

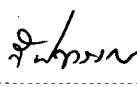
การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการคมนาคม
เพื่อรองรับการขนส่งสินค้าในพื้นที่ภาคตะวันออก

รพีพัฒน์ ชัยประสิทธิ์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการโลจิสติกส์)
คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

2559

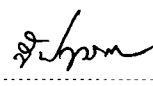
การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการคมนาคม
เพื่อรองรับการขนส่งสินค้าในพื้นที่ภาคตะวันออก
รฟพพัฒน ชัยประสิทธิกุล
คณะสถิติประยุกต์

อาจารย์   อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.สรารุท จันทรสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการโลจิสติกส์)

อาจารย์  ประธานกรรมการ
(ดร.ศิวิกา ดุษฎีโหนด)

รองศาสตราจารย์  กรรมการ
(ดร.กาญจน์ภา อมรัชกุล)

อาจารย์   กรรมการ
(ดร.สรารุท จันทรสุวรรณ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์   กรรมการ
(ดร. ปณัดดา กสิกิจวิวัฒน์)

อาจารย์  คณบดี
(ดร.ศิวิกา ดุษฎีโหนด)

ตุลาคม 2559

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการคมนาคม เพื่อรองรับการขนส่งสินค้าในพื้นที่ภาคตะวันออก
ชื่อผู้เขียน	นายรพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการ โลจิสติกส์)
ปีการศึกษา	2559

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อสนับสนุนการพัฒนาแผนเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบในพื้นที่ภาคตะวันออก โดยในการศึกษานี้จะพิจารณาการขนส่งสินค้า 2 รูปแบบคือการขนส่งสินค้าด้วยโครงข่ายทางหลวงและรถไฟ โดยการประเมินประสิทธิภาพแผนพัฒนาได้ใช้ตัวแบบ Network Reserved Capacity ซึ่งเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยปัญหา 2 ระดับ คือ ปัญหาระดับบน ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าที่มากที่สุดของสัดส่วนปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้นในโครงข่ายการขนส่งสินค้า หรือ μ และปัญหาระดับล่าง ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมทางเลือกเส้นทางสำหรับการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาจากปัญหาการเลือกเส้นทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่มีผู้เดินทางคนใดสามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางเพื่อลดระยะเวลาการเดินทางลงได้อีกแล้ว โดยผลของการประมวลผลพบว่า ณ สถานการณ์ปัจจุบัน โครงข่ายการขนส่งในพื้นที่ศึกษายังมีความจุสำรองเหลือเพื่อรองรับปริมาณจราจรในอนาคตประมาณ 1.16 เท่าของปริมาณความต้องการเดินทางในปัจจุบัน ($\mu = 1.16$) นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้พิจารณาโครงการปรับปรุงขยายช่องจราจรสำหรับเส้นทางที่มีลักษณะเป็นคอขวด และใช้ตัวแบบ Network Reserved Capacity โดยมีข้อจำกัดด้านงบประมาณในการดำเนินงานช่วยในการประเมินประสิทธิภาพกลุ่มโครงการ ซึ่งผลการศึกษา พบว่า การดำเนินการปรับปรุงเส้นทางร่วมกันระหว่างโครงการเพิ่มช่องจราจรบนทางหลวงหมายเลข 314 ช่วงบางปะกง - แสนภูดาษ จาก 2 เป็น 4 ช่องทาง ร่วมกับการเพิ่มช่องจราจรจาก 2 เป็น 3 ช่องบนทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงศรีราชา - พัทยา จะช่วยพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพโครงข่ายทางหลวงให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าน่ามากที่สุด

ABSTRACT

Title of Thesis	Assessing Freight Transportation Networks Capacity Flexibility: Case of Eastern Region of Thailand
Author	Mr. Rapeepat Chaiprasittikul
Degree	Master of Science (Logistics Management)
Year	2016

The objective of this thesis is to develop a framework for evaluating the flexibility of freight transportation networks. Case study of the eastern region's network in Thailand is adapted to demonstrate the applicability of the purposed model. The network flexibility model is formulated as a bi-level programming consisting of i) the upper-level problem for determining the maximum capacity multiplier μ that can be allocated to a network without violating a pre-specified level of service (LOS), and ii) the lower-level problem is formulated as the user equilibrium (UE) following the behavior of freight transporters resulted from the upper level. The results indicate that the reserved capacity (μ) of the case study is 1.16 implying these is approximately 16% additional capacity of network to accommodate the demand. Additionally, the proposed framework is further extended by adding the budget constraints to evaluate the highway improvement plans. The results are promising to apply in practice.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและจัดทำจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำของ ดร.สราวุธ จันทร์สุวรรณ ซึ่งเป็นทั้งอาจารย์ผู้สอนและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงที่ได้กรุณาที่ให้ความรู้ คำแนะนำข้อคิดเห็นและช่วยตรวจสอบรวมถึงแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ศิวิกา ดุษฎี โหนด ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์ภา อมรัชกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณัฏดา กสิกิจวิวัฒน์ เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงเจ้าหน้าที่ คณะสถิติประยุกต์ทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยความสะดวกและประสานงานในการทำวิทยานิพนธ์ให้ผู้วิจัย จนสามารถค้นคว้าและจัดทำวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอให้ปกตเวทิตาแด่บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยและขอโน้มรำลึกถึงครู อาจารย์ ตลอดจนผู้เขียนหนังสือและบทความต่างๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

รพีพัฒน์ ชัยประสิทธิ์กุล

ตุลาคม 2559

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(11)

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	5
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.6 ขั้นตอนและระยะเวลาในการศึกษา	8
บทที่ 2 กรอบแนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม	9
2.1 แนวคิดเรื่องจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium)	9
2.2 แนวคิดเรื่องความจุของโครงข่ายการขนส่ง	20
2.3 แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง	22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 การศึกษาปัญหาและกำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย	27
3.2 การศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	28

3.3	งานสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการจราจรและขนส่ง	28
3.4	โครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาคตะวันออก	29
3.5	ผลการเก็บและรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจร	32
3.6	ผลการสำรวจข้อมูลจุดต้นทาง-ปลายทาง	36
3.7	แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่าย	39
3.8	ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย	47
บทที่ 4	ผลการดำเนินงานวิจัย	51
4.1	การพิจารณาโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวง	51
4.2	การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่าย	53
4.3	ผลการดำเนินงานวิจัย	56
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1	สรุปผลการวิจัย	59
5.2	ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม		62
ภาคผนวก		64
	ภาคผนวก ก พื้นที่ย่อยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการเดินทาง	65
	ภาคผนวก ข สายทาง (Path) ของโครงข่ายในพื้นที่ศึกษา	70
	ภาคผนวก ค ผลการประมวลผลค่า v/c จากการประเมินความจุสำรอง	77
ประวัติผู้เขียน		92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการคำนวณความจุของช่องทางจราจร (Capacity per lane)	21
3.1 รายละเอียดจุดต้นทางและปลายทาง (Origin - Destination Nodes)	31
3.2 รายละเอียดและจำนวนเส้นทาง (Link) ในโครงข่ายการขนส่งสินค้าที่ศึกษา	32
3.3 หน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU)	36
3.4 ข้อมูลสัดส่วนของประเภทสินค้าที่ขนส่งจำแนกตามประเภทยานพาหนะ	38
3.5 ระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระและความจุของเส้นทาง	43
3.6 ปริมาณความต้องการเดินทางในแต่ละคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง (PCU/วัน)	44
3.7 ผลการประมวลผลค่า v/c จากการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย	48
3.8 สรุปจำนวนเส้นทางจำแนกตามระดับการให้บริการหลังการประมวลผล	50
4.1 รายละเอียดโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวงที่ศึกษา	51
4.2 กลุ่มโครงการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงที่นำมาวิเคราะห์	53
4.3 ผลการประเมินความจุสำรองโครงข่ายร่วมกับกลุ่มโครงการปรับปรุงโครงข่าย	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 สภาพการจราจรที่หนาแน่นบริเวณถนนบางนา-ตราด (ทางหลวงหมายเลข 34)	2
1.2 สภาพรถบรรทุกสินค้าที่ติดขัดบริเวณทางเข้าท่าเรือแหลมฉบัง	2
1.3 ปริมาณการขนส่งผู้โดยสารผ่านเข้า-ออกท่าเรือแหลมฉบังด้วยรถบรรทุก	3
1.4 แนวคิดเรื่องการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า	4
1.5 โครงข่ายการขนส่งสินค้าและจุด Logistic Nodes บริเวณพื้นที่ศึกษา	6
1.6 ขั้นตอนและระยะเวลาในการศึกษา	8
2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงข่ายการขนส่ง	10
2.2 การพิจารณาภาวะดุลยภาพของอุปสงค์และอุปทาน	12
2.3 การพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทาง	12
2.4 ผังการพิจารณาแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน	13
2.5 ลักษณะของการเกิดการเดินทาง (Trip Generation)	14
2.6 ลักษณะของการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution)	14
2.7 ลักษณะของการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice)	15
2.8 ลักษณะของการเลือกเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment)	15
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับปัจจัยอื่นๆ	16
2.10 ตัวอย่างการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางภายในโครงข่าย	17
2.11 O-D Performance Function, $t(q)$ สำหรับใช้พิจารณาจุดสมดุลของการเดินทาง	18
2.12 แนวคิดของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Point)	23
2.13 การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุโดยใช้แนวคิดการประเมินความจุสำรอง	24
3.1 การดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนของการศึกษา	27
3.2 รายละเอียดการเก็บและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพโครงข่ายการขนส่งสินค้า	28
3.3 โครงข่ายการขนส่งอย่างง่าย (Simplified Transportation Network)	30
3.4 โครงข่ายทางหลวงหลักในพื้นที่ภาคตะวันออก	33
3.5 แผนที่แสดงปริมาณจราจรในภาพรวมเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) พ.ศ. 2558	34

3.6	สัดส่วนของรถยนต์และรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) พ.ศ. 2558	35
3.7	สัดส่วนวัตถุประสงค์ของการเดินทาง	37
3.8	สัดส่วนการกระจายน้ำหนักบรรทุกในภาพรวม	39
3.9	แนวคิดของแบบจำลอง 2 ระดับสำหรับวิเคราะห์ความจุของโครงข่าย	40
3.10	โครงข่ายการขนส่งที่ใช้ประกอบการประมวลผล	42
3.11	แผนที่แสดงผลการประมวลผลค่า v/c Ratio ของโครงข่ายที่ศึกษา	49
4.1	แผนที่แสดงโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวง	52
4.2	ผลการจัดลำดับค่า $\Delta\mu$ /c Ratio สำหรับโครงการในแต่ละประเภท	57

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

ความหมาย

v/c

สัดส่วนของปริมาณจราจรต่อความจุของ
เส้นทาง

$\Delta\mu /c$

สัดส่วนของจำนวนเท่าของความจุโครงข่ายที่
เพิ่มขึ้นต่อต้นทุนที่ลงทุนพัฒนาโครงการ

คำย่อ

TEU

Twenty-Equivalent Unit คือ หน่วยนับสินค้าที่
บรรจุในตู้คอนเทนเนอร์ความยาว 20 ฟุต

PCU

Passenger Car Unit คือ หน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่ง
ส่วนบุคคล

ICD

Inland Container Depot คือ สถานีบรรจุและแยก
สินค้ากล่อง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย จัดเป็นพื้นที่ที่มียุทธศาสตร์ที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการสนับสนุนการท่องเที่ยวบริเวณชายฝั่งอ่าวไทย และการส่งเสริมให้ภาคตะวันออกเป็นศูนย์กลางทางธุรกิจและบริการในระดับสากล ทั้งด้านการค้าการลงทุนและระบบโลจิสติกส์ เพื่อเป็นกลไกที่สำคัญในการเตรียมความพร้อมต่อการเปิดการค้าเสรี อันเป็นผลมาจากการเข้าสู่ประชาคมอาเซียนในอนาคต ทั้งนี้ เศรษฐกิจของกลุ่มจังหวัดในภาคตะวันออกมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เนื่องจากภายในพื้นที่เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีท่าเรือแหลมฉบังและท่าเรือมาบตาพุด เป็นประตูส่งออกสินค้าหลักของประเทศ ยิ่งส่งผลให้การพัฒนาโครงข่ายการคมนาคมและระบบโลจิสติกส์เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาการเชื่อมโยงรูปแบบการขนส่งสินค้าประเภทต่างๆ ระหว่างนิคมอุตสาหกรรมกับประตูการค้าหลักให้รวดเร็ว คล่องตัว และมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลการพัฒนาดังกล่าวจะช่วยลดต้นทุนด้านการขนส่งสินค้า อันจะทำให้ผู้ประกอบการภายในประเทศมีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมที่รวดเร็วเช่นนี้ย่อมส่งผลให้มีปริมาณความต้องการในการขนส่งสินค้าไปยังประตูการค้าหลักเพิ่มสูงขึ้นระบบโครงข่ายทางหลวงเกิดปัญหาคอขวดขึ้นในหลายพื้นที่ เป็นผลให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดเป็นวงกว้างการเดินทางและการขนส่งสินค้าในพื้นที่เกิดความล่าช้าและขาดประสิทธิภาพซึ่งเห็นได้ชัดจากสภาพความหนาแน่นและแออัดของการปริมาณจราจรบนถนนบางนา-ตราด ซึ่งเป็นถนนสายหลักที่เชื่อมระหว่างกรุงเทพมหานครกับจังหวัดในภาคตะวันออก ดังภาพที่ 1.1 และสภาพการจราจรที่ติดขัดของรถบรรทุกสินค้าบริเวณหน้าทางเข้าท่าเรือแหลมฉบัง ดังภาพที่ 1.2



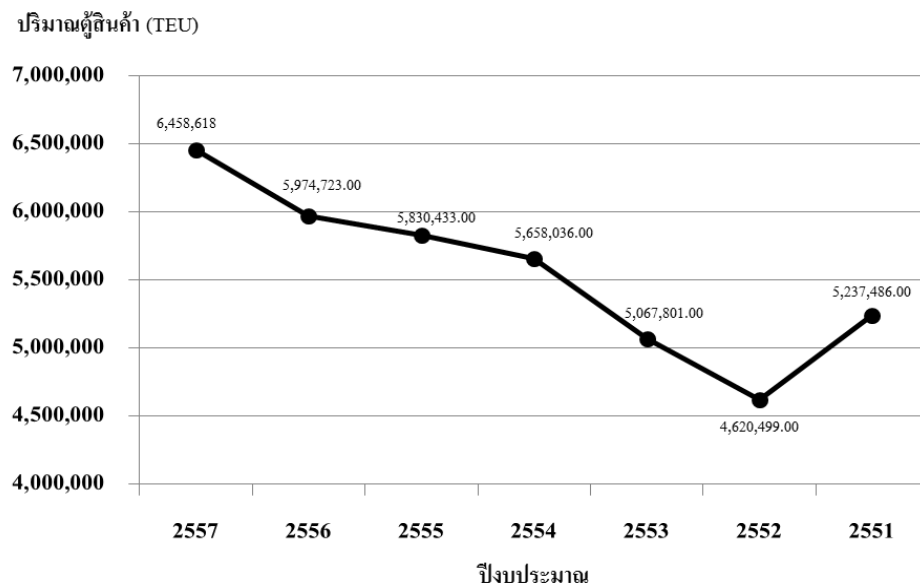
ภาพที่ 1.1 สภาพการจราจรที่หนาแน่นบริเวณถนนบางนา-ตราด (ทางหลวงหมายเลข 34)



ภาพที่ 1.2 สภาพรถบรรทุกสินค้าที่ติดขัดบริเวณทางเข้าท่าเรือแหลมฉบัง

สถานการณ์เหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการขนส่งที่ต้องแบกรับภาระต้นทุนการขนส่งสินค้าที่เพิ่มสูงขึ้นและมีรายรับที่ลดน้อยลง เนื่องจากปัญหาการจราจรติดขัดส่งผลให้การรับส่งสินค้าต้องใช้เวลา นานกว่าปกติ ทำให้รถหัวลากที่จากเดิมสามารถรับส่งสินค้าได้วันละ 2 เที่ยวต่อวัน ต้องลดรอบการให้บริการเหลือเพียงวันละ 1 เที่ยวเท่านั้น

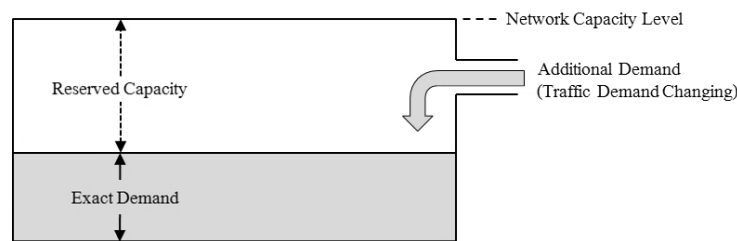
สอดคล้องกับข้อมูลจากกองแผนงาน ท่าเรือแหลมฉบัง ดังภาพที่ 1.3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณการขนส่งตู้สินค้า (Container) ผ่านเข้า-ออกท่าเรือแหลมฉบังด้วยรถบรรทุกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่า ระบบโครงข่ายการขนส่งขั้นพื้นฐานภายในภูมิภาคกลับไม่ได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้มีปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายการขนส่งในภาคตะวันออกหนาแน่นขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 1.3 ปริมาณการขนส่งตู้สินค้าผ่านเข้า-ออกท่าเรือแหลมฉบังด้วยรถบรรทุก
แหล่งที่มา: ท่าเรือแหลมฉบัง, กรมแผนงาน, 2558.

