนวณหาค่าที่มากที่สุดของตัวคูณความจุสำรองภายในโครงข่ายทางหลวง หรือ μ ซึ่งมีระบบสมการดังต่อไปนี้

ปัญหาระดับบน (Upper-Level)

$$\max \mu \tag{2}$$

โดยที่ $$v_a(\mu \mathbf{q}) \le C_a \ , \forall a \in A \tag{3}$$

ปัญหาระดับล่าง (Lower-Level)

$$\min \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x)dx \tag{4}$$

โดยที่ $$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} = \mu q_{rs} \ ; \forall r \in R, s \in S \tag{5}$$

$$v_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \ , \ \forall a \in A \tag{6}$$

$$f_k^{rs} \ge 0, \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \tag{7}$$

เมื่อกำหนดให้

A เซตของเส้นทางในโครงข่าย

R เซตของจุดต้นทางในโครงข่าย

S เซตของจุดปลายทางในโครงข่าย

μ ตัวคูณความจุสำรองภายในโครงข่ายทางหลวง

C_a ความจุของเส้นทาง a ในหน่วย TEU.

K_{rs} เซตของเส้นทาง (Path) ที่เชื่อมระหว่างคู่จุดต้นทาง r และจุดปลายทาง s เมื่อ $r \in R, s \in S$

v_a ปริมาณการไหล (Flow) บนเส้นทาง a ในหน่วย TEU.

f_k^{rs} ปริมาณการไหล (Flow) บนเส้นทาง (Path) k เชื่อมระหว่างคู่จุดต้นทาง r และจุดปลายทาง s ในหน่วย TEU.

q_{rs} ปริมาณการเดินทาง (Trip rate) ระหว่างคู่จุดต้นทาง r และจุดปลายทาง s ในหน่วย TEU.

$\delta_{a,k}^{rs}$ ตัวบ่งชี้ในกรณีที่เส้นทาง a เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง k โดยที่

$$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1 \ ; \text{ถ้าทางทาง } a \text{ เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง } k \text{ ที่เชื่อมระหว่างคู่จุดต้นทาง } r \text{ และจุดปลายทาง } s \\ 0 \ ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$t_a(v_a)$ ระยะเวลาในการเดินทางซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณการไหล (Flow) บนทางทาง a

จากระบบสมการในข้างต้น สมการที่ (2) คือ สมการจุดประสงค์ (Objective Function) ของปัญหาระดับบน เพื่อคำนวณหาค่าที่มากที่สุดของตัวคูณความจุสำรองภายในโครงข่ายทางหลวง และสมการที่ (3) คือ สมการข้อจำกัดด้านความจุของปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทาง a (Link Capacity Constraint) โดยที่ปริมาณการไหลในแต่ละเส้นทาง หรือ $v_a(\mu \mathbf{q})$ เป็นผลการคำนวณที่ได้จากปัญหาการเลือกเส้นทางการเดินทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (The Equilibrium Assignment Problem)

ในส่วนของปัญหาระดับล่าง จะทำการวิเคราะห์ปัญหาการเลือกเส้นทางการเดินทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium Traffic Assignment Problem) โดยที่สมการที่ (4) หรือเรียกกันทั่วไปว่า Beckmann's Transformation จะถูกกำหนดให้เป็นสมการจุดประสงค์ สำหรับใช้คำนวณหาค่าที่น้อยที่สุดของผลรวมค่าปฏิยานุพันธ์ (Integral) ของ Link performance function ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้สมการ BRP (Bureau of Public Road) [9] เพื่อกำหนดให้เป็น Link performance function ของเส้นทางในโครงข่าย ซึ่งมีรายละเอียดของสมการดังนี้

$$t_a(v_a) = t_a^0\left[1+0.15\left(\frac{v_a}{C_a}\right)^4\right] \qquad (8)$$

จากสมการที่ (8) จะพบว่า ระยะเวลาในการเดินทางบนเส้นทาง a จะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Relationship) และขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณการเดินทางผ่านเส้นทางเทียบกับปริมาณความจุของเส้นทาง (volume/capacity ratio)

ทั้งนี้ ข้อจำกัดทั้งหมดของตัวแบบปัญหาระดับล่างประกอบด้วย สมการที่ (5) สมการอนุรักษ์การไหล (Flow Conservation Constraint) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้แสดงการกระจายตัวไปในแต่ละเส้นทาง k ของยานพาหนะที่ผู้ขับขี่ใช้เดินทางจากจุดต้นทาง r ไปยังจุดปลายทาง s สมการที่ (6) คือ สมการที่แสดงผลรวมของปริมาณยานพาหนะในทุกๆเส้นทาง k ที่สัญจรผ่านเส้นทาง a และสมการที่ (7) คือ Non-negativity Constraint ของปริมาณการไหลของยานพาหนะในแต่ละเส้นทาง k