จากปัญหาข้างต้น การวิเคราะห์ความจุของโครงข่าย (Network Capacity) การขนส่งตู้สินค้าในภาคตะวันออกจึงถูกหยิบยกขึ้นมาศึกษา เพื่อประเมินปัจจัยด้านอุปทานสำหรับโครงสร้างพื้นฐานของระบบโครงข่ายการขนส่งตู้สินค้าในภาพรวม แต่อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการพิจารณาความจุของโครงข่ายในแต่ละเส้นทางในโครงข่ายก่อน โดยมีการให้ความหมายของค่าความจุของเส้นทาง (Link Capacity) ในการขนส่งตู้สินค้าว่าเป็นปริมาณจราจรบนที่มากที่สุดที่สามารถสัญจรผ่านสิ่งอำนวยความสะดวกในการขนส่งได้ (Sheffi, 1985: 17) ทั้งนี้ ปริมาณจราจรดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของจำนวนคนจำนวนยานพาหนะเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCU) หรือน้ำหนักของสินค้า ในช่วงเวลาและพื้นที่หนึ่งๆ เช่น ความจุของเส้นทางหนึ่งบนทางหลวงหมายเลข 34 (PCU/วัน/ช่องจราจร) หรือ ความจุของเส้นทางรางช่วงหนึ่งที่ใช้ขนส่งตู้สินค้า (ตัน/ขบวน/วัน) เป็นต้น และเพื่อให้ระบบโครงข่ายการขนส่งตู้สินค้าในภาคตะวันออกสามารถรองรับผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยภายนอกที่ไม่

สามารถควบคุมได้ในอนาคต จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง (Network Capacity Flexibility) เพื่อประเมินความจุสำรองของโครงข่าย (Network Reserved Capacity) ที่คงเหลืออยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ อาจกล่าวได้ว่าความยืดหยุ่นด้านความจุของระบบขนส่งเป็นความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการในการใช้ปริมาณจราจร โดยที่ระบบโครงข่ายการขนส่งยังคงรักษาไว้ซึ่งระดับการให้บริการเดิมได้ (Morlok and Chang, 2004: 2)



ภาพที่ 1.4 แนวคิดเรื่องการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า

จากภาพที่ 1.4 กำหนดให้ความจุของบรรจุภัณฑ์ทรงสี่เหลี่ยมเปรียบเสมือนความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Network Capacity Level) และกำหนดให้ปริมาณน้ำในบรรจุภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณจราจรในโครงข่าย ทั้งนี้ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำในบรรจุภัณฑ์ย่อมส่งผลให้ปริมาณความจุคงเหลือของบรรจุภัณฑ์ลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เมื่อปริมาณจราจรในโครงข่ายเพิ่มสูงขึ้นก็จะทำให้ความจุคงเหลือ (Reserve Capacity) ภายในโครงข่ายการขนส่งสินค้าลดลง อย่างไรก็ตาม การพิจารณาความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาพที่ 1.4 นั้น เป็นการประเมินที่พิจารณาเฉพาะคุณลักษณะของโครงข่ายการขนส่งสินค้าเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายดังกล่าวยังมีปัจจัยด้านพฤติกรรมของการเลือกรูปแบบ (Mode) และเส้นทาง (Path) ของการเดินทางเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากพบว่าพฤติกรรมการเลือกเส้นทางสัญจรของผู้ขับขี่ยานพาหนะโดยทั่วไปแล้วมักจะเลี่ยงเส้นทางหรือรูปแบบการขนส่งที่มีปริมาณความต้องการเดินทางใกล้เคียงเต็มความจุของโครงข่าย ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบหรือเส้นทางการเดินทางเกิดขึ้นย่อมส่งผลให้ปริมาณความต้องการเดินทางในแต่ละรูปแบบหรือเส้นทางเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่งผลให้ผู้วิจัยต้องนำแนวคิดเรื่องการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) หรือสถานะที่ทำให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะทุกคนใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด หยิบยกขึ้นมาพิจารณาร่วมกับการประเมินประสิทธิภาพของโครงข่ายด้วย

โดยแนวทางการศึกษาของงานวิจัยชิ้นนี้ จะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปริมาณความจุคงเหลือของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาคตะวันออก ซึ่งผลการประเมินดังกล่าวจะถูกใช้เป็นตัวชี้วัด

สำหรับการพิจารณาแนวทางในการแก้ไขปัญหาและพัฒนาโครงข่ายของการขนส่งสินค้าในพื้นที่ให้มีปริมาณความจุของโครงข่ายเพิ่มสูงขึ้นภายใต้งบประมาณที่ถูกกำหนดไว้ทั้งนี้ ผลของการวิจัยสามารถใช้เป็นประโยชน์ต่อการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าทั้งในระดับภูมิภาคและระดับประเทศ อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมระบบโลจิสติกส์ด้านการขนส่งสินค้า เพิ่มความคล่องตัวในการเดินทางจนทำให้เพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันในตลาดโลกได้ ผลกระทบดังกล่าวยังสามารถช่วยให้เศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศดีขึ้นตามลำดับอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อสำรวจและรวบรวมข้อมูลที่ใช้สำหรับการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Freight Network Capacity Flexibility) ในภาคตะวันออก
- 2) เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากตัวแบบ Network Reserved Capacity Model เพื่อใช้สำหรับการสนับสนุนการพัฒนาแผนเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายทางหลวงในภาคตะวันออก
- 3) เพื่อประเมินความจุที่เหลือของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในปัจจุบันและนำผลลัพธ์ที่ได้มาพิจารณาหาแนวทางการแก้ไขและพัฒนาโครงข่ายการขนส่งสินค้าของภาคตะวันออกในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้ง และลักษณะทางกายภาพของนิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังภาพที่ 1.5
- 2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบการคมนาคม (Supply) ที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากึ่งต่อ (ICD) ลาดกระบังกับท่าเรืออุตสาหกรรมแหลมฉบัง โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาครอบคลุมถึงการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation) ด้วย

ภาพที่ 1.5 โครงข่ายการขนส่งสินค้าและจุด Logistic Nodes บริเวณพื้นที่ศึกษา

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1) จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) หมายถึง สถานะทางการเดินทางหรือการขนส่งสินค้าจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะใช้เวลาในการเดินทางเท่ากันทุกๆ เส้นทาง และจะไม่มีผู้ใช้เส้นทางคนใดสามารถลดระยะเวลาในการเดินทางจากการเปลี่ยนไปใช้เส้นทางอื่นได้อีกแล้ว ทั้งนี้ กำหนดให้การเปลี่ยนเส้นทางดังกล่าว เป็นการเปลี่ยนเส้นทางจากที่เกิดจากผู้ที่ใช้เส้นทางคนใดคนหนึ่งเพียงฝ่ายเดียว (Unilaterally Changing Routes) ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับผู้ที่ใช้เส้นทางคนอื่นๆ

2) ความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Freight Network Capacity) หมายถึง ปริมาณจราจรที่มากที่สุดที่สามารถสัญจรผ่านโครงข่ายการขนส่งสินค้าได้ (Sheffi, 1985: 17) โดยปริมาณการจราจรดังกล่าวจะมีหน่วยเป็นจำนวนยานพาหนะหรือปริมาณสินค้าในช่วงเวลาและพื้นที่หนึ่งๆ

3) ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า (Freight Network Capacity Flexibility) หมายถึง ความสามารถของโครงข่ายการขนส่งสินค้าที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการด้านจราจรโดยยังคงไว้ซึ่งระดับประสิทธิภาพของระบบการขนส่ง (Chen and Kasikitwivat, 2010)

4) ระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระ (Free-flow Travel Time) หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางบนเส้นทางที่ไม่มีปริมาณจราจรหรือมีปริมาณจราจรเป็นศูนย์

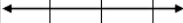
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบระดับความจุคงเหลือ (Reserved Capacity) ของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาคตะวันออก ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงเส้นทางที่เป็นจุดคอขวด (Bottleneck Link) ที่สำคัญของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาพรวมด้วย

2) ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าของภาคตะวันออก รวมถึงยังสามารถใช้ประเมินแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวงในอนาคต

3) ได้แนวทางในการปรับปรุงและเพิ่มความจุของโครงข่ายทางหลวง เพื่อสนับสนุนการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) ลาดกระบัง กับท่าเรืออุตสาหกรรมแหลมฉบังในพื้นที่ภาคตะวันออกให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 ขั้นตอนและระยะเวลาในการศึกษา

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี พ.ศ. 2558					ปี พ.ศ. 2559									
		ส.ค.	ก.ย.	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ค.ค.
1	ศึกษาข้อมูลในพื้นที่ศึกษา รวมถึงวางแผนและ กำหนดแนวทางในการทำ วิจัย															
2	ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง															
3	สำรวจปริมาณจราจร เก็บ และรวบรวมข้อมูลที่ใช้ ในการศึกษาวิจัย															
4	พัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์สำหรับการ ประเมินความจุสำรองของ โครงข่ายในพื้นที่ศึกษา															
5	ประมวลผลและวิเคราะห์ ผลการวิจัย															
6	ดำเนินการ จัดทำรูปเล่ม วิทยานิพนธ์และนำเสนอ ผลงาน															

ภาพที่ 1.6 ขั้นตอนและระยะเวลาในการศึกษา

บทที่ 2

กรอบแนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการทบทวนแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินประสิทธิภาพด้านความจุของถนนในโครงข่ายจราจร ทั้งนี้ จะทำการนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) แนวคิดเรื่องจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium)
- 2) แนวคิดเรื่องความจุของโครงข่ายการขนส่ง
- 3) แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง
- 4) การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดเรื่องจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium)

จำนวนผู้เดินทางในช่วงเวลาใดช่วงเวลานึงบนท้องถนนเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจเลือกใช้เส้นทางของผู้เดินทางที่มีความเป็นอิสระต่อกัน โดยในแต่ละครั้งของการเดินทางจากจุด ต้นทาง (Origin) ไปยังจุดปลายทาง (Destination) นั้น ผู้เดินทางจะเป็นฝ่ายพิจารณาและตัดสินใจเลือกเส้นทาง การเดินทาง (Route) ด้วยตนเอง ทั้งนี้ ผู้เดินทางอาจเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัวหรือใช้ระบบขนส่งสาธารณะก็ได้ ซึ่งการตัดสินใจดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความแออัด (Congestion) ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของระบบการขนส่ง โดยในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะเลือกนำเสนอเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างความแออัดกับการตัดสินใจเลือกใช้รูปแบบของเส้นทางในการเดินทาง (Flow Pattern) ผ่านการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์

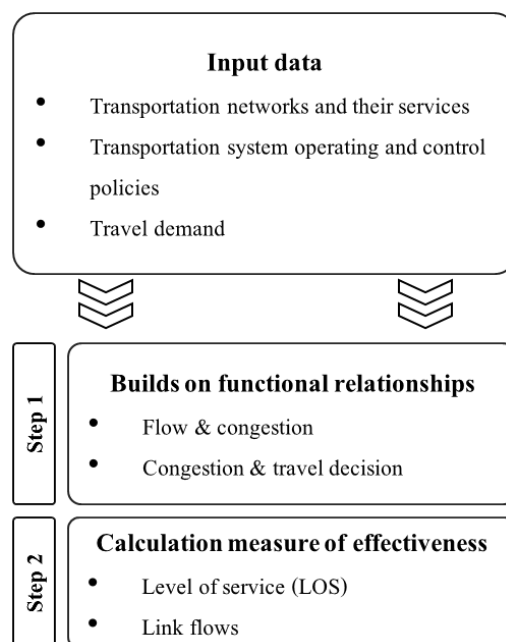
อย่างไรก็ตาม หนึ่งในปัญหาหลักที่อาจพบได้จากการวิเคราะห์ระบบการขนส่ง คือ การพยากรณ์ผลกระทบอันเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการในการเดินทาง ทั้งนี้ ข้อมูลนำเข้า (Input Data) ที่ผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องเก็บรวบรวมก่อนการวิเคราะห์ผลกระทบดังกล่าว ประกอบด้วย

1) โครงสร้างพื้นฐานและการให้บริการของระบบการขนส่งในโครงข่ายเช่น ทางแยก ถนนและสายการขนส่ง

2) การดำเนินงานและนโยบายที่ใช้ในการควบคุมระบบการขนส่งในโครงข่าย

3) ปริมาณความต้องการในการเดินทาง (Travel Demand) ภายในโครงข่ายการขนส่ง รวมถึงกิจกรรมที่เกิดขึ้นและรูปแบบการใช้พื้นที่ (Land Use Pattern) ในระบบด้วย

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์โครงข่ายของการขนส่ง (Transportation Networks Analysis) ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงข่ายการขนส่ง

หลังจากผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์โครงข่ายการขนส่งแล้ว ในขั้นตอนแรกจะเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์ปริมาณจราจร (Traffic Flow) ในแต่ละส่วนของโครงข่าย ซึ่งมีหน่วยที่อยู่ในรูปของจำนวนของการเดินทางต่อหน่วยเวลา เช่น จำนวนรถบรรทุกที่เดินทางมายังท่าเรือแหลมฉบังในหนึ่งชั่วโมง หรือ จำนวนผู้โดยสารที่เดินทางเข้าสู่ภาคตะวันออกในหนึ่งวัน เป็นต้นทั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปสร้างฟังก์ชันของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความแออัด (Flow and Congestion Function) และความสัมพันธ์ระหว่างความแออัดกับการตัดสินใจเลือกเดินทาง (Congestion and Travel Decision Function)

ในขั้นตอนที่ 2 ของการวิเคราะห์โครงข่ายการขนส่ง จะเป็นการคำนวณมาตรวัดต่างๆ ที่สำคัญ เพื่อทำการสร้าง Link Performance Function สำหรับการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งแบ่งประเภทการวัดได้ ดังนี้

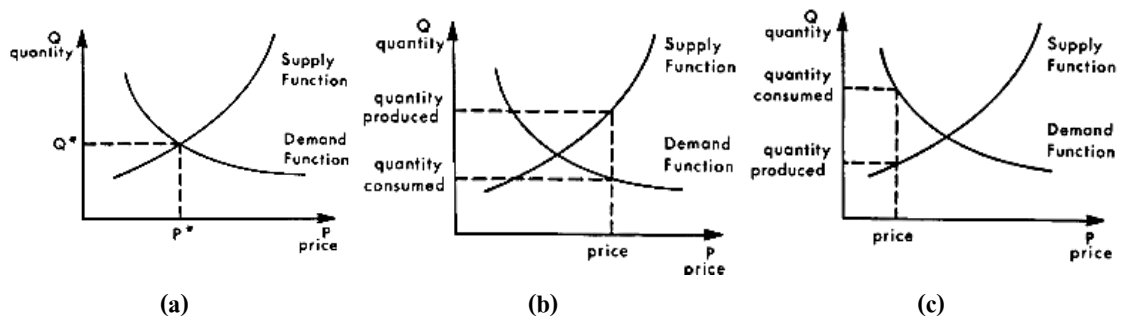
1) การวัดระดับการให้บริการ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับผู้ใช้ระบบ เช่น ระยะเวลาในการเดินทาง ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง เป็นต้น

2) การวัดปริมาณจราจรสำหรับการขนส่งสินค้า ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวมักส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเช่น ความติดขัด ความล่าช้าในการให้บริการ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การกำหนด Link Performance Function เพื่อประกอบการพิจารณานั้นผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่มักนิยมเลือกใช้ระยะเวลาในการเดินทางเป็นมาตรวัดของฟังก์ชันคุณลักษณะของโครงข่าย เพราะสามารถคำนวณได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถบ่งชี้การติดขัดของการจราจรได้ ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อมีการเลือกใช้ตัวชี้วัดอื่นในการพิจารณา กลับพบว่า ระยะเวลาในการเดินทางจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันเสมอ

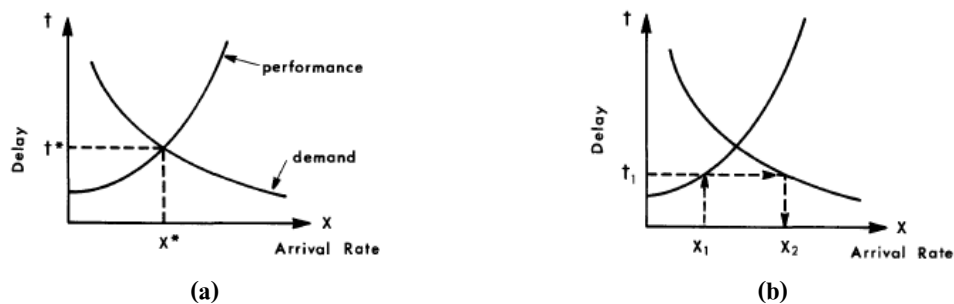
ทั้งนี้การพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางจะเป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดเรื่องการพิจารณาภาวะดุลยภาพของอุปสงค์และอุปทาน (Equilibrium Point of Demand and Supply Functions) ตามหลักวิชาเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของระดับราคาที่ถูกกำหนดโดยความต้องการซื้อเท่ากับระดับของปริมาณสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าต้องการขาย

จากภาพที่ 2.2 (a) แสดงตัวอย่างการพิจารณาจุดดุลยภาพซึ่งเป็นจุดตัดกันระหว่างเส้นโค้งของฟังก์ชันอุปสงค์และฟังก์ชันอุปทาน โดยจุดตัดดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่มีปริมาณความต้องการซื้อและปริมาณต้องการขายสินค้าเท่ากัน กล่าวคือ หากผู้ประกอบการผลิตสินค้าออกมาขายในปริมาณ Q^* จะส่งผลให้ผู้ประกอบการขายสินค้านั้นได้หมดพอดี (Market Clearing) ภายใต้อัตราขาย P^* ที่ผู้ซื้อสินค้ายอมรับได้ในกรณีที่ราคาสินค้าเพิ่มสูงขึ้นตามภาพที่ 2.2 (b) ย่อมส่งผลให้ผู้ประกอบการมีความต้องการที่จะขายสินค้าให้ได้มากขึ้นเพื่อเพิ่มรายได้ จึงทำให้มีปริมาณสินค้าที่ผลิตออกมาเพิ่มสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม ปริมาณความต้องการซื้อสินค้าก็จะลดลง เพราะราคาสินค้าที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ผู้ซื้อชะลอการซื้อสินค้านั้น สถานการณ์เช่นนี้จะส่งผลให้มีสินค้าหลงเหลืออยู่ภายในคลังเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ หากผู้ประกอบการลดราคาสินค้าลง ดังภาพที่ 2.2 (c) ก็จะทำให้มีปริมาณความต้องการซื้อสินค้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ผู้ประกอบการมีความจำเป็นต้องจำกัดปริมาณสินค้าที่ผลิตออกมาขายเพราะสินค้านั้นราคาตกต่ำ สถานการณ์นี้ก็จะส่งผลให้สินค้าขาดตลาดได้



ภาพที่ 2.2 การพิจารณาภาวะดุลยภาพของอุปสงค์และอุปทาน

แหล่งที่มา: Sheffi, 1985: 7.



ภาพที่ 2.3 การพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทาง

แหล่งที่มา: Sheffi, 1985: 8.