4.3 ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสถานการณ์ (scenario) ขึ้นมาจำนวน 3 สถานการณ์ โดยจะนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบ เพื่อประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงในแต่ละช่วงเวลาประกอบด้วย

สถานการณ์ที่ 1 (scenario 1) เป็นการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุด้วยระบบโครงข่ายการขนส่งในอดีต ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่ยอมให้มีการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกเพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น

สถานการณ์ที่ 2 (scenario 2) เป็นการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุด้วยระบบโครงข่ายการขนส่งที่มีความใกล้เคียงกับปัจจุบันมากที่สุด กล่าวคือ เป็นสถานการณ์ที่ยอมให้มีการขนส่งแบบ Multimodal ด้วยรถบรรทุกหรือรถไฟรางคู่ที่เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางของโครงข่าย

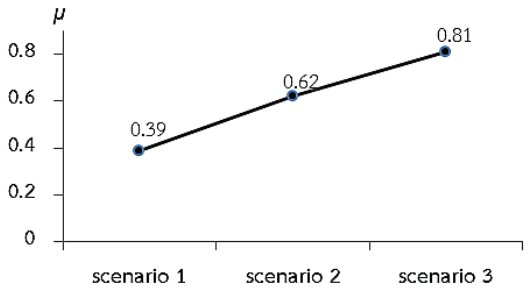
สถานการณ์ที่ 3 (scenario 3) เป็นการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุด้วยระบบโครงข่ายการขนส่งที่ใช้ข้อมูลโครงข่ายการขนส่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต กล่าวคือ เป็นสถานการณ์ที่ยอมให้มีการขนส่งแบบ Multimodal ด้วยรถบรรทุกหรือรถไฟรางคู่เช่นเดียวกับสถานการณ์ที่ 2 แต่ระบบการขนส่งทางรางในสถานการณ์นี้จะถูกพัฒนาผ่านโครงการพัฒนาศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟ (Single Rail Transfer Operator ; SRTO) เสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว โดยผลจากการพัฒนาด้วยโครงการดังกล่าวจะช่วยสร้างความรวดเร็วและเพิ่มระดับการให้บริการ ทั้งในด้านระยะเวลาการดำเนินงานในจุดต้นทางและจุดปลายทาง การเพิ่มความจุของขบวนรถ และการเพิ่มรอบการขนส่งสินค้า เป็นต้น

ตารางที่ 3 สัดส่วนการขนส่งตู้สินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) และท่าเรือแหลมฉบัง แยกตามรูปแบบการขนส่ง

	Truck	Rail	Total
Scenario 1	100.00%	-	100%
Scenario 2	62.54%	37.46%	100%
Scenario 3	49.00%	51.00%	100%

จากตามรางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนการขนส่งสินค้าขนส่งตู้สินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) และท่าเรือแหลมฉบังแยกตามรูปแบบการขนส่ง โดยในสถานการณ์ที่ 2 เป็นสัดส่วนที่เกิดขึ้นจริงจากปริมาณการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกและรถไฟเฉลี่ยในปีงบประมาณ 2557 ในส่วนของสัดส่วนการขนส่งสินค้าในสถานการณ์ที่ 3 นั้น จะใช้ข้อมูลคาดการณ์สัดส่วนการขนส่งสินค้าหลังโครงการ SRTO ทั้ง 2 ระยะแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2564

โดยผลการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Network Reserve Capacity Model) ผ่านโปรแกรม Excel Macro VBAs และ Excel Solver โดยใช้ Solving Method ด้วย GRG Nonlinear พบว่า ทั้ง 3 สถานการณ์ยังมีความจุของโครงข่ายทางหลวงหลักที่ใช้ขนส่งสินค้าไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการในปัจจุบัน โดยมีค่า μ เท่ากับ 0.39 ,0.62 และ 0.81 ตามลำดับ ถึงแม้ว่าสถานการณ์ที่ 3 จะมีสัดส่วนของปริมาณการขนส่งสินค้าทางรางสูงกว่าปริมาณการขนส่งผ่านโครงข่ายทางหลวงแล้วก็ตาม



รูปที่ 9 ผลการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงในแต่ละสถานการณ์

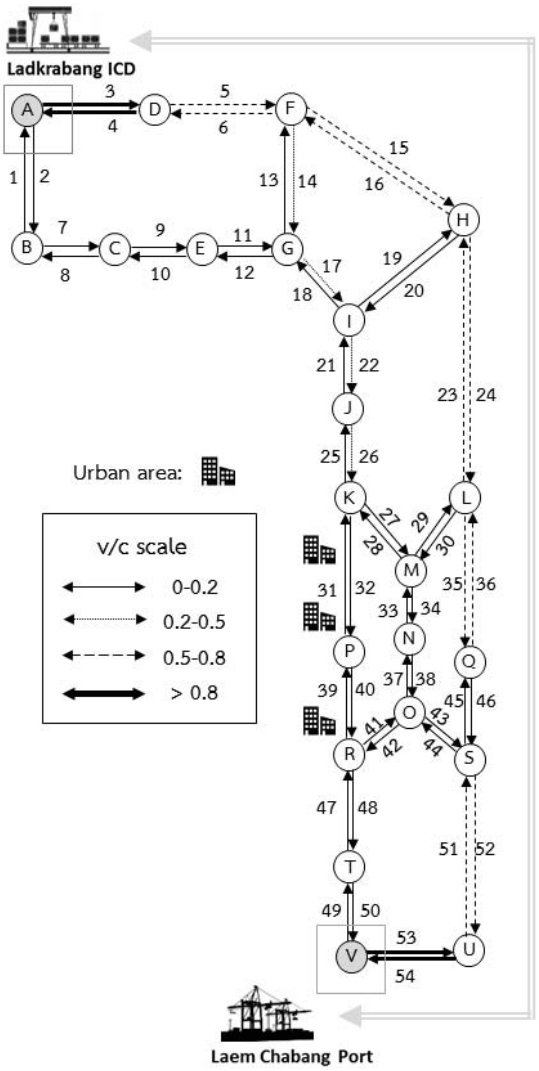
4.4 การพิจารณาหาจุดคอขวดของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Freight Bottleneck Identification)

ในส่วนของการพิจารณาหาจุดคอขวดของโครงข่ายการขนส่งสินค้านั้นจะเป็นการระบุตำแหน่งบนโครงข่ายทางหลวงที่มีระดับการให้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่น่าพึงพอใจ กล่าวคือ จะกำหนดให้เส้นทางที่มี

ปริมาณความจุคงเหลือของโครงข่ายมีปริมาณน้อยหรือไม่เพียงพอ หรือมีอัตราส่วนของปริมาณการเดินทางผ่านเส้นทางเทียบกับปริมาณความจุของเส้นทาง (volume/capacity ratio) มากกว่า 1 หรือใกล้เคียง 1 ที่สุด เป็นเส้นทางที่มีลักษณะเป็นคอขวดและต้องการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน โดยจากผลการวิเคราะห์ พบว่า เส้นทางที่มีลักษณะเป็นคอขวดส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณหน้าทางเข้าจุดต้นทางและจุดปลายทาง โดยเฉพาะเส้นทางที่ทางต่อกับท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเส้นทางเหล่านี้จะมีปริมาณความจุไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการในการเดินทาง ซึ่งสามารถระบุเส้นทางที่มีปัญหาคอขวด ที่ต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน ดังนี้

1) เส้นทางที่ 53 และ เส้นทางที่ 54 ตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 7 ถนนสายบางนา-ชลบุรี (สายใหม่) หรือถนนมอเตอร์เวย์ ช่วงทางต่างระดับ หนองขาม - ท่าเรือแหลมฉบัง ทั้ง 2 ทิศทาง

2) เส้นทางที่ 3 และเส้นทางที่ 4 ซึ่งตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 7 ถนนสายบางนา-ชลบุรี (สายใหม่) หรือถนนมอเตอร์เวย์ ช่วงถนนศรีนครินทร์ - บางปะกง ทั้ง 2 ทิศทาง



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของปริมาณการเดินทางผ่านเส้นทางเทียบกับปริมาณความจุของเส้นทาง (volume/capacity ratio)

สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเส้นทางที่ผู้เดินทางนิยมใช้สัญจรไปยังจุดปลายทาง โดยพบว่า ผู้ขนส่งสินค้าจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง หรือผู้ขนส่งสินค้าในคู่ O-D pair (A-V) ส่วนใหญ่นิยมใช้เส้นทางที่ 1 (Path No. 1) ในการเดินทาง โดยมีเส้นทางที่ 6 (Path No. 6) เป็นเส้นทางที่มีความนิยมรองลงมา ในส่วนของผู้ที่ขนส่งสินค้าจากท่าเรือแหลมฉบังไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) หรือผู้ขนส่งสินค้าในคู่ O-D pair (V-A) มักจะใช้เส้นทางที่ 12 (Path No. 12) ในการเดินทางเป็นส่วนมาก ส่งผลให้เส้นทางที่อยู่ในเส้นทางดังกล่าวมีปริมาณต้องการเดินทางสูงกว่าเส้นทางอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการแสดงผลอัตราของปริมาณการเดินทางผ่านเส้นทางเทียบกับปริมาณความจุของเส้นทาง หรือค่า v/c ratio ในแต่ละเส้นทาง ไว้ดังรูปที่ 10