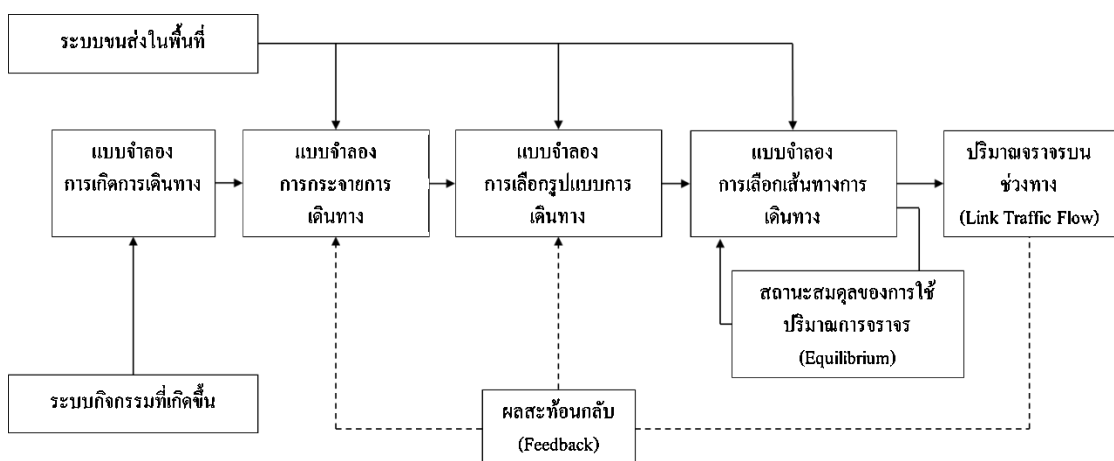
สำหรับการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) นั้น ผู้วิจัยจะกำหนดฟังก์ชันที่มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิม กล่าวคือ จะมีการพิจารณาฟังก์ชันอุปสงค์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการมาถึงของยานพาหนะ (Arrival Rate) ที่ส่งผลต่อความล่าช้าของการเดินทาง (Delay) ร่วมกับฟังก์ชันคุณลักษณะของโครงข่าย (Performance Function)

จากภาพที่ 2.3 (b) ซึ่งอธิบายการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางภายในเส้นทางแห่งหนึ่ง แสดงให้เห็นว่า เมื่อเส้นทางดังกล่าวมีอัตราการเข้ามาของยานพาหนะต่ำ ย่อมส่งผลให้ปริมาณยานพาหนะบนเส้นทางนั้นลดน้อยลง ความล่าช้าที่เกิดจากการเดินทางจึงลดลงด้วย สถานการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ผู้เดินทางหันมาสนใจและใช้เส้นทางดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น อุปสงค์ของการเดินทางภายในเส้นทางนั้นจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในทางกลับกัน หากมีอัตราการเข้ามาของยานพาหนะสูงมาก ก็จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางสูงขึ้น ผู้เดินทางจึงไม่เลือกที่จะสัญจรผ่านเส้นทางดังกล่าว อุปสงค์ของการเดินทางจึงลดน้อยลง ทั้งนี้ จุดสมดุลของผู้เดินทางภายในเส้นทางนั้นจะอยู่ในตำแหน่ง (x^*, t^*) ดังภาพที่ 2.3 (a) ซึ่งเป็นจุดตัดกันของฟังก์ชันทั้งสองพอดี

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางนั้นมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องทราบจำนวนยานพาหนะหรือปริมาณความต้องการใช้เส้นทางภายในโครงข่ายก่อนเสมอ ด้วยเหตุนี้หลักการวางแผนการขนส่งจึงเข้ามามีบทบาทในการพิจารณาเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัด อันจะส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางและทำให้ต้นทุนในการเดินทางเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ การวางแผนการขนส่ง นับเป็นกระบวนการตัดสินใจในการเลือกการดำเนินการขนส่งในอนาคต โดยจะทำการวิเคราะห์ความต้องการในการเดินทาง (Travel Demand Analysis) จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในอดีต เช่น พฤติกรรมการเดินทาง ระบบขนส่งพื้นฐาน กิจกรรมที่เกิดขึ้น และสถานะทางเศรษฐกิจและสังคมของประชาชนในพื้นที่ แล้วนำมาพยากรณ์ร่วมกับข้อมูลกิจกรรมและโครงการพัฒนาระบบขนส่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต แล้วทำการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (4-Step Models) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีการวิเคราะห์เป็นลำดับขั้น กล่าวคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ขั้นตอนหนึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 2.4

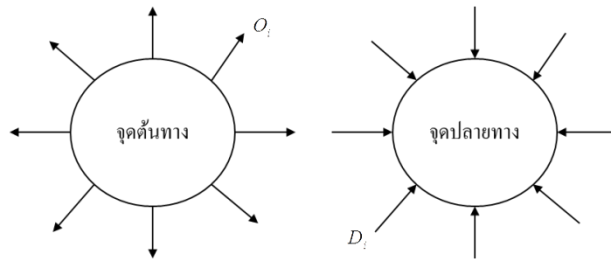
ขั้นตอนของการใช้แบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนเพื่อพยากรณ์ปริมาณการเดินทางภายในโครงข่าย ประกอบด้วย

- 1) แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation)
- 2) แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution)
- 3) แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice)
- 4) แบบจำลองการเลือกเส้นทางในการเดินทาง (Traffic Assignment)



ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชันการวิเคราะห์แบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน

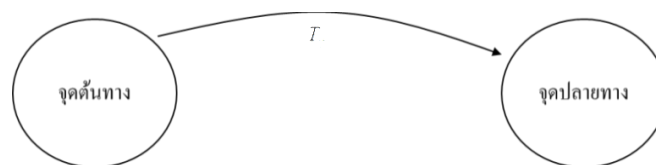
แหล่งที่มา: McNally, 2007: 122.



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของการเกิดการเดินทาง (Trip Generation)

แหล่งที่มา: Meyer and Miller, 1984: 123.

แบบจำลองการเกิดการเดินทาง คือ แบบจำลองที่ใช้พยากรณ์ปริมาณความต้องการเดินทางที่ถูกดึงดูดเข้าและเดินทางออกนอกพื้นที่ย่อยที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ดังภาพที่ 2.5 โดยอาจเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันกับตัวแปรต่างๆ ที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินทางเช่น ตัวแปรทางด้านเศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่ ซึ่งจะได้รับผลกระทบจากข้อมูลด้านจำนวนประชากร รายได้ของประชากร ปริมาณการจ้างงานในพื้นที่ จำนวนยานพาหนะต่อครัวเรือน เป็นต้น ทั้งนี้ เมื่อทราบปริมาณการเกิดการเดินทางในแต่ละพื้นที่ย่อยแล้ว ก็จะนำผลที่ได้มาคาดการณ์ปริมาณการเดินทางที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ย่อยหนึ่งๆ ผ่านแบบจำลองการกระจายการเดินทาง เพื่อให้ทราบว่า การเดินทางที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ย่อยนั้นมีจุดต้นทางและจุดปลายทางอยู่ที่ใดบ้างและมีปริมาณการเดินทางในแต่ละคู่จุดต้นทางและจุดปลายทาง (O-D Pair) มากน้อยเพียงใด ดังภาพที่ 2.6

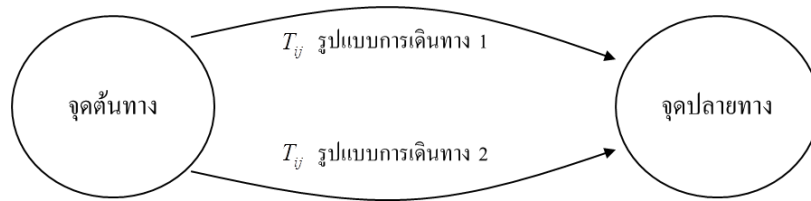


ภาพที่ 2.6 ลักษณะของการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution)

แหล่งที่มา: Meyer and Miller, 1984: 124.

ลำดับต่อมา หลังจากทราบปริมาณการเดินทางในแต่ละคู่จุดต้นทางและจุดปลายทาง (O-D Pair) ภายในพื้นที่ที่ศึกษาแล้ว ก็จะนำข้อมูลดังกล่าวมาคาดการณ์สัดส่วนของการเลือกรูปแบบการขนส่งในแต่ละคู่ O-D Pair ดังภาพที่ 2.7 ผ่านแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง

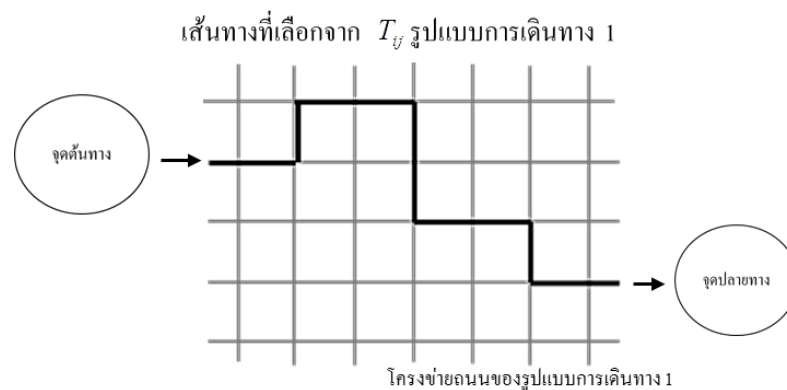
ทั้งนี้ ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้อาจนำไปกำหนดแนวทางและวางแผนการพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งในอนาคตให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ปัจจุบันได้



ภาพที่ 2.7 ลักษณะของการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice)

แหล่งที่มา: Meyer and Miller, 1984: 125.

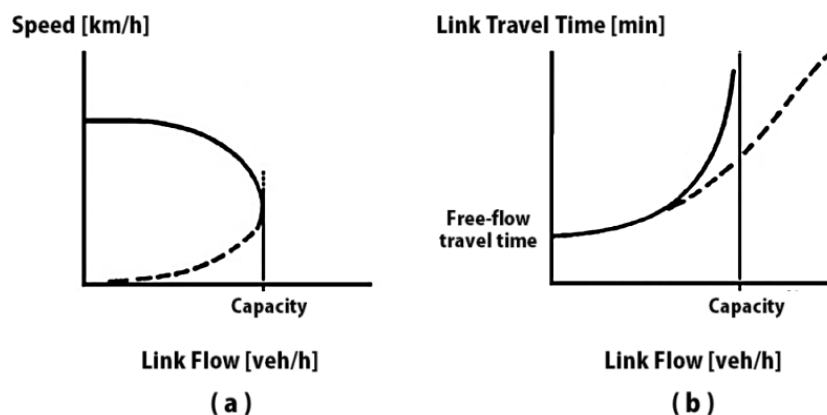
เมื่อพิจารณาการเลือกรูปแบบการเดินทางแล้วก็จะนำผลที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายของแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน นั่นคือ การคาดการณ์ว่าผู้ขับขี่ยานพาหนะจะเลือกใช้เส้นทางใดในการเดินทางจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทาง ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้เส้นทางของผู้ขับขี่มักขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเดินทางหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางอันมีผลมาจากปริมาณความต้องการใช้เส้นทางภายในโครงข่าย โดยผู้ขับขี่แต่ละคนจะพยายามปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางไปเรื่อยๆ เพื่อให้ตนเองสามารถเดินทางจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางได้เร็วที่สุด



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของการเลือกเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment)

แหล่งที่มา: Meyer and Miller, 1984: 126.

ความพยายามปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของผู้ขับขี่จะสิ้นสุดลงเมื่อระบบเข้าสู่สถานะที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ระยะเวลาในการเดินทางของแต่ละคนสั้นลงได้อีกแล้ว สถานะดังกล่าว เรียกว่า จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium - UE) ซึ่ง Sheffi (1985: 22) ได้ให้คำนิยามของศัพท์ดังกล่าวไว้ว่า “For each O-D pair, at user equilibrium, the travel time on all used paths is equal, and (also) less than or equal to the travel time that would be experienced by a single vehicle on any unused path.” กล่าวคือ ที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดต้นทางและจุดปลายทางใดๆ จะเท่ากันทุกเส้นทาง และจะต้องไม่มากกว่าเวลาที่ใช้เดินทางในเส้นทางที่ไม่ได้ถูกใช้ ทั้งนี้ ในแต่ละเส้นทางจะถูกบ่งชี้คุณลักษณะด้วย Link Performance Function ซึ่งเป็นผลมาจากระดับการให้บริการหรือความต้านทานของการเดินทางที่มักจะถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง (Speed) หรือ ระยะเวลาในการเดินทาง (Travel Time) เนื่องจากทั้ง 2 ความสัมพันธ์สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการขัดขวางการสัญจรของยานพาหนะในแต่ละเส้นทางได้สะดวกที่สุด โดยระยะเวลาในการเดินทางที่มีปริมาณจราจรเป็นศูนย์จะถูกเรียกว่า ระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระ (Free-flow Travel Time) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีปริมาณจราจรเพิ่มสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางลดลง เป็นเหตุให้ระยะเวลาในการเดินทางเพิ่มสูงขึ้น และจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณจราจรใกล้เต็มความจุของเส้นทาง (Network Capacity) ทั้งนี้ ในการพิจารณาจะไม่นิยามปริมาณจราจรที่มากกว่าความจุของโครงข่าย เนื่องจากไม่สามารถสังเกตการพิจารณาได้ ดังภาพที่ 2.9

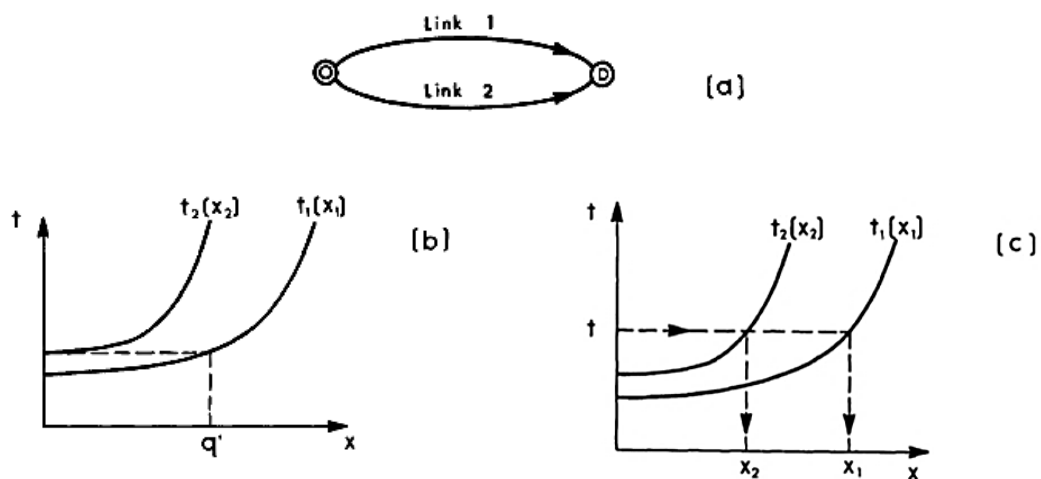


ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับปัจจัยอื่นๆ

แหล่งที่มา: McShane, Roess and Prassas, 1998: 222.

หลักการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางนั้นจะถูกกำหนดว่า การพิจารณานั้นจะต้องทราบจำนวนผู้ขับขี่ที่ต้องการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางชัดเจน และกำหนดว่าจุดของการเดินทางเหล่านั้นจะถูกเชื่อมด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้ภายในระบบ ทั้งนี้ ปริมาณจราจรในแต่ละทางเชื่อม (Link) จะเกิดจากผลรวมของปริมาณจราจรในแต่ละเส้นทาง (Path) ภายในโครงข่าย ซึ่งคำถามหลักสำหรับการพิจารณานี้จะเป็นการคาดการณ์ว่าผู้ขับขี่จะเลือกใช้เส้นทางใดในการเดินทาง อย่างไรก็ตาม หากผู้ขับขี่แต่ละคนเลือกเดินทางในเส้นทางเดียวกันเป็นจำนวนมากย่อมทำให้เกิดความแออัดในการเดินทางมากขึ้น เป็นผลให้ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย

ยกตัวอย่างการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางของโครงข่ายการเดินทางที่ประกอบด้วย 2 ทางเชื่อม ดังภาพที่ 2.10 (a)



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางภายในโครงข่าย

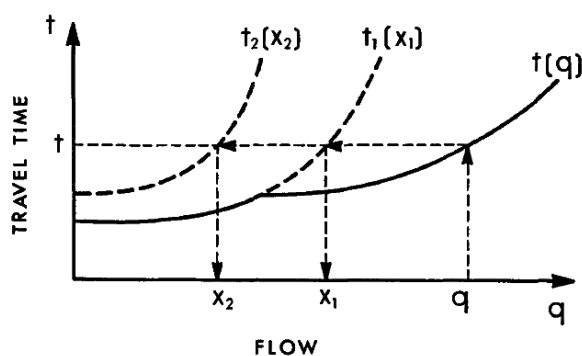
แหล่งที่มา: Sheffi, 1985: 21.

จากภาพ 2.10 (b) แสดงให้เห็น Performance Functions ซึ่งแสดงระยะเวลาในการเดินทางภายใต้ปริมาณจราจรบนทางเชื่อมที่ 1 และ 2 หรือ $t_1(x_1)$ และ $t_2(x_2)$ ตามลำดับ และมีปริมาณจราจรระหว่างจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางรวมทั้งหมดเท่ากับ q เมื่อ

$$q = x_1 + x_2 \quad (2.1)$$

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจุดสมดุลของผู้เดินทางในแต่ละช่วงของปริมาณจราจร จะพบว่า $t_1(q) \leq t_2(0)$ เมื่อ $q \leq q'$ กล่าวคือในช่วงที่โครงข่ายมีปริมาณจราจร (q) น้อยกว่าระดับของปริมาณจราจรที่ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินทางของทั้ง 2 ทางเชื่อมเท่ากัน (q') ปรากฏว่าผู้ขับขี่จะเลือกเดินทางโดยใช้เส้นทางที่ 1 ทั้งหมด เนื่องจากจะใช้ระยะเวลาในการเดินทางน้อยกว่าระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระ (Free-Flow Travel Time) ของเส้นทางที่ 2 และเมื่อโครงข่ายมีปริมาณจราจรเพิ่มสูงขึ้นจนอยู่ในระดับ q' ก็จะส่งผลให้ผู้ขับขี่เริ่มมีการปรับเปลี่ยนเส้นทางไปยังเส้นทางที่ 2 เพิ่มสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการเดินทางของเส้นทางที่ 2 ก็จะเพิ่มสูงขึ้น ผู้ขับขี่คนถัดไปที่เพิ่มเข้ามาจึงหันไปเลือกเส้นทางที่ 1 สลับสับเปลี่ยนกันไป เช่นนี้ เพื่อให้เกิดความสมดุลของการเดินทางภายในเส้นทางทั้ง 2 นั้นเอง

ในกรณีของการพิจารณาจุดสมดุลของการเดินทางที่เกิดจากปริมาณจราจรสำหรับค่า q ใดๆ ที่มากกว่าค่า q' หรือ $q > q'$ พบว่า ที่จุดสมดุลของการเดินทางจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของเส้นทางทั้งสองเท่ากัน ($t = t_1 = t_2$) ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณจราจรที่เหมาะสมของแต่ละเส้นทางได้จากการพิจารณาการผกผันของฟังก์ชันคุณลักษณะในเส้นทางนั้นๆ (Inverse Link Performance Functions) นั่นคือ $x_1 = t_1^{-1}(t)$ และ $x_2 = t_2^{-1}(t)$ ดังภาพที่ 2.10 (c) และสามารถสร้างกราฟ O-D Performance Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันของปริมาณจราจรทั้งหมดภายในโครงข่าย มีความสัมพันธ์เป็น $t(q) = t(x_1 + x_2)$ สำหรับใช้คำนวณหาระยะเวลาในการเดินทางของปริมาณจราจร x_1 และ x_2 ณ จุดสมดุลของการเดินทาง ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 O-D Performance Function, $t(q)$ สำหรับใช้พิจารณาจุดสมดุลของการเดินทาง
แหล่งที่มา: Sheffi, 1985: 23.

สำหรับการพิจารณาปัญหาการกระจายการเดินทาง ณ จุดสมดุลของการเดินทาง (The Equilibrium Assignment Problem) ด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์นั้น จะเป็นการคำนวณหาปริมาณจราจรของในแต่ละเส้นทางภายในโครงข่ายที่สามารถตอบสนองข้อกำหนดของจุดสมดุลของการเดินทาง โดยการเลือกเส้นทางการสัญจรของยานพาหนะ (Flow Pattern) ในแต่ละจุดต้นทางและจุดปลายทางสามารถคำนวณได้จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

$$\text{Min } \sum_a \int_0^{v_a} t_a(x) dx \quad (2.2)$$

$$\text{Subject to } \sum_{r \in R_{ij}} f_r^{ij} = \mu q_{ij} ; \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.3)$$

$$v_a = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R_{ij}} f_r^{ij} \delta_{r,a}^{ij}, \forall a \in A \quad (2.4)$$

$$f_r^{ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in J, r \in R_{ij} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.2) ซึ่งเป็นสมการจุดประสงค์ (Objective Function) ที่เกิดจากผลรวมของค่าปฏิยานุพันธ์ของฟังก์ชันคุณลักษณะในแต่ละทางเชื่อม $t_a(v_a)$ ซึ่งกำหนดให้มีค่าน้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของสมการที่ (2.3) ถึงสมการที่ (2.5)

โดยสมการที่ (2.3) จะถูกกำหนดให้เป็น Flow Conservation Constraints ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณจราจรในทุกๆสายทาง(Flow) r ของแต่ละคู่จุดต้นทางและจุดปลายทาง i, j หรือแทนด้วย f_r^{ij} นั้นมีค่าเท่ากับปริมาณจราจรทั้งหมดภายในคู่จุดต้นทางและจุดปลายทาง i, j หรือ q_{ij} นอกจากนี้สมการที่ (2.5) ยังกำหนดว่าปริมาณจราจร f_r^{ij} นั้นจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์เสมอ (Non-negativity Conditions)

ในส่วนของสมการที่ (2.4) จะเป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรบนเส้นเชื่อม (Link Flow) กับปริมาณจราจรบนสายทาง (Path Flow) ผ่านตัวแปร Indicator Binary Variable หรือ $\delta_{r,a}^{ij}$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นเชื่อม a อยู่ในสายทาง r ของคู่จุดต้นทางและจุดปลายทาง i, j และจะมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในข้างต้นนี้ จะถูกเรียกว่า Beckmann's Transformation โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะเปรียบเสมือนผลการพิจารณาการเลือกเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment) ในขั้นตอนสุดท้ายของแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (4-Step Models) นั่นเอง

2.2 แนวคิดเรื่องความจุของโครงข่ายการขนส่ง

จากการอธิบายแนวคิดเรื่อง จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ในหัวข้อที่ 2.1 นั้น ได้มีการกล่าวถึงคำว่า ความจุของโครงข่ายการขนส่ง (Network Capacity) ซึ่งถูกใช้เป็นตัวกำหนดขอบข่ายของการพิจารณากราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความเร็วและระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง สำหรับหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะทำการขยายความหมายและวิธีการพิจารณาความจุของโครงข่ายการขนส่ง ซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

ความจุ (Capacity) หมายถึง ปริมาณหรือจำนวนที่มากที่สุดที่สามารถถือครองหรือรองรับไว้ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้แทนความสามารถหรือกำลังในการดำเนินงานบางสิ่งบางอย่าง ซึ่งในปัจจุบันคำว่า ความจุ ได้ถูกนำไปประสมคำหรือประยุกต์ใช้คำเพื่อตีความใหม่ รวมถึงการกำหนดนิยามให้ตรงกับลักษณะการนำไปใช้งานเกิดเป็นคำศัพท์เฉพาะทางเป็นจำนวนมาก

โดยในด้านอุตสาหกรรมการผลิต ได้มีการใช้คำว่า กำลังการผลิต (Production Capacity) สำหรับการอธิบายอัตราการผลิตสูงสุดที่ระบบการผลิตสามารถผลิตสินค้าได้ในช่วงเวลานึ่งของการดำเนินงาน ซึ่งสามารถประเมินได้ 2 ลักษณะ คือ การประเมินกำลังการผลิตจากผลผลิต ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการผลิตจากการนับหน่วยของสินค้าที่ผลิตได้ต่อช่วงเวลาการดำเนินงาน ทั้งนี้ ยังมีกระบวนการผลิตบางประเภทที่ไม่มีหน่วยสินค้าในการวัดที่ชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นธุรกิจประเภทการให้บริการเป็นหลัก การประเมินกำลังการผลิตในลักษณะนี้จึงต้องวัดจากปัจจัยการผลิต เช่น อุณหภูมิรถยนต์จะวัดกำลังการผลิตจากจำนวนช่วงซ่อมรถภายในอยู่ การให้บริการของรถโดยสารประจำทางจะทำการวัดกำลังการผลิตจากจำนวนที่นั่ง เป็นต้น ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าก็ได้มีการนำคำว่าความจุไปประยุกต์ใช้เป็นคำศัพท์เฉพาะเช่นกัน โดยได้มีการนิยามคำว่า ความจุไฟฟ้า (Capacitance) สำหรับใช้อธิบายความสามารถในการเก็บประจุของตัวนำไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม ได้มีการนำคำว่า ความจุ มาประยุกต์ใช้ทางด้านการคมนาคมขนส่ง สำหรับประเมินความสามารถในการรองรับยานพาหนะของโครงสร้างการคมนาคมขั้นพื้นฐานในรูปแบบต่างๆ เช่น โครงข่ายทางหลวง โครงข่ายราง เป็นต้น โดยในโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางถนนนั้น Sheffi (1985: 17) ได้กล่าวถึงความหมายของคำว่า ความจุของเส้นทางในการขนส่งไว้ว่าเป็นปริมาณจราจรที่มากที่สุดที่สามารถสัญจรผ่านสิ่งอำนวยความสะดวกในการขนส่งได้ ทั้งนี้ ปริมาณจราจรดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของจำนวนคน ยานพาหนะหรือสินค้า ในช่วงเวลาและพื้นที่หนึ่งๆ เช่น ปริมาณจราจรที่มากที่สุดที่จำนวนรถขนาดเทียบเท่ากับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลสามารถสัญจรได้ (ในหน่วย คัน/ชั่วโมง/ช่องทางจราจร) หรือปริมาณจราจรที่มากที่สุดของจำนวนสินค้าที่ขนส่งทางรถไฟ (ในหน่วย คัน/ขบวน/วัน) เป็นต้น

สำหรับการพิจารณาความจุของโครงข่ายการขนส่งนั้น ถือเป็นหนึ่งในปัจจัยของการพิจารณาคุณลักษณะของโครงข่าย (Network Characteristics) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) ความจุเบื้องต้น (Basic Capacity) คือ จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car) ที่มากที่สุดซึ่งเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่ง ภายใต้สภาพการจราจรที่สมบูรณ์แบบ (Ideal Condition) ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- (1) เป็นสภาพที่การสัญจรของยานพาหนะไม่ถูกขัดจังหวะ
- (2) มีเฉพาะรถยนต์ส่วนบุคคลสัญจรภายในโครงข่ายเท่านั้น
- (3) มีขนาดของช่องทางจราจรกว้าง 3.5 เมตร และมีไหล่ทางกว้างมากกว่า 2

เมตรเมื่อวัดจากขอบผิวทาง และลักษณะทางเรขาคณิตของเส้นทาง เหมาะสำหรับความเร็วเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2) ความจุที่เป็นไปได้ (Possible Capacity) คือ จำนวนยานพาหนะที่มากที่สุดซึ่งเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่ง ภายใต้สภาพการจราจรที่เป็นปกติ ซึ่งจะมีจำนวนน้อยกว่าความจุเบื้องต้น

3) ความจุที่เป็นจริง (Practical Capacity) คือ จำนวนยานพาหนะที่มากที่สุดซึ่งเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่ง โดยความหนาแน่นของการจราจรในบริเวณนั้นจะต้องไม่สูงเกินไปจนเกิดการติดขัด

โดยความจุของเส้นทางบริเวณพื้นที่ใดๆของโครงข่าย สามารถคำนวณได้จาก การนำจำนวนช่องทางการจราจร (Number of Lanes) คูณด้วยความจุของช่องทางจราจร (Capacity Per Lane) ในหน่วยคันต่อชั่วโมง ยกตัวอย่างการคำนวณได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการคำนวณความจุของช่องทางจราจร (Capacity Per Lane)

ประเภทของทางเชื่อม	ความเร็ว (km./hour)	จำนวน ช่องทาง	ความจุของช่องทาง (vehicle/lane/hour)	ความจุของทางเชื่อม (vehicle/link/hour)
ทางหลวงพิเศษ	110	4	2,000	8,000
ทางหลวงระหว่างเมือง	90	4	1,800	7,200
ทางหลวงชนบท	80	2	1,200	2,400
ถนนในเขตชุมชน	45	2	800	1,600

หมายเหตุ: ทุกทางเชื่อมเป็นการจราจรที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียว (One-way Links)

ทั้งนี้ เพื่อให้ระบบโครงข่ายการคมนาคมสามารถรองรับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนยานพาหนะบนท้องถนนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุ (Capacity Flexibility) ของโครงข่ายการคมนาคม โดยแนวคิดดังกล่าวจะถูกกล่าวถึงเพื่ออธิบายหลักการพิจารณาในหัวข้อถัดไป

2.3 แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง

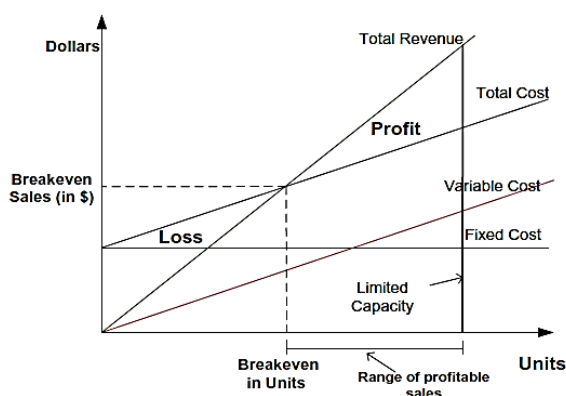
จากพจนานุกรมของเว็บสเตอร์ได้ให้ความหมายของคำว่า ความยืดหยุ่น (Flexibility) ไว้ว่าเป็นความสามารถในการดัดแปลงหรือปรับเปลี่ยนบางสิ่งบางอย่างให้แตกต่างไปจากเดิม ทั้งนี้ ยังรวมถึงความสามารถในการปรับตัว ด้านทาน หรือรับมือกับความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต (Merriam-Webster, 2000)

จากการศึกษาด้านการจัดการขนส่ง (Transportation Management) พบว่า ความไม่แน่นอนซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เริ่มถูกนำมาพิจารณาสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่หลายฝ่ายไม่สามารถมองข้ามไปได้ เช่นเดียวกับ ความยืดหยุ่น ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากที่ช่วยให้ระบบสามารถปรับตัวให้พร้อมต่อการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของปริมาณความต้องการใช้จราจร อันเป็นผลมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม ในขณะที่โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายไม่ได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายเพิ่มสูงขึ้นจนเกือบถึงระดับความจุของโครงข่าย ความแออัดและติดขัดของการจราจรจึงเกิดขึ้น

ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง (Network Capacity Flexibility) จึงถูกหยิบยกขึ้นมาศึกษา เพื่อใช้อธิบายคุณลักษณะด้านความจุของโครงข่ายและด้านการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความต้องการใช้โครงข่าย (Demand Changes) หรืออาจกล่าวได้ว่าความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งนั้นถูกนำมาใช้สำหรับประเมินความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความต้องการใช้โครงข่าย ซึ่งจะครอบคลุมถึงปัจจัยสำคัญ ดังต่อไปนี้

- 1) ปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายการขนส่งในภาพรวม
- 2) รูปแบบการสัญจรของแต่ละเส้นทางภายในโครงข่ายการขนส่ง เช่น การเปลี่ยนเส้นทางจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง ภายใต้อุปสรรคด้านทิศทางและจุดปลายทางเดียวกัน

ทั้งนี้ Morlok and Chang (2004: 2) ได้ให้ความหมายของคำว่า ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าไว้ว่าเป็นความสามารถของระบบขนส่งที่รองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ปริมาณจราจร ในขณะที่ระบบยังคงรักษาไว้ซึ่งระดับการให้บริการเดิม ซึ่งหลักการพิจารณาความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายนั้น ได้ทำการประยุกต์ใช้แนวคิดของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Analysis) ในสาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ สำหรับการหาช่วงปริมาณการขายสินค้าที่สามารถสร้างผลกำไรได้เมื่อต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่ความต้องการสินค้ามีความไม่แน่นอน



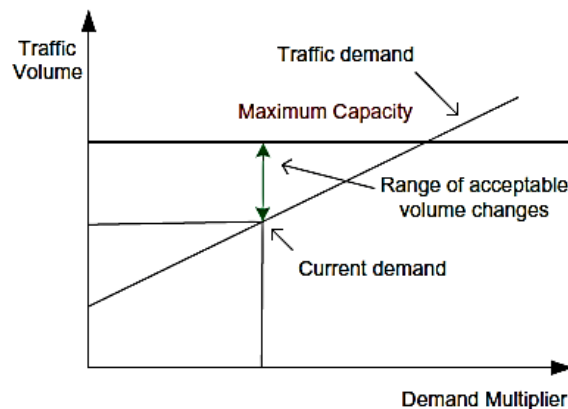
ภาพที่ 2.12 แนวคิดของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Point)

แหล่งที่มา: Chen and Kasikitwiwat, 2011.

จากภาพที่ 2.12 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Point) จะเป็นการพิจารณาระดับต่ำสุดของระบบที่สามารถสร้างผลกำไรได้กับการขายสินค้าได้ โดยจุดดังกล่าวจะเป็นจุดที่มีรายได้รวม (Total Revenue) เท่ากับต้นทุนรวม (Total Cost) หรือกล่าวได้ว่า จุดดังกล่าวเป็นจุดตัดของเส้นกราฟต้นทุนรวมกับเส้นกราฟรายได้รวมนั่นเอง ทั้งนี้ ความยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นจากการขายสินค้าจะอยู่ในช่วงที่มีปริมาณการขายสินค้าสามารถสร้างผลกำไรได้ (Range of Profitable Sales) หรือเป็นช่วงของความแตกต่างระหว่างปริมาณสินค้าทั้งหมดที่บริษัทผลิตได้ (Limited Capacity Line) กับปริมาณสินค้าที่ขายได้ ณ ตำแหน่งของจุดคุ้มทุน

สำหรับช่วงของความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายนั้น จะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ปริมาณจราจรที่โครงข่ายสามารถยอมรับระดับคุณลักษณะนั้นได้ ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายจราจรสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในมิติเชิงปริมาณของการสัญจร (Flow) และแบบแผนของอุปสงค์ (O-D Pattern) ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายจราจรอันเกิดจากเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของโครงข่ายเพียงปัจจัยเดียว สามารถใช้แนวคิดของการประเมินความจุสำรอง (Reserved Capacity) มาประกอบการพิจารณาได้ซึ่งผลจากการประเมินด้วยแนวคิดดังกล่าวจะสะท้อนให้เห็นถึงความยืดหยุ่นที่โครงข่ายสามารถยอมรับได้ โดยจะอยู่ในช่วงของความแตกต่างระหว่างระดับความจุที่มากที่สุดของโครงข่าย (Maximum Capacity) กับปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายจราจรที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน (Current Demand) แสดงดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุโดยใช้แนวคิดการประเมินความจุสำรอง
แหล่งที่มา: Chen and Kasikitwiwat, 2011.

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้า ได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

Cho (2002) ได้ริเริ่มทำการศึกษาภาพรวมด้านความยืดหยุ่นของระบบการขนส่งสินค้าผ่าน 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ คุณลักษณะของโครงข่าย (Performance) ต้นทุนการดำเนินงาน (Operation Cost) และการออกแบบโครงข่าย (Network Design) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การศึกษาภาพรวมของการประเมินความยืดหยุ่นของระบบการขนส่งสินค้าในด้านคุณลักษณะของโครงข่าย (Overall Performance Flexibility of Transportation System) ที่เขาได้ทำการศึกษาและพบว่า การวิเคราะห์ประเด็นดังกล่าวจำเป็นต้องถูกกำหนดด้วยปัจจัยที่มีความสำคัญ อันประกอบด้วย

1) ความจุภายในระบบ (System Capacity)

2) ความเชื่อมโยงระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทาง (Origin-Destination Connectivity)

3) ระยะเวลาในการเดินทาง

ผลการศึกษาที่ส่งผลให้ปัจจัยทั้ง 3 เข้ามามีบทบาทในการถูกใช้เป็นตัวชี้วัดความยืดหยุ่นด้านความจุของระบบการขนส่งสินค้า

Morlok and Chang (2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของระบบการขนส่งสินค้าผ่านคู่สินค้าทางราง โดยทำการคำนวณความจุสูงสุดของระบบ ซึ่งเป็นปริมาณจราจรของยานพาหนะที่มากที่สุดที่ระบบสามารถรองรับได้ แล้วทำการประเมินความยืดหยุ่นใน 2 ประเด็น คือ 1) ช่วงของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้โครงข่ายขนส่งที่ยังไม่เกินความจุของระบบ เมื่อกำหนดรูปแบบการเลือกเส้นทางเดินทางไว้แน่นอนแล้ว 2) ปริมาณการใช้โครงข่ายที่ระบบยอมรับได้ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลือกเส้นทางเดินทาง

Sun, Turnquist and Nozick (2006) ได้ทำการขยายงานวิจัยของ Morlok and Chang (2004) โดยพัฒนาแนวคิดใน 3 ประเด็นคือ 1) แนวคิดการปรับปรุงความไม่แน่นอนของรูปแบบการเลือกเส้นทางเดินทางในอนาคต 2) แนวคิดการผสานรวมกันของ Volume-delay Function เพื่อใช้อธิบายผลกระทบของความแออัดและเงื่อนไขของระดับการให้บริการ และ 3) แนวคิดการเลือกใช้ขั้นตอน Probit-based Stochastic Traffic Assignment เพื่อพัฒนาให้การเลือกเส้นทางที่สะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ได้ดีขึ้น

Chen and Kasakitwiwat (2011) ได้ทำการศึกษาความยืดหยุ่นของระบบการขนส่งผู้โดยสารผ่านการวัดและประเมินในเชิงปริมาณด้วยตัวแบบ 2 ระดับสำหรับวัดความจุของระบบ (Bi-level Model) โดยการพิจารณาปัญหาในระดับบนจะเป็นการพิจารณาความจุสำรองของระบบร่วมกับการพิจารณาปัญหาระดับล่างซึ่งเป็นการพิจารณาพฤติกรรมของผู้เดินทางตามหลักของจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) จากตัวแบบทั้ง 2 ตัวแบบ ได้ถูกพัฒนาเป็น 2 ประเภทของการประเมินความจุ คือ การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุในภาพรวม (Total Capacity Flexibility) ซึ่งเป็นการประเมินความจุด้านความยืดหยุ่นของโครงข่ายที่ยอมรับการเดินทางที่ผู้เดินทางสามารถเลือกเส้นทาง (Route Choice) และจุดหมายปลายทาง (Destination Choice) ได้ ในส่วนของการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุแบบจำกัด (Limited Capacity Flexibility) จะเป็นการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายเพื่อจะคำนวณหาว่ายังพอมีความต้องการเดินทางมากเท่าไร ที่สามารถเพิ่มเข้าไปในโครงข่ายได้โดยที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทาง