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาความยืดหยุ่นของความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง กับท่าเรือแหลมฉบัง โดยแบ่งสถานการณ์ออกเป็น 3 สถานการณ์ ได้แก่ 1) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกเพียงรูปแบบเดียว 2) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าร่วมกันผ่านรถบรรทุกและรถไฟในช่วงเวลาปัจจุบัน และ 3) สถานการณ์ที่มีการขนส่งสินค้าร่วมกันผ่านรถบรรทุกและรถไฟในอนาคต (หลังเสร็จสิ้นโครงการพัฒนาศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟ) ภายใต้สัดส่วนการขนส่งตู้สินค้าโดยรถบรรทุกและรถไฟที่แตกต่างกัน ซึ่งผลจากการประมวลผลผ่านแบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า พบว่าผู้ขนส่งสินค้านิยมใช้เส้นทางที่ 1 ในการเดินทางจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบังไปยังท่าเรือแหลมฉบัง และนิยมใช้เส้นทางที่ 12 สำหรับการเดินทางจากท่าเรือแหลมฉบังมายังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง ทั้ง 3 สถานการณ์ ส่งผลให้ปริมาณความจุของเส้นทางที่ 53 และ 54 ไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการเดินทาง จึงทำให้เกิดปัญหาคอขวดขึ้นภายในเส้นทาง อีกทั้งยังส่งผลกระทบไปถึงค่าความยืดหยุ่นของโครงข่ายการขนส่งสินค้า ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่า μ หรือตัวคูณความจุสำรองภายในโครงข่ายทางหลวงที่มากที่สุดที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละสถานการณ์ มีค่าเป็น 0.39 ,0.62 และ 0.81 ตามลำดับ นั่นคือ โครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่ยังไม่มีความจุสำรองสำหรับรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการเดินทางในอนาคต โดยมีแนวทางในการแก้ไขปัญหา คือ การปรับปรุงและเพิ่มความจุให้กับเส้นทางที่มีปัญหาคอขวดหรือมีความจุคงเหลือไม่เพียงพออย่างเร่งด่วน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะผลกระทบอันเกิดจากความไม่เพียงพอของความจุภายในโครงข่ายการขนส่งสินค้าเพียงปัจจัยเดียว แต่ในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวก การดำเนินงานและการบริหารจัดการของจุด Logistics Node ซึ่งในที่นี้ คือ สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบังและท่าเรือแหลมฉบัง ให้เหมาะสมกับอัตราการเข้าและออกของรถบรรทุกภายในพื้นที่ดังกล่าว เพราะจะสามารถช่วยลดระยะเวลาการรอคอยและความยาวของแถวคอยบริเวณปากทางเข้าและ

ออก ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะช่วยลดปัญหาคอขวดที่เกิดขึ้นภายในโครงข่าย การขนส่งสินค้าได้

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนกวิจัยและพัฒนาธุรกิจ กรมแผนงาน ท่าเรือแหลมฉบัง. (30 ธันวาคม 2558). *ปริมาณและสัดส่วนการขนส่งตู้สินค้าผ่านเข้า-ออก ท่าเรือแหลมฉบัง ปีงบประมาณ 2550-2558*. [Online] Available: http://www.laemchabangportnew.com/th/2013-12-25-04-35-01.html

[2] E. K. Morlok and D. J. Chang, "Measuring Capacity Flexibility of a Transportation system," *Transportation Research Part A*., Vol. 33(6), pp. 405-420, 2004.

[3] Y. Sun, M. A. Turnquist and L. K. Nozick, "Estimating freight transportation system capacity, flexibility, and degraded-condition performance," *Transportation Research Record 1966*., pp. 80-87, 2006.

[4] A. Chen and P. Kasikitwiwat, "Modeling capacity flexibility of transportation networks," *Transportation Research Part A*., Vol. 45, pp. 105-117, 2011.

[5] Y. Sheffi, *Urban transportation networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. New Jersey: Prentice Hall, 1985.

[6] W. R. McShane, R. P. Roess and E. S. Prassas, *Traffic Engineering*. 2nd Edition. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

[7] สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง. (14 มกราคม 2559). *ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง*. [Online] Available: http://roadnet.doh.go.th/

[8] S. Jansuwan, "A Quantitative Framework for Assessing Vulnerability and Redundancy of Freight Transportation Networks," Doctoral dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, 2013.

[9] Bureau of Public Roads, *Traffic Assignment Manual*. Washington D.C.: U.S. Department of Commerce., 1964.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นาย รพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล
วทบ. (คณิตศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ดร.สราวุธ จันทร์สุวรรณ
Ph.D. (Transportation Engineering) Utah State University ประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันเป็น อาจารย์และผู้อำนวยการหลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์