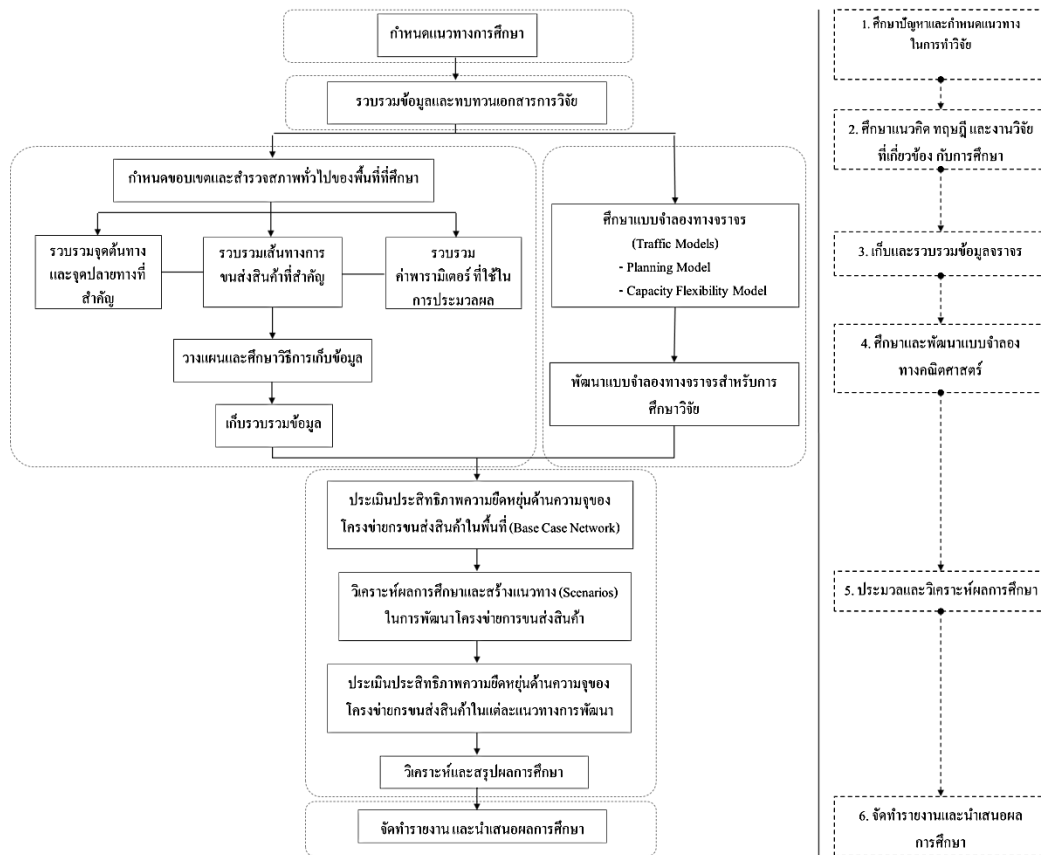
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพของความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าบริเวณภาคตะวันออก ซึ่งสามารถนำผลการประเมินที่ได้รับมาจัดทำแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาโครงข่ายการขนส่งสินค้า อันเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการขนส่งสินค้าระหว่างนิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือสำคัญในพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- 3.1 ศึกษาปัญหาและกำหนดแนวทางในการทำวิจัย
- 3.2 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา
- 3.3 เก็บและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
- 3.4 ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 3.5 ประมวลผลและวิเคราะห์ผลการศึกษา
- 3.6 จัดทำรายงานและเสนอผลการศึกษา

โดยจากภาพที่ 3.1 ซึ่งแสดงแผนผังในการดำเนินงานศึกษาวิจัย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของขั้นตอนการดำเนินงานในภาพรวมตั้งแต่ขั้นตอนแรก คือ การศึกษาปัญหาและกำหนดแนวทางในการทำวิจัย ซึ่งขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการกำหนดแนวทางการศึกษา รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ของการเก็บรวบรวมข้อมูลลำดับต่อมาในขั้นตอนที่สอง ผู้วิจัยจะทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาทั้งในด้านการเก็บข้อมูลและการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองจราจร หลังจากนั้นผู้วิจัยจะทำการวางแผนการเก็บข้อมูลและเริ่มทำการเก็บข้อมูลในขั้นตอนถัดไป ทั้งนี้ ในขั้นตอนการเก็บและรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองควบคู่กันไปเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลและวิเคราะห์ผลการศึกษา โดยจะเริ่มทำการประเมินความจุของเหลือของโครงข่ายทางหลวงในปัจจุบันก่อน เพื่อศึกษาหาเส้นทางคอขวด หลังจากทราบเส้นทางที่เป็นปัญหาคอขวดแล้ว ผู้วิจัยจะวางแผนและกำหนดโครงการสำหรับการพัฒนาโครงข่าย และทำการประเมินความจุสำรองอีกครั้งเพื่อหาแผนการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด



ภาพที่ 3.1 การดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนของการศึกษา

3.1 การศึกษาปัญหาและกำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานในขั้นตอนแรกนี้ ผู้วิจัยได้เริ่มดำเนินการศึกษาปัญหาทางด้านการขนส่งสินค้าในพื้นที่ศึกษา ซึ่งพิจารณาโดยการบูรณาการความรู้ ทักษะ และความสามารถที่มีของผู้วิจัย เชื่อมโยงเข้ากับปัญหาที่พบเจอ แล้วทำการพิจารณาแนวทางในการแก้ไขปัญหา นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้คำนึงถึงแหล่งที่มาและวิธีการเก็บข้อมูล ข้อจำกัด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการพิจารณาและประเมินความเป็นไปได้ในการทำการศึกษาวิจัย ภายหลังจากการกำหนดปัญหาสำหรับการดำเนินงานแล้ว ผู้วิจัยจะทำการสร้างแนวทางและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย โดยทำการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดความสำเร็จจากการดำเนินการศึกษาวิจัย และได้ทำการเก็บรวบรวมและศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเพิ่มเติม ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษาในขั้นตอนถัดไป

3.2 การศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

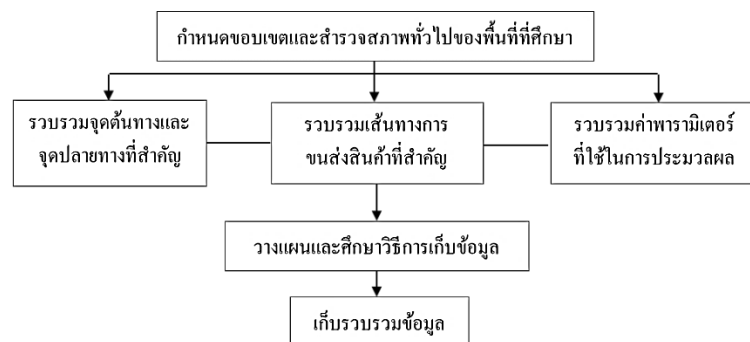
ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้า ศึกษาและทบทวนแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาที่ผู้วิจัยต้องการจะหาคำตอบอย่างละเอียด โดยการศึกษาข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทั้งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ที่มีความสำคัญต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เช่น

- 1) แนวคิดเรื่องการวางแผนการขนส่งสินค้า (Freight Transportation Planning)
- 2) แนวคิดเรื่องจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium)
- 3) แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความจุของโครงข่ายการขนส่ง (Network Capacity)
- 4) แนวคิดเกี่ยวกับการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง

จากนั้น ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้รับจากการเก็บรวบรวมแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมถึงรวบรวมผลงานทางวิชาการที่นักวิจัยท่านอื่นๆ ได้ทำการศึกษามาแล้วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มาเขียนข้อสรุปลงในส่วนของบทที่ 2 เรื่องแนวคิด ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เพื่อนำมาใช้อธิบายวิธีการดำเนินงานและกำหนดแนวทางในการทำวิจัยต่อไป

3.3 งานสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการจราจรและขนส่ง

ภายหลังจากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาแล้ว ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้รับจากการศึกษาในส่วนดังกล่าวมาบูรณาการและประยุกต์ใช้กับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยในส่วนของงานสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการจราจรและขนส่งนั้น ผู้วิจัยจะทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่ แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รายละเอียดการเก็บและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพโครงข่ายการขนส่งสินค้า

จากภาพที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่า ผู้วิจัยได้แบ่งการเก็บและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย

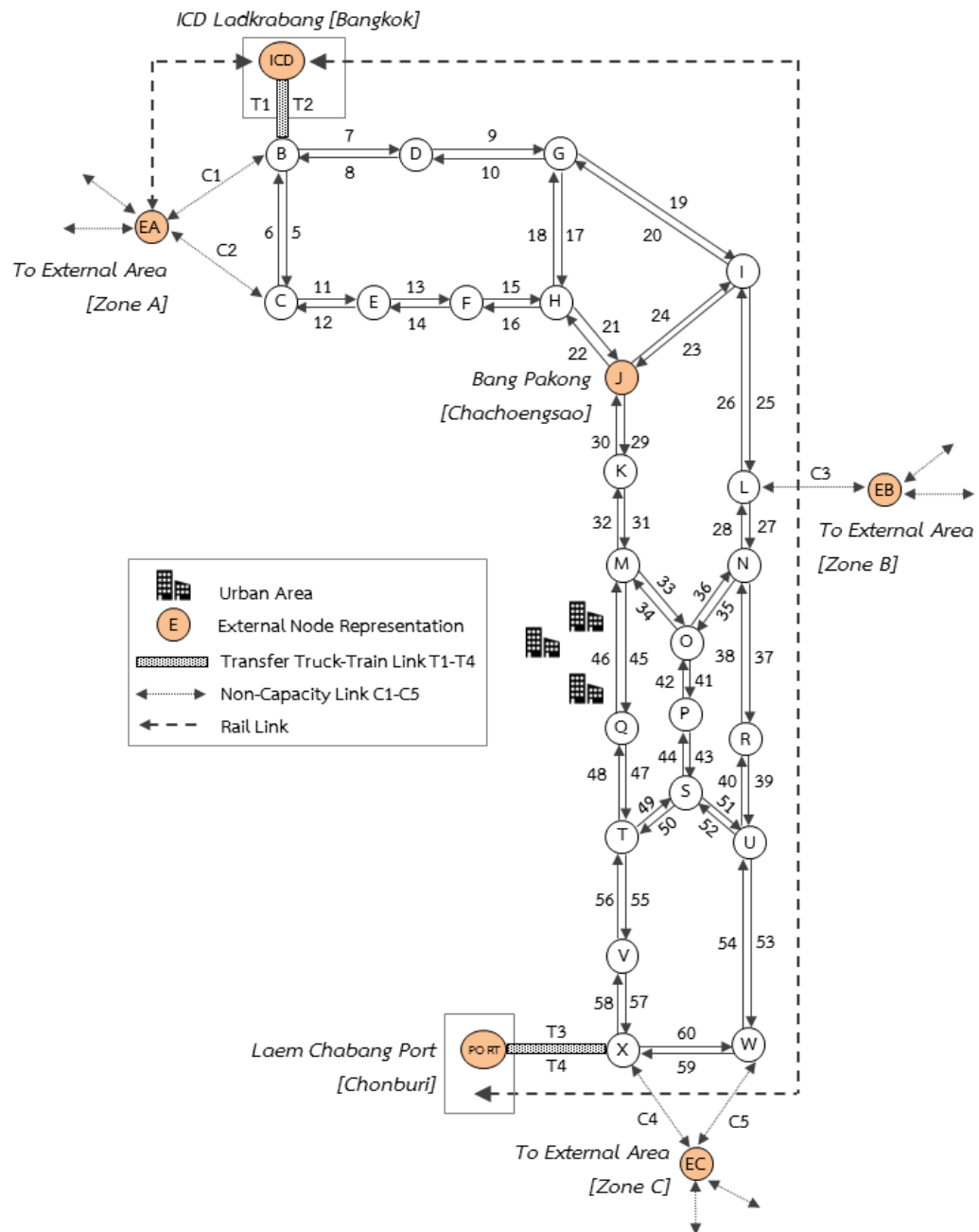
- 1) การเก็บและรวบรวมข้อมูลคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางที่มีความสำคัญต่อโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่
- 2) การเก็บและรวบรวมข้อมูลของเส้นทางการสัญจรหลักของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่
- 3) การรวบรวมและประมวลผลข้อมูลเพื่อใช้เป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัย

ทั้งนี้ ในแต่ละหัวข้อยังได้กล่าวถึงการเก็บและรวบรวมข้อมูลทุกข้อมูมิ รวมถึงการสำรวจข้อมูลปฐมภูมิที่ผู้วิจัยเลือกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

3.4 โครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาคตะวันออก

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างโครงข่ายการขนส่งอย่างง่าย (Simplified Transportation Network) สำหรับใช้ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรแทนโครงข่ายการขนส่งสินค้าในภาคตะวันออกโดยโครงข่ายการขนส่งอย่างง่ายนี้จะเน้นวิเคราะห์ปริมาณจราจรในบริเวณที่มีจุด Logistic Nodes อยู่เป็นจำนวนมาก นั่นคือ พื้นที่บริเวณทิศตะวันตกของภูมิภาค ซึ่งส่วนใหญ่คือพื้นที่ในจังหวัดชลบุรี แล้วทำการพิจารณาและวิเคราะห์ร่วมกันทั้งโครงข่ายการขนส่งทางหลวงหลักและโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางรถรถไฟทั้งนี้ สำหรับโครงข่ายการขนส่งสินค้าทางรถไฟนั้นผู้วิจัยจะทำการพิจารณาเฉพาะการขนส่งสินค้าทางรถไฟบนเส้นทางระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบัง (ICD) กับท่าเรืออุตสาหกรรมแหลมฉบัง เท่านั้น และเส้นทางดังกล่าวเป็นการขนส่งสินค้าในลักษณะที่เป็นการขนส่งโดยตรง (Direct Line Transportation) ไม่มีสถานีหยุดรถระหว่างการเดินทาง ดังแสดงในภาพที่ 3.3

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พิจารณากำหนดจุดต้นทางและจุดปลายทาง (Origin - Destination Nodes) ไว้สำหรับการวิเคราะห์การเกิดปริมาณจราจร (Production Demand) และการดึงดูดปริมาณจราจร (Attraction Demand) ของโครงข่ายอย่างง่าย รวมทั้งสิ้น 6 จุด โดยแบ่งประเภทของจุดดังกล่าวออกเป็น 2 ประเภท คือ จุดภายในพื้นที่ (Internal Nodes) จำนวน 3 จุด และจุดภายนอกพื้นที่ (External Nodes) ซึ่งเป็นจุดที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อใช้แทนพื้นที่ในตำแหน่งอื่นๆที่อยู่ภายนอกพื้นที่การศึกษา มีทั้งสิ้น 3 จุด โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทั้งนี้ ผู้วิจัยยังได้แสดงรายละเอียดประเภทของเส้นทาง (Link) ภายในโครงข่ายการขนส่งที่ศึกษาไว้ดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.3 โครงข่ายการขนส่งอย่างง่าย (Simplified Transportation Network)

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดจุดต้นทางและปลายทาง (Origin - Destination Nodes)

จุดต้นทาง/ปลายทาง	ชื่อจุด	รายละเอียด
จุด EA	To external area [Zone A]	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณจราจรจากจุดต้นทางและจุดปลายทางที่อยู่บริเวณ นอกพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่จังหวัดกรุงเทพฯและปริมณฑล พื้นที่ภาคกลาง พื้นที่ภาคเหนือและพื้นที่ภาคใต้
จุด ICD	ICD Ladkrabang [Bangkok]	เป็นจุดแทนปริมาณจราจรเข้าและออกพื้นที่สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบัง (ICD) ทั้งนี้ยังเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างรถไฟและรถบรรทุกด้วย (Transfer Truck-Train Nodes) นอกจากนี้ยังรวมถึงปริมาณจราจรบริเวณพื้นที่เขตลาดกระบังและนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วย
จุด J	Bang Pakong [Chachoengsao]	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณจราจรจากกลุ่ม Logistics Node บริเวณอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณจราจรในเขตพื้นที่อำเภอบางปะกง โรงงาน Toyota บ้านโพธิ์ และนิคมอุตสาหกรรม TFD
จุด EB	To external area [Zone B]	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณจราจรจากจุดต้นทางและจุดปลายทางที่อยู่บริเวณ นอกพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือพื้นที่ จังหวัดสระแก้วและพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี
จุด PORT	Laem Chabang Port [Chonburi]	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณจราจรจากนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังและท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี
จุด EC	To external area [Zone C]	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณจราจรจากจุดต้นทางและจุดปลายทางที่อยู่บริเวณ นอกพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่จังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดและจำนวนเส้นทาง (Link) ในโครงข่ายการขนส่งสินค้าที่ศึกษา

ประเภทเส้นทาง	จำนวน	รายละเอียด
Regular Link	56 Links	เป็นเส้นทางที่เชื่อมระหว่างจุด (Node) ทั่วไปในโครงข่ายการขนส่งสินค้าที่ศึกษา โดยเส้นทางประเภทนี้จะต้องมีการระบุข้อมูลระยะทาง จำนวนช่องทาง ความจุของเส้นทาง และระยะเวลาการเดินทางแบบอิสระ (Free-flow Travel Time)
Transfer Link (Link T)	4 Links	เป็นเส้นเชื่อมสำหรับใช้แทนระยะเวลาโอนถ่ายสินค้าในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งระหว่างรถไฟและรถบรรทุกซึ่งในโครงข่ายการขนส่งที่ศึกษานี้จะอยู่บริเวณสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบัง (ICD) และท่าเรือแหลมฉบัง
Centroid Link (Link C)	5 Links	เป็นเส้นเชื่อมที่สมมติขึ้นมา เพื่อใช้กระจายปริมาณจราจรจากภายนอกโครงข่ายเข้าและออกพื้นที่ โดยจะไม่มีกำหนดระยะทาง ความจุของเส้นทาง และระยะเวลาในการเดินทางในเส้นเชื่อมประเภทนี้
Rail Link	1 Links	เป็นเส้นเชื่อมที่ใช้แทนเส้นทางของการขนส่งทางรางระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบัง (ICD) กับท่าเรือแหลมฉบัง โดยเส้นทางนี้จะเป็นการขนส่งสินค้าทางรางโดยตรง ไม่แวะจอดพักที่สถานีใดๆภายในพื้นที่

3.5 ผลการเก็บและรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจร

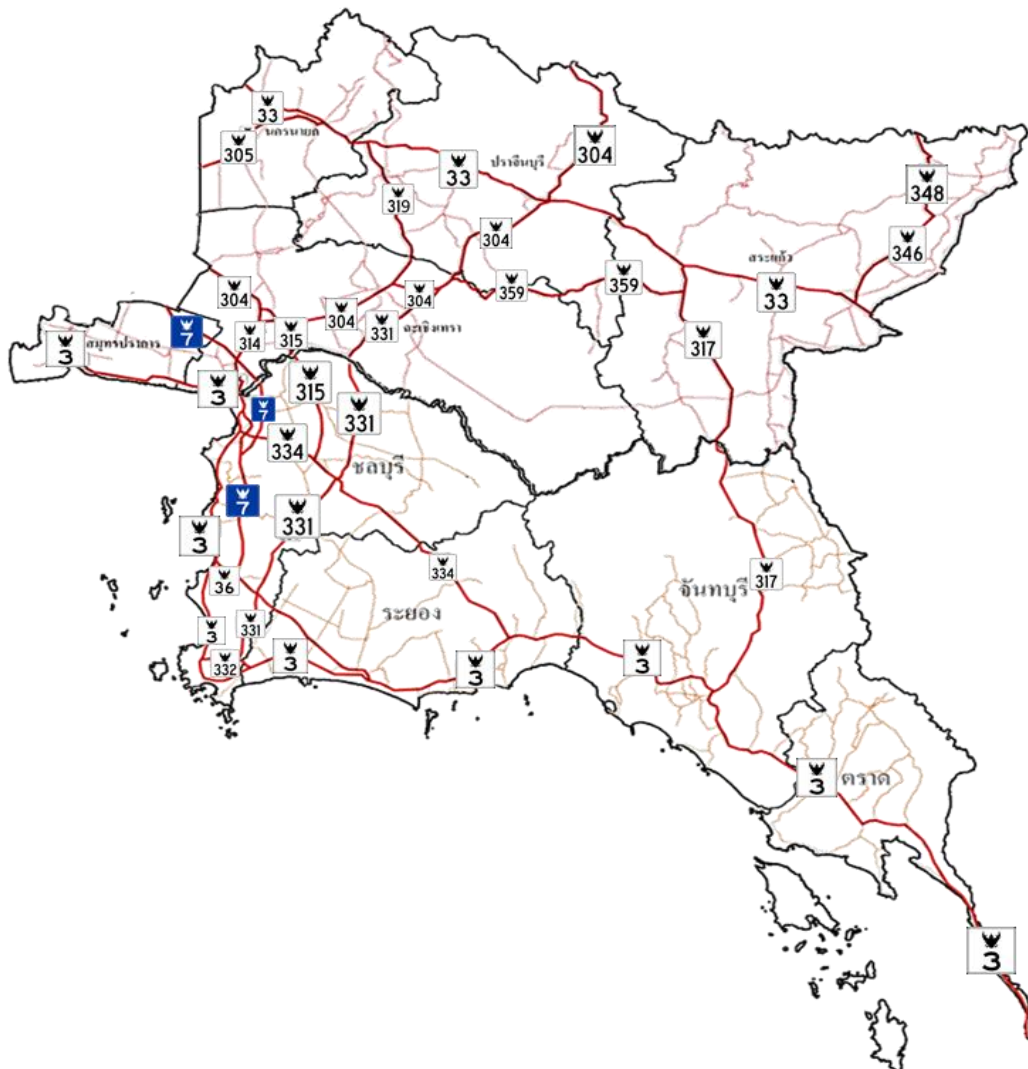
ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลด้านการจราจรและขนส่งที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลเชิงสถิติและฐานข้อมูลจราจร

ใช้สำหรับอธิบายคุณลักษณะต่างๆของเส้นทางนั้นๆ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งหรือในหลายๆช่วงเวลา เช่น ข้อมูลสถิติด้านปริมาณจราจรในแต่ละเส้นทาง ข้อมูลด้านระยะทางและจำนวนช่องทางในแต่ละเส้นทาง เป็นต้น

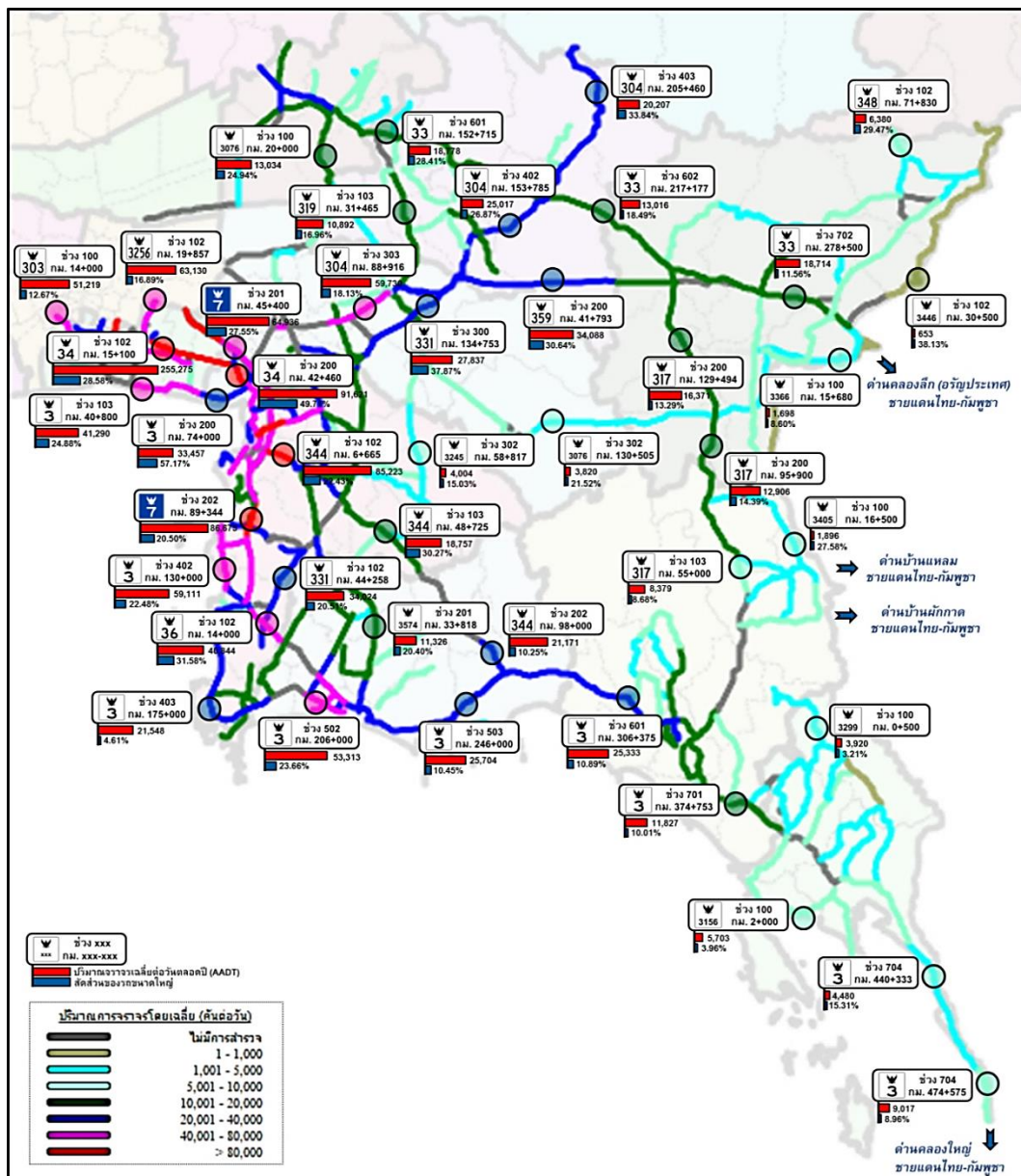
2) ข้อมูลโครงข่ายทางหลวงในพื้นที่ศึกษา

ใช้สำหรับการศึกษาเรื่องความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยโครงข่ายทางหลวงหลายระดับ เช่น ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (ทางหลวงพิเศษ หมายเลข 7) ทางหลวงแผ่นดินสายประธานที่เชื่อมโยงระหว่างภาค (ทางหลวงหมายเลข 3) ทางหลวงแผ่นดินสายประธานภายในภาค (ทางหลวงหมายเลข 33 34 และ 36) และทางหลวงสายรอง (ทางหลวง หมายเลข 304 305 314 315 317 และ 331) แสดงดังภาพที่ 3.4 ทั้งนี้ ยังรวมถึงข้อมูลด้านระยะทาง จำนวน ช่องทาง และความจุของเส้นทางด้วย



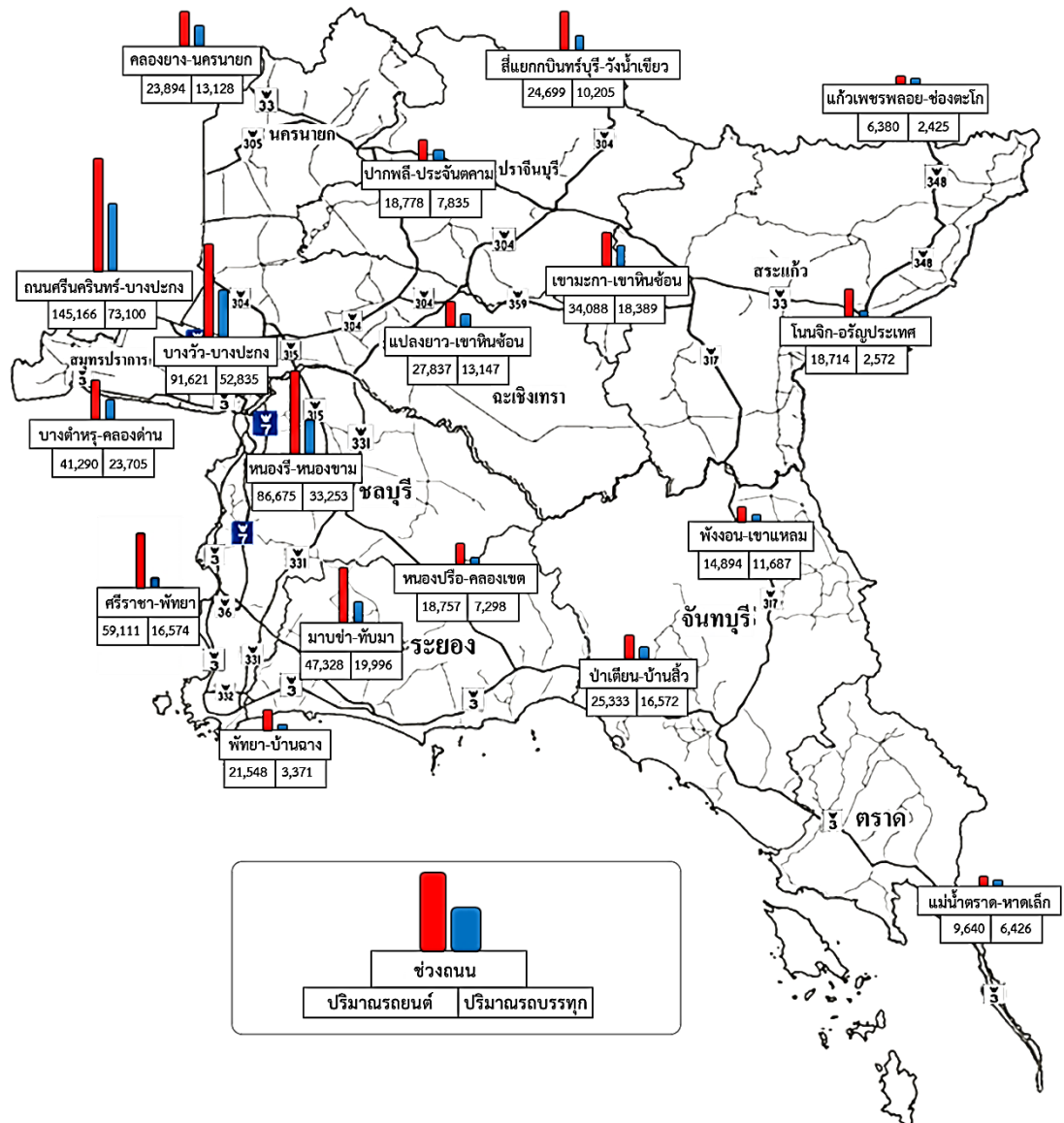
ภาพที่ 3.4 โครงข่ายทางหลวงหลักในพื้นที่ภาคตะวันออก

ทั้งนี้ ผู้วิจัยยังได้รวบรวมข้อมูลด้านการจราจรบนโครงข่ายทางหลวงเพื่อให้เข้าใจถึงสภาพการจราจรในพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลนี้เป็นข้อมูลที่แสดงปริมาณจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (Annual Average Daily Traffic; AADT) ที่สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ได้ดำเนินการสำรวจเป็นประจำทุกปี ข้อมูลที่ได้จะจำแนกตามประเภทของยานพาหนะบนทางหลวงในแต่ละช่วงทางหลวงควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 3.5 และภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 แผนที่แสดงปริมาณจราจรในภาพรวมเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT) พ.ศ. 2558

แหล่งที่มา: กรมทางหลวง. สำนักบริหารบำรุงทาง, 2558.



ทางหลวง	ช่วงถนน	ปริมาณรถยนต์	ปริมาณรถบรรทุก	ทางหลวง	ช่วงถนน	ปริมาณรถยนต์	ปริมาณรถบรรทุก
3	บางตำรุ - คลองด่าน	41,290 คัน/วัน	23,705 คัน/วัน	317	พังงอน - เขาแหลม	14,894 คัน/วัน	11,687 คัน/วัน
3	ศรีราชา - พัทยา	59,111 คัน/วัน	16,574 คัน/วัน	33	โนนจิก - อรัญประเทศ	18,714 คัน/วัน	2,572 คัน/วัน
3	พัทยา - บ้านฉาง	21,548 คัน/วัน	3,371 คัน/วัน	33	ปากพลี - ประจันตคาม	18,778 คัน/วัน	7,835 คัน/วัน
3	แม่น้ำตราด - หาดเล็ก	9,640 คัน/วัน	6,426 คัน/วัน	33	คลองยาง - นครนายก	23,894 คัน/วัน	13,128 คัน/วัน
3	ป่าเตียน - บ้านสัว	25,333 คัน/วัน	16,572 คัน/วัน	359	เขามะกา - เขาคันทรง	34,088 คัน/วัน	18,389 คัน/วัน
34	บางวัว - บางปะกง	91,621 คัน/วัน	52,835 คัน/วัน	331	แปลงยาว - เขาคันทรง	27,837 คัน/วัน	13,147 คัน/วัน
7	ถนนศรีนครินทร์ - บางปะกง	145,166 คัน/วัน	73,100 คัน/วัน	304	สี่แยกกบินทร์บุรี - วังน้ำเขียว	24,699 คัน/วัน	10,205 คัน/วัน
7	หนองรี - หนองขาม	86,675 คัน/วัน	33,253 คัน/วัน	344	หนองปรือ - คลองเขต	18,757 คัน/วัน	7,298 คัน/วัน
36	มาบข่า - ทับมา	47,328 คัน/วัน	19,996 คัน/วัน	348	แก้งเพราพลอย - ช้องตะโก	6,380 คัน/วัน	2,425 คัน/วัน

ภาพที่ 3.6 สัดส่วนของรถยนต์และรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันตลอดปี(AADT) พ.ศ. 2558

แหล่งที่มา: กรมทางหลวง. สำนักบริหารบำรุงทาง, 2558.

หลังจากทราบปริมาณจราจรในแต่ละเส้นทางแล้ว ผู้วิจัยจะต้องนำข้อมูลปริมาณจราจรดังกล่าวมาแปลงหน่วยนับให้เทียบเท่ากับยานพาหนะประเภทเดียวกัน เนื่องจากยานพาหนะที่สัญจรอยู่บนถนนทั่วไปนั้น มีขนาดและประเภทที่หลากหลาย ส่งผลให้สภาพจราจรและการใช้พื้นที่ถนนแตกต่างกัน โดยหลักการแปลงหน่วยนั้นจะใช้ยานพาหนะประเภทรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลเป็นเกณฑ์ หรือเรียกว่า หน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU) โดยตัวคูณเพื่อใช้สำหรับแปลงค่า PCU แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 หน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit: PCU)

ประเภทของยานพาหนะ	PCU
รถจักรยานยนต์	0.33
รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	1.00
รถยนต์นั่งเกิน 7 คน	1.00
รถบรรทุกเล็ก 4 ล้อ	1.00
รถโดยสารขนาดเล็ก	1.50
รถโดยสารขนาดกลาง	1.50
รถบรรทุกกลาง 6 ล้อ	2.10
รถโดยสารขนาดใหญ่	2.10
รถบรรทุก 10 ล้อ	2.50
รถบรรทุกพ่วง	2.50
รถบรรทุกกึ่งพ่วง	2.50

แหล่งที่มา: กรมทางหลวง, 2559.

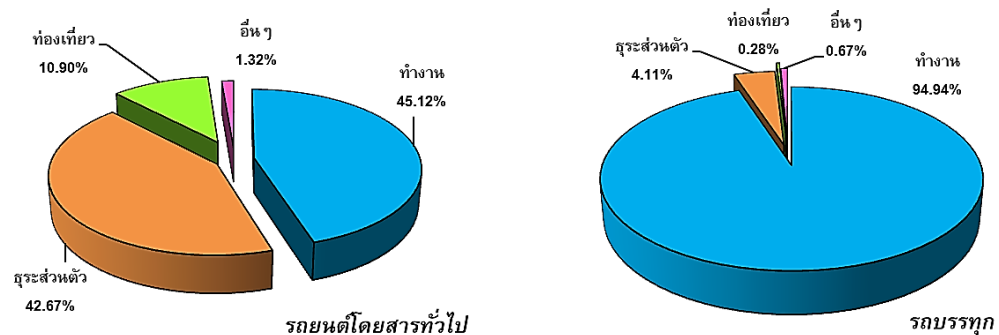
3.6 ผลการสำรวจข้อมูลจุดต้นทาง-ปลายทาง

การสำรวจข้อมูลจุดต้นทาง-ปลายทาง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะและพฤติกรรมของการเดินทาง โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจุดต้นทางและจุดปลายทางของการเดินทาง (Origin-Destination) จากการศึกษาของกรมทางหลวง เรื่อง “การประเมินความน่าเชื่อถือและความยืดหยุ่นความจุของโครงข่ายทางหลวงเพื่อรองรับการขนส่งสินค้าของพื้นที่ภาคตะวันออก” ซึ่งได้ทำการสำรวจจุดต้นทางและจุดปลายทางของการเดินทางเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ตั้งแต่ 7.00 น. ถึง 19.00 น.)

โดยได้เก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เดินทางบนถนนทั้ง 2 ทิศทาง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังกล่าวจะครอบคลุมการเดินทางของผู้สัญจรด้วยยานพาหนะส่วนบุคคล (Passenger) และรถบรรทุกสินค้า (Freight) ทั้งนี้ คณะผู้จัดทำโครงการการศึกษาหัวข้อดังกล่าวได้นำผลการสำรวจข้อมูลไปปรับปรุงและประมวลผลร่วมกับฐานข้อมูลแบบจำลองจราจร โดยมีการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์จราจร (Traffic Analysis Zones; TAZs) ออกเป็นพื้นที่ในระดับอำเภอจำนวน 926 พื้นที่ย่อย (876 อำเภอใน 76 จังหวัด และ 50 เขตในกรุงเทพมหานคร) นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลพื้นที่ย่อยอื่นมาประกอบการพิจารณาอีก ได้แก่ ด้านชายแดนจำนวน 26 ด้าน นิคมอุตสาหกรรมจำนวน 47 แห่ง ท่าเรือสินค้าจำนวน 6 แห่ง และเขตเศรษฐกิจพิเศษจำนวน 14 แห่ง โดยจะแสดงรายละเอียดพื้นที่ย่อยไว้ในส่วนของภาคผนวก ก ทั้งนี้ หลังจากการสำรวจข้อมูลและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ สามารถสรุปโดยจำแนกตามหัวข้อได้ดังนี้

3.6.1 วัตถุประสงค์ในการเดินทาง

การสำรวจข้อมูลวัตถุประสงค์ของการเดินทางของผู้เดินทางด้วยรถยนต์โดยสารทั่วไป พบว่า ส่วนใหญ่ผู้สัญจรมักเดินทางไปทำงานมากที่สุด รองลงมาคือเดินทางไปทำธุระส่วนตัว คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 45.12 และร้อยละ 42.67 ตามลำดับ ในส่วนของผู้เดินทางด้วยรถบรรทุก พบว่า ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดมีจุดประสงค์เพื่อไปทำงาน (ขนส่งสินค้า) โดยมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 94.94 ของผู้เดินทางด้วยรถบรรทุกทั้งหมด ทั้งนี้ สามารถสรุปข้อมูลได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 สัดส่วนวัตถุประสงค์ของการเดินทาง

แหล่งที่มา: กรมทางหลวง, 2559.

3.6.2 ประเภทสินค้า (เฉพาะกรณีรถขนส่งสินค้า)

ผลการสำรวจประเภทสินค้าที่ขนส่งด้วยรถบรรทุกในพื้นที่ในภาพรวม พบว่า รถบรรทุกส่วนใหญ่นิยมขนส่งสินค้าประเภทสินค้าอุตสาหกรรมและสินค้าแปรรูปคิดเป็นร้อยละ 47.65 รองลงมาคือ สินค้าประเภทวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง โดยคิดเป็นร้อยละ 33.56 ทั้งนี้ สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.4

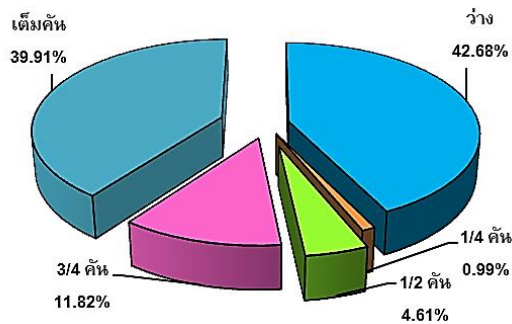
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลสัดส่วนของประเภทสินค้าที่ขนส่งจำแนกตามประเภทยานพาหนะ

ประเภทของยานพาหนะ	สัดส่วนของประเภทสินค้าที่ขนส่ง (ร้อยละ)				รวม
	สินค้า	วัสดุและ	สินค้า	อื่นๆ	
	การเกษตร	อุปกรณ์	อุตสาหกรรม		
	และประมง	การก่อสร้าง	และแปรรูป		
รถบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ	27.44	19.67	45.11	7.77	100.00
รถบรรทุกขนาดกลาง 6 ล้อ	12.45	29.18	52.24	6.12	100.00
รถบรรทุกขนาดใหญ่ 10 ล้อ	14.26	37.59	46.26	1.89	100.00
รถบรรทุกพ่วง/กึ่งพ่วง	12.84	36.59	48.05	2.51	100.00
รวมทุกประเภท	15.27	33.56	47.65	3.51	100.00

แหล่งที่มา: กรมทางหลวง, 2559.

3.6.3 น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยต่อยานพาหนะ (เฉพาะกรณีรถขนส่งสินค้า)

ผลการสำรวจน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยต่อยานพาหนะในพื้นที่ พบว่า การบรรทุกน้ำหนักของรถบรรทุกแบบเต็มคัน (Full Truck Load) มีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณการบรรทุกรถเปล่า (Empty Load) โดยคิดเป็นร้อยละ 39.91 และร้อยละ 42.68 ตามลำดับ รองลงมาคือจำนวนรถบรรทุกที่บรรทุกสินค้าในสัดส่วน 3 ใน 4 ของคันคิดเป็นร้อยละ 11.82 และมีปริมาณรถบรรทุกที่บรรทุกสินค้าครึ่งคันคิดเป็นร้อยละ 4.61 ทั้งนี้ สามารถสรุปข้อมูลน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยต่อยานพาหนะได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 สัดส่วนการกระจายน้ำหนักรถบรรทุกในภาพรวม

แหล่งที่มา: กรมทางหลวง, 2559.

3.7 แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่าย

ข้อดีที่เห็นได้ชัดที่สุดของการวิเคราะห์ความจุของโครงข่ายการขนส่งทางถนน (Network Capacity) คือสามารถทำให้นักวางแผนทราบถึงปัญหาความเพียงพอของระดับความจุทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาและทราบถึงปัญหาคอขวด (Bottleneck) ในบริเวณที่อาจส่งผลให้การเดินทางในพื้นที่เกิดความติดขัดต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ นักวางแผนนำปัญหาดังกล่าวไปแก้ไขปัญหาคอขวดของโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการพัฒนาโครงข่ายแบบแยกส่วนเฉพาะพื้นที่ ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้เดินทางหันมาใช้เส้นทางที่พัฒนาแล้วเพิ่มมากขึ้นจนเกิดเป็นเส้นทางคอขวดขึ้นม่อีกหนึ่งจุด ทำให้ปัญหาคอขวดยังคงอยู่ในพื้นที่เดิม

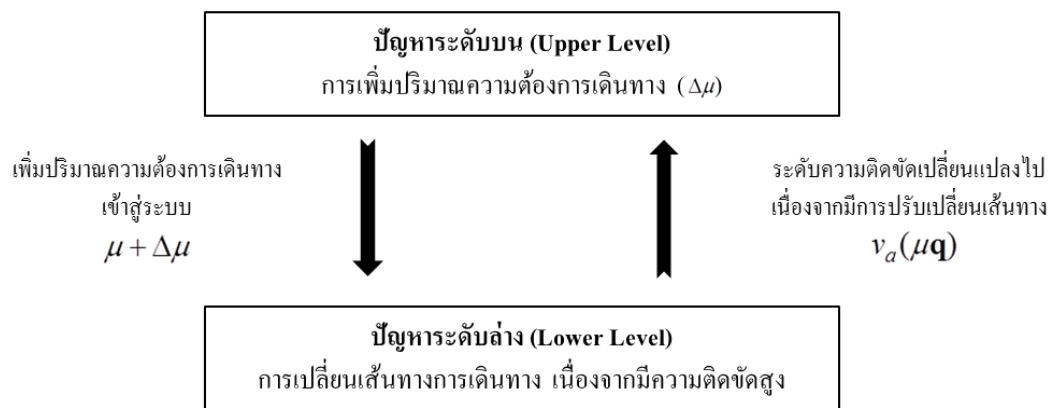
การศึกษาความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย จึงกระบวนกรสำคัญที่จะช่วยเกิดการวางแผนการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงในลักษณะเป็นองค์รวม ทั้งนี้ การประเมินประสิทธิภาพดังกล่าว จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองพฤติกรรมของผู้เดินทาง โดยแบ่งกลุ่มของแบบจำลองออกเป็น 2 ระดับ (Bi-Level Programming) ดังภาพที่ 3.9

1) ระดับบน (Upper Level)

คือ การคำนวณเพื่อหาปริมาณความต้องการเดินทางที่มากที่สุดที่สามารถเพิ่มเข้าสู่โครงข่ายได้ ($\text{Max } \mu$) ทั้งนี้ การเพิ่มปริมาณความต้องการเดินทางจะเพิ่มเป็นสัดส่วนเท่าของปริมาณการเดินทาง (Origin-Destination Demand) ปัญหาส่วนนี้จะทำให้นักวางแผนทราบถึงความจุสำรองของโครงข่ายที่ยังเหลืออยู่

2) ระดับล่าง (Lower Level)

คือ การวิเคราะห์ปริมาณการเดินทางในแต่ละเส้นทาง ซึ่งจะสะท้อนพฤติกรรมของผู้เดินทางอันเป็นผลจากการแจกแจง (Traffic Assignment) ปริมาณความต้องการเดินทางในโครงข่ายที่เพิ่มสูงขึ้น โดยในส่วนนี้ ผู้วิจัยจะใช้แบบจำลองจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ในการพิจารณาการแจกแจงการเดินทางเพราะในการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่ ผู้ขับขี่นิยมเลือกใช้เส้นทางที่มีระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุด ทั้งนี้ จะกำหนดให้ผู้สัญจรมีความรู้เรื่องเส้นทางและเข้าใจสภาพการจราจรในพื้นที่เป็นอย่างดี



ภาพที่ 3.9 แนวคิดของแบบจำลอง 2 ระดับสำหรับวิเคราะห์ความจุของโครงข่าย

โดยก่อนที่จะกล่าวถึงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ความจุของโครงข่าย ผู้วิจัยได้กำหนดดัชนี ตัวแปรตัดสินใจ และตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ดัชนี (Index)

- i, j ดัชนีแทนจุดต้นทาง-ปลายทาง ซึ่ง i แทนจุดต้นทาง (Origin Node) และ j แทนจุดปลายทาง (Destination Node) ของโครงข่าย โดยที่ $i, j = \text{ICD, EA, J, EB, PORT, EC}$ ทั้งนี้จะแสดงรายละเอียดในแต่ละตำแหน่งไว้ในตารางที่ 3.1
- a ดัชนีของเส้นทาง(Link) ในโครงข่าย โดยที่ $a = 1, 2, 3, 4, \dots$ แทนเส้นทางที่ 1, 2, 3, 4, ... ตามลำดับ
- r ดัชนีของสายทาง(Path) ในโครงข่าย โดยที่ $r = 1, 2, 3, 4, \dots$ แทนสายทางที่ 1, 2, 3, 4, ... ตามลำดับ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

μ สัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (ปัญหาระดับบน)

f_r^{ij} ปริมาณจราจรบนสายทาง r ของคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง i, j (ปัญหาระดับล่าง)

พารามิเตอร์ (Parameter)

C_a ความจุของปริมาณจราจรบนเส้นทาง a (PCU/วัน)

v_a ปริมาณจราจรบนเส้นทาง a (PCU/วัน)

t_a^0 ระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระ (ไม่มีปริมาณจราจร) บนเส้นทาง a (นาที)

t_a ระยะเวลาในการเดินทางบนเส้นทาง a (นาที)

q_{ij} ปริมาณความต้องการเดินทางระหว่างคู่เดินทางจาก i ไป j

s_a ระยะทางของเส้นทาง a (กิโลเมตร)

v_a ความเร็วสูงสุดที่รถบรรทุกสามารถสัญจรผ่านได้ในทางเชื่อม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

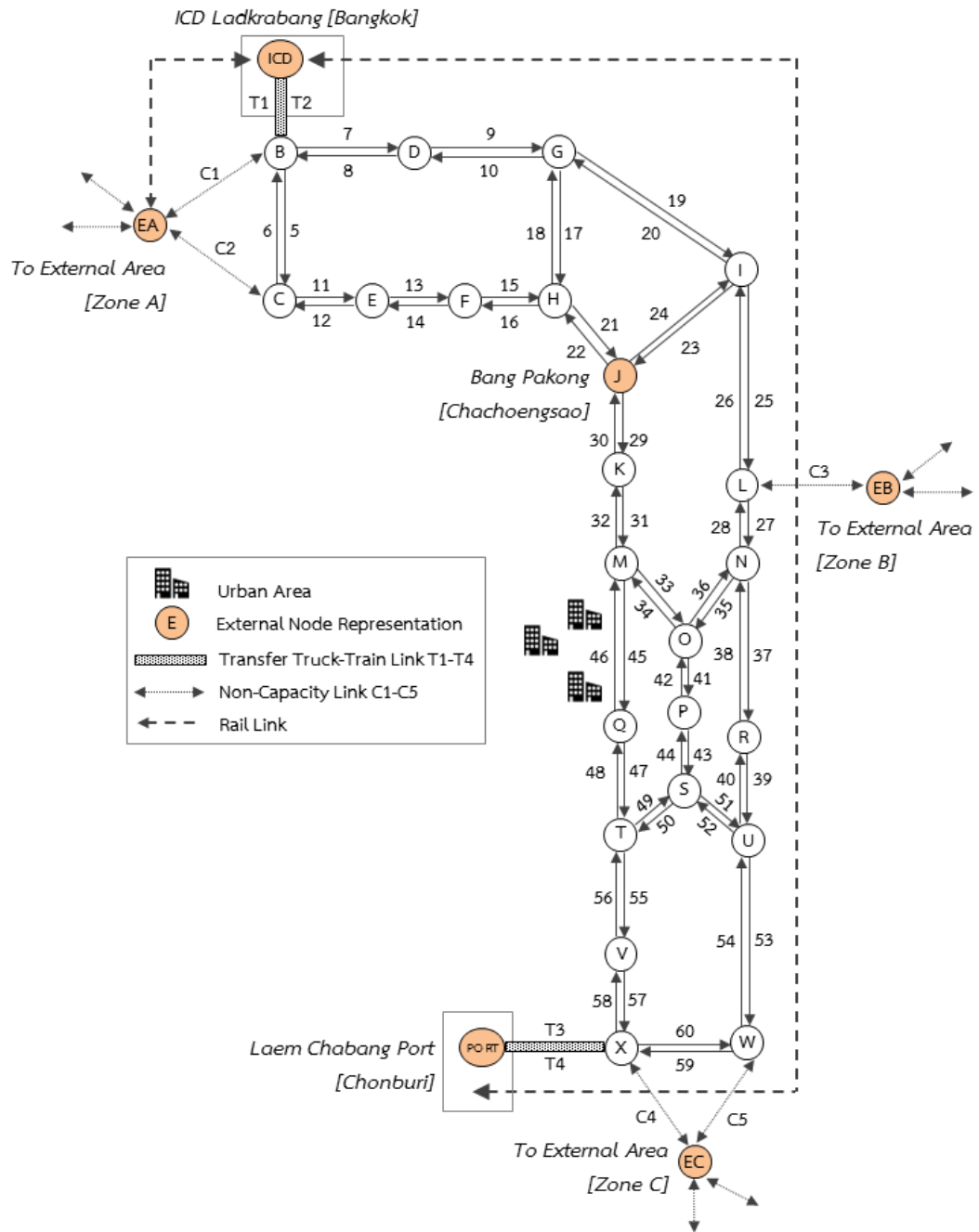
$\delta_{r,a}^{ij}$ ตัวบ่งชี้ในกรณีที่เส้นทาง a เป็นส่วนหนึ่งของสายทาง r ระหว่างคู่เดินทางจาก i ไป j โดยที่

$$\delta_{r,a}^{ij} = \begin{cases} = 1 & ; \text{ถ้าเส้นทาง } a \text{ เป็นส่วนหนึ่งของสายทาง } r \text{ ระหว่างคู่เดินทางจาก } i \text{ ไป } j \\ = 0 & ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

โดยในส่วนของระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระของแต่ละเส้นทาง a (Free-flow Travel Time) หรือ t_a^0 ผู้วิจัยจะคำนวณจากการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยความเร็วคงที่ตามหลักการของวิชาฟิสิกส์ ดังสมการ

$$t_a^0 = \frac{s_a}{v_a} \quad (3.1)$$

ในส่วนของความจุของเส้นเชื่อมหรือ C_a นั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาจากปริมาณจราจรที่สูงที่สุดที่สามารถสัญจรในแต่ละเส้นทางในหน่วย คัน/ชั่วโมง/ช่องทาง และทำการแปลงเป็นหน่วย คัน/วัน/เส้นเชื่อม โดยกำหนดให้มีเวลาสำหรับการขนส่งสินค้า 15 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งนี้สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ประกอบการประมวลผลเพื่อประเมินความจุที่เหลือของโครงข่ายการขนส่งที่ศึกษาในแต่ละเส้นทางดังภาพที่ 3.10 ได้ดังตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6



ภาพที่ 3.10 โครงข่ายการขนส่งที่ใช้ประกอบการประมวลผล

ตารางที่ 3.5 ระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระและความจุของเส้นทาง

เส้นทาง ในโครงข่าย	ช่วงอ้างอิง		พารามิเตอร์	
	ทางหลวง	ช่วงถนน	เวลาในการเดินทาง อย่างอิสระ t_a^0 (นาที)	ความจุของเส้นทาง C_a (PCU/วัน)
5, 6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	7.77	172,800
7, 8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	16.50	192,000
9, 10	7	บางปะกง-หนองรี	3.75	192,000
11, 12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	2.18	216,000
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	15.53	216,000
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	15.53	259,200
15	34	บางวัว-บางปะกง	2.55	172,800
16	34	บางวัว-บางปะกง	2.55	216,000
17, 18	7	บางวัว-บางควาย	3.00	86,400
19, 20	7	บางปะกง-หนองรี	5.25	192,000
21	34	บางวัว-บางปะกง	5.63	172,800
22	34	บางวัว-บางปะกง	5.63	216,000
23, 24	314	บางปะกง-แสนภูคาช	4.13	86,400
29	3	บางวัว-บางปะกง	4.80	172,800
30	3	บางวัว-บางปะกง	4.80	216,000
25, 26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	11.25	192,000
27, 28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	2.25	192,000
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	4.47	172,800
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	4.47	216,000
33, 34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	3.15	216,000
35, 36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	3.41	86,400
45, 46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	7.48	57,600
41, 42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	3.60	172,800
37, 38	7	บางปะกง-หนองรี	6.00	192,000
43, 44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	2.25	172,800
47, 48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	3.07	86,400
49, 50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	1.66	129,600

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

เส้นทาง ในโครงข่าย	ช่วงอ้างอิง		พารามิเตอร์	
	ทางหลวง	ช่วงถนน	เวลาในการเดินทาง อย่างอิสระ t_a^0 (นาที)	ความจุของเส้นทาง C_a (PCU/วัน)
51, 52	7	หนองช้างคอก-คีรี	2.80	129,600
39, 40	7	หนองรี-หนองขาม	4.50	192,000
55, 56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	21.50	86,400
57, 58	3	ศรีราชา-พัทยา	6.00	57,600
53, 54	7	หนองรี-หนองขาม	14.73	144,000
59, 60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	6.07	86,400
C1, C2	Centroid	เส้นทางออกนอกพื้นที่ A	0	1,000,000
C3	Centroid	เส้นทางออกนอกพื้นที่ B	0	1,000,000
C4, C5	Centroid	เส้นทางออกนอกพื้นที่ C	0	1,000,000
ทางรถไฟ	-	ICD - ท่าเรือแหลมฉบัง	355	2,890

หมายเหตุ: 1) เส้นทาง C1-C5 เป็นเส้นทางที่สมมติขึ้น จึงไม่กำหนดระยะเวลาในการเดินทาง
 2) ผู้วิจัยจะกำหนดระยะเวลาในการดำเนินการด้านสินค้าเพื่อเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง
 เป็นเวลา 90 นาทีในทุกๆ Transfer Link

ตารางที่ 3.6 ปริมาณความต้องการเดินทางในแต่ละคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง

O-D Node	ICD	PORT	J	EA	EB	EC	Total
ICD	0	2,690.51	52.15	2,078.55	1,037.22	665.77	6,524.20
PORT	2,654.77	0	200.81	9,766.22	7,683.91	4,221.38	24,527.09
J	67.34	114.57	0	3,841.88	714.62	484.51	5,222.92
EA	5,265.19	4,835.86	3,962.22	0	89,850.99	73,925.84	177,840.10
EB	1,312.27	3,745.66	694.99	0	0	9,645.25	15,398.17
EC	837.32	2,358.57	559.39	66,736.68	15,610.79	0	86,102.75
Total	10,136.89	13,745.17	5,469.56	82,423.33	114,897.53	88,942.75	315,615.23

(หน่วย: PCU/วัน)

การพิจารณาเส้นทาง (Path) สำหรับการเดินทางในแต่ละคู่จุดต้นทาง-ปลายทางนั้น ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดคุณสมบัติของเส้นทางที่จะนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ว่า ในแต่ละเส้นทางที่นำมาพิจารณานั้นจะต้องไม่เกิดวงจรในการเดินทาง (Loop) และต้องมีทิศทางมุ่งเข้าหาจุดปลายทางเท่านั้น ยกเว้นเส้นทางในเขตชุมชนเมือง (Urban Area) ที่ยอมให้มีการเดินทางย้อนเพื่อหลีกเลี่ยงการเดินทางผ่านชุมชนเมืองได้ โดยเส้นทางทั้งหมดในแต่ละคู่จุดต้นทาง-ปลายทางที่จะนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ จะแสดงไว้ในส่วนของภาคผนวก ข

ลำดับต่อมา ผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับประเมินความจุสำรองของโครงข่ายทางหลวงซึ่งเป็นการประมวลผลเชิงคณิตศาสตร์จากปัญหาสองระดับโดยพฤติกรรมการเลือกเส้นทางการขนส่งจะถูกพิจารณาจากปัญหาระดับล่าง ในขณะที่ปัญหาระดับบนจะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าที่มากที่สุดของตัวแปร μ ซึ่งมีระบบสมการดังต่อไปนี้ (Yang, Bell and Meng, 2000)

$$\text{Max } \mu \quad (3.2)$$

$$\text{Subject to} \quad v_a(\mu q) \leq C_a, \forall a \in A \quad (3.3)$$

เมื่อ $v_a(\mu q)$ เป็นผลการคำนวณที่ได้จากปัญหาการเลือกเส้นทางการเดินทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (The Equilibrium Assignment Problem) ในปัญหาระดับล่าง

$$\text{Min } \sum_a \int_0^{v_a} t_a(x) dx \quad (3.4)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{r \in R_{ij}} f_r^{ij} = \mu q_{ij}; \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.5)$$

$$v_a = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R_{ij}} f_r^{ij} \delta_{r,a}^{ij}, \forall a \in A \quad (3.6)$$

$$f_r^{ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in J, r \in R_{ij} \quad (3.7)$$

จากระบบสมการในข้างต้นสมการที่ (3.2) คือ สมการจุดประสงค์ (Objective Function) ของปัญหาระดับบน เพื่อคำนวณหาค่าที่มากที่สุดของสัดส่วนปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้นหรือ μ และสมการที่ (3.3) คือ สมการข้อจำกัดด้านความจุของปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทาง a

ในส่วนของปัญหาระดับล่าง สมการที่ (3.4) จะถูกกำหนดให้เป็นสมการจุดประสงค์ ซึ่งเป็นสมการการแจกแจงปริมาณจราจร (Traffic Assignment) ที่อยู่ในสถานะสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้สมการ BRP (Bureau of Public Road) เพื่อกำหนดให้เป็น Link Performance Function ของเส้นทางในโครงข่ายทางหลวง ซึ่งมีรายละเอียดของสมการดังนี้ (United States. Bureau of Public Roads, 1964)

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left[1 + 0.15 \left(\frac{v_a}{C_a} \right)^4 \right] \quad (3.8)$$

จากสมการที่ (3.8) พบว่า ระยะเวลาในการเดินทางในแต่ละเส้นทางจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Relationship) และขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณการเดินทางเทียบกับปริมาณความจุในแต่ละเส้นทางนั้นๆ (Volume Per Capacity Ratio)

ในทำนองเดียวกัน สำหรับ Link Performance Function ของโครงข่ายทางราง ผู้วิจัยประยุกต์ใช้สมการ BRP เช่นกัน เพียงแต่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาพการเดินทาง โดยมีรูปแบบของสมการ ดังนี้ (Uddin and Huynh, 2015: 52)

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left[1 + \left(\frac{v_a}{C_a} \right)^7 \right] \quad (3.9)$$

โดยข้อจำกัดทั้งหมดของตัวแบบดังกล่าว ประกอบด้วย สมการที่ (3.5) หรือสมการอนุรักษ์การไหล (Flow Conservation Constraint) นั่นคือ ผลรวมของปริมาณจราจรของทุกสายทาง (Path) ระหว่างคู่การเดินทางจาก i ไป j เท่ากับปริมาณอุปสงค์การเดินทาง O-D จาก i ไป j ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน สมการที่ (3.6) แสดงถึงปริมาณจราจรของทุกเส้นทาง (Link) จะเท่ากับผลรวมของปริมาณจราจรในทุกๆ สายทาง (Path) ระหว่างคู่เดินทางจาก i ไป j โดยเป็นสายทางที่ผ่านเส้นทางนั้นด้วย และสมการที่ (3.7) คือ Non-negativity Constraint นั่นคือปริมาณจราจรบนสายทางใดๆ จะเป็นจำนวนลบไม่ได้

อย่างไรก็ตาม Sheffi (1985: 68) ได้ทำการพิสูจน์ด้วยเมทริกซ์อนุพันธ์อันดับสอง (Hessian Matrix) แล้วว่าระบบสมการของปัญหาระดับล่าง มีคุณสมบัติของฟังก์ชันคอนเว็กซ์แท้ (Strictly Convex Function) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ค่าต่ำสุดของระบบสมการเพียงคำตอบเดียว

3.8 ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย

จากการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงและทางรางที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่าย (Network Reserved Capacity Model) ผ่านโปรแกรม Excel Macro VBAs และ Excel Solver โดยใช้ Solving Method ด้วย GRG Nonlinear พบว่าโครงข่ายทางหลวงของพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันยังสามารถรองรับปริมาณความต้องการเดินทางสัญจรของผู้เดินทางได้ แต่อยู่ในระดับที่ใกล้เต็มความจุของโครงข่ายทางหลวงแล้ว ทั้งนี้ หากเพิ่มปริมาณความต้องการเดินทางในทุกๆ คู่จัดเส้นทางและจุดปลายทางเป็นสัดส่วนจากปริมาณความต้องการเดินทางในปัจจุบัน พบว่าสามารถเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 1.16 เท่าจากปริมาณความต้องการเดินทางในระดับปกติ ($\mu = 1.16$) นอกจากนี้ ผลการประมวลผลยังบ่งชี้ให้ทราบถึงปัญหาคอขวดของโครงข่ายการศึกษา นั่นคือ ผู้วิจัยจะกำหนดให้เส้นทางที่มีระดับปริมาณจราจรต่อความจุในแต่ละเส้นทาง (v/c Ratio) มากกว่า 1 หรือใกล้เคียง 1 ที่สุด เป็นเส้นทางที่มีลักษณะเป็นคอขวดและต้องการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน

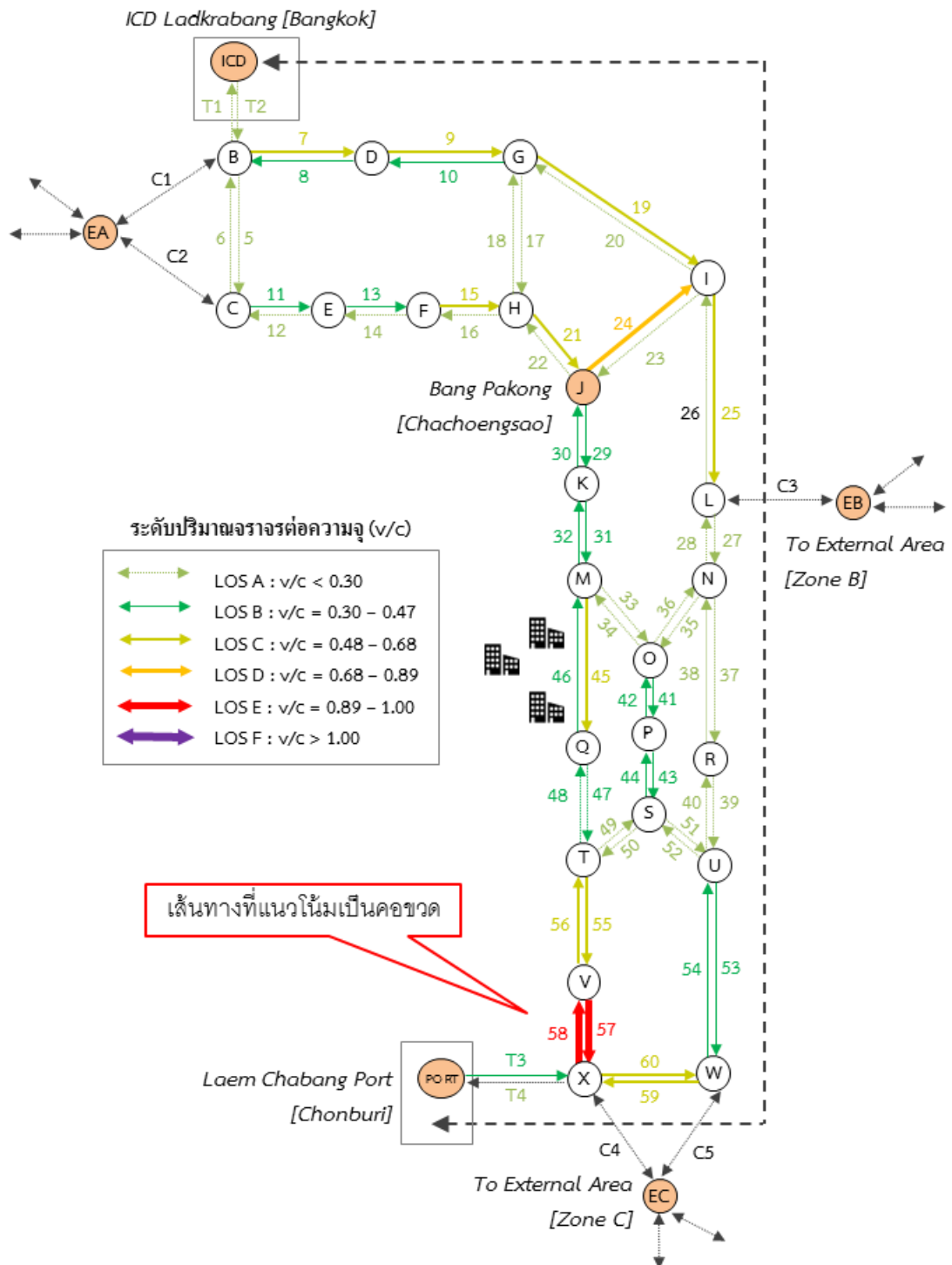
จากผลการวิเคราะห์ พบว่า เส้นทางที่มีลักษณะเป็นคอขวดส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณพื้นที่ชุมชนและพื้นที่ที่ใกล้กับตำแหน่งโรงงานอุตสาหกรรม โดยเส้นทางที่ปัญหาคอขวดหรือมีระดับปริมาณจราจรต่อความจุสูงที่สุดในโครงข่าย คือ เส้นทางศรีราชา-พัทยา ขาเข้ากรุงเทพฯ บนทางหลวงหมายเลข 3 โดยมีค่าระดับปริมาณจราจรต่อความจุเท่ากับ 0.99 ในขณะที่เส้นทางในทิศตรงกันข้ามก็มีปริมาณจราจรมากไม่แพ้กัน โดยมีระดับปริมาณจราจรต่อความจุเท่ากับ 0.92

นอกจากนี้ ในเส้นทางช่วงบางปะกง-แสนภูดาช บนทางหลวงหมายเลข 314 ก็มีปริมาณจราจรสูงเช่นกัน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก รวมถึงอยู่ใกล้กับโรงงานโตโยต้าบ้านโพธิ์ และโรงไฟฟ้าบางปะกง ส่งผลให้มีระดับปริมาณจราจรต่อความจุสูงอยู่ที่ประมาณ 0.83 โดยมีระดับปริมาณจราจรต่อความจุที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละเส้นทางบนโครงข่ายที่ศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.7 และภาพที่ 3.11 ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะสรุปผลจำนวนเส้นทางในแต่ละระดับการให้บริการดังตารางที่ 3.8

ด้านการขนส่งสินค้าทางราง จากผลการประมวลผลพบว่า มีปริมาณการเลือกขนส่งสินค้าทางรางอยู่ในระดับปานกลางและยังมีความจุเพียงพอต่อการรองรับการขนส่งที่อาจจะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยการขนส่งสินค้าทางรางขาออก (จากสถานีบรรจุน้ำและแยกสินค้ากล่อง ICD ลาดกระบังไปท่าเรือแหลมฉบัง) มีระดับปริมาณจราจรต่อความจุเท่ากับ 0.50 ส่วนในทิศตรงกันข้าม (ขาเข้า) พบว่า มีระดับปริมาณจราจรต่อความจุเท่ากับ 0.30 ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายทางหลวงในบทถัดไป

ตารางที่ 3.7 ผลการประมวลผลค่า v/c จากการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย

เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.22
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.59	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.09
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.31	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.15
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.59	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.15
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.30	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.18
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.42	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.15
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.18
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.42	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.31
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.14	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.33
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.53	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.31
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.17	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.33
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.48
18	7	บางวัว-บางควาย	0.20	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.45
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.49	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.32
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.21	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.64	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.25	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.20
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.24	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.22
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.83	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.20
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.65	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.39
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.12	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.42
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.19	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.61
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.25	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.66
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.43	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.92
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.33	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.99
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.43	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.57
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.33	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.63
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.15	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.44
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.16	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.25
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.50	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.30



ภาพที่ 3.11 แผนที่แสดงผลการประมวลผลค่า v/c Ratio ของโครงข่ายที่ศึกษา

ตารางที่ 3.8 สรุปจำนวนเส้นทางจำแนกตามระดับการให้บริการหลังการประมวลผล

ระดับการให้บริการ (LOS)	จำนวนเส้นทาง	สัดส่วนเมื่อเทียบกับ จำนวนเส้นทางทั้งหมด
A ($v/c < 0.30$)	28	ร้อยละ 46.67
B ($v/c = 0.30 - 0.47$)	18	ร้อยละ 30.00
C ($v/c = 0.48 - 0.68$)	11	ร้อยละ 18.33
D ($v/c = 0.68 - 0.89$)	1	ร้อยละ 1.67
E ($v/c = 0.89 - 1.00$)	2	ร้อยละ 3.33
F ($v/c > 1.00$)	-	-
รวม	60	ร้อยละ 100

บทที่ 4

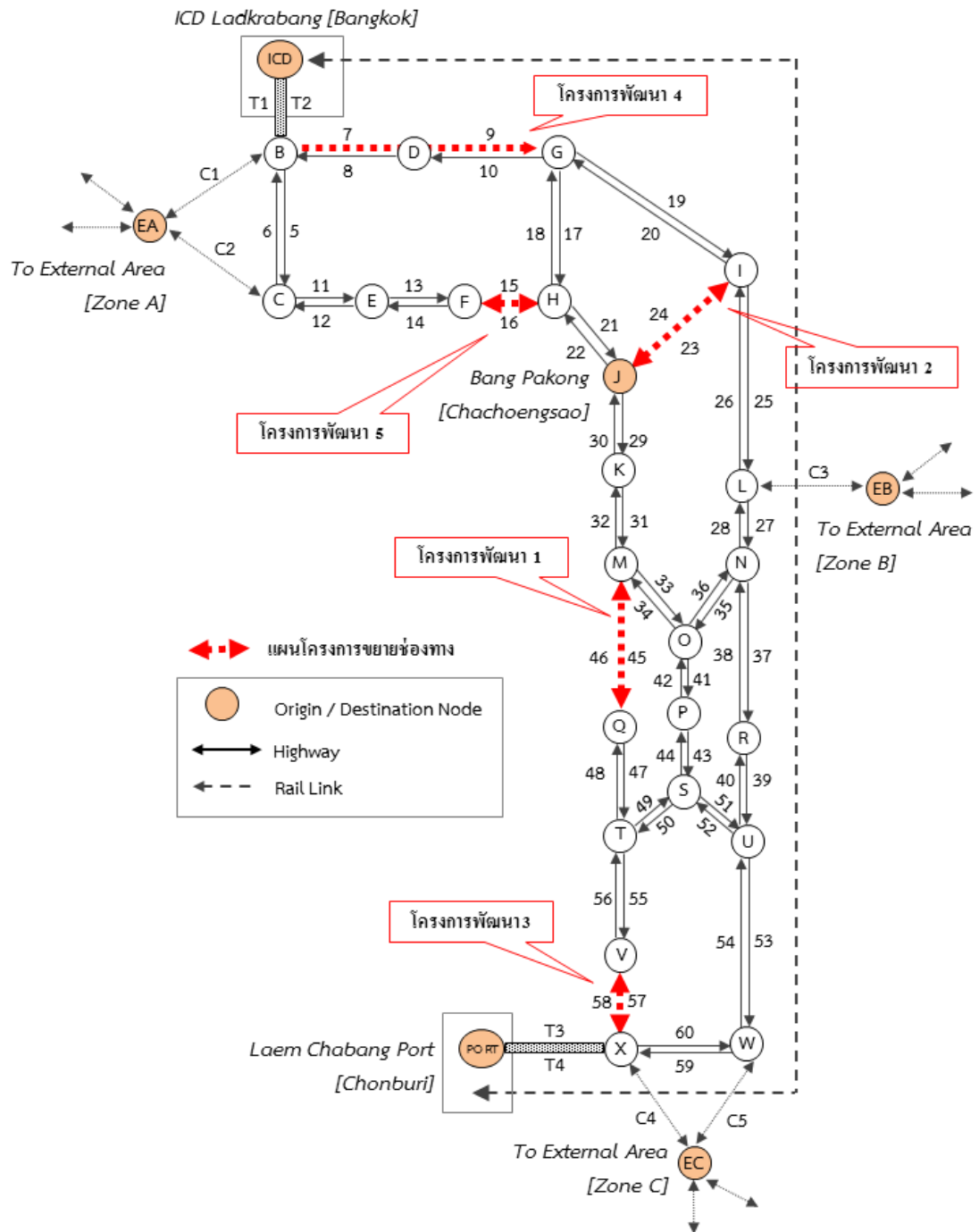
ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การพิจารณาโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวง

แนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงโดยทั่วไป มักดำเนินการโดยการขยายช่องจราจร โดยการศึกษาี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดการวัดประสิทธิภาพของโครงข่ายโดยการพัฒนาตัวแบบการประเมินความจุที่จะนำมาใช้ร่วมกับการวัดประสิทธิภาพในแต่ละกลุ่มโครงการที่วางแผนไว้สำหรับพัฒนาโครงข่าย เพื่อพิจารณาว่าหากมีการปรับปรุงโครงข่ายด้วยกลุ่มโครงการนั้นๆแล้ว จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความจุในโครงข่ายมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้ หากมีหลายกลุ่มโครงการ นักวางแผนจะเลือกกลุ่มโครงการใดเพื่อให้ประสิทธิภาพในภาพรวมของโครงข่ายเพิ่มขึ้นสูงที่สุด สำหรับการศึกษาี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอตัวอย่างการคัดเลือกโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวงเบื้องต้นจากแผนแม่บทของกรมทางหลวงที่กำลังศึกษาอยู่ในขณะนี้ มาพิจารณาร่วมกับโครงการที่เห็นสมควรกำหนดขึ้นเนื่องจากจะมีผลต่อการแก้ไขปัญหาเส้นทางคอขวดที่วิเคราะห์ได้จากบทก่อนหน้า ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวงที่ศึกษา

ลำดับ	ประเภทโครงการ	หมายเลข ทางหลวง	ชื่อตอน	มูลค่าโครงการ (บาท)	หมายเลขเส้นทาง ในโครงข่าย
1	เพิ่มช่องจาก 2 เป็น 4	3	หน่อไม้แดง-ชลบุรี	179,406,500	45,46
2	เพิ่มช่องจาก 2 เป็น 4	314	บางปะกง-แสนภูคาย	182,994,000	23,24
3	เพิ่มช่องจาก 2 เป็น 3	3	ศรีราชา - พัทยา	107,643,500	57,58
4	เพิ่มช่องจาก 4 เป็น 6	7	ศรีนครินทร์ - หนองรี (ขาออก กทม.)	340,872,000	7,9
5	เพิ่มช่องจาก 4 เป็น 6	34	บางวัว - บางปะกง	251,160,000	15, 16



ภาพที่ 4.1 แผนที่แสดงโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวง

ในลำดับถัดมา ผู้วิจัยจะทำการจัดกลุ่มโครงการที่ทั้งหมดที่กำหนดไว้ ภายใต้งบประมาณที่จำกัด ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดงบประมาณเพื่อใช้สำหรับลงทุนพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของโครงข่ายไว้ที่ 500,000,000 บาท (ห้าร้อยล้านบาท) ซึ่งจะก่อให้เกิดการรวมกลุ่มของโครงการที่มีมูลค่าโครงการไม่เกินงบประมาณที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กลุ่มโครงการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงที่นำมาวิเคราะห์

กลุ่มโครงการที่	โครงการย่อย	มูลค่ารวม ของกลุ่มโครงการ (บาท)
1	โครงการที่ 1 / โครงการที่ 2 / โครงการที่ 3	470,044,000
2	โครงการที่ 1 / โครงการที่ 5	430,566,500
3	โครงการที่ 1 / โครงการที่ 2	362,400,500
4	โครงการที่ 1 / โครงการที่ 3	287,050,000
5	โครงการที่ 2 / โครงการที่ 3	290,637,500
6	โครงการที่ 2 / โครงการที่ 5	434,154,000
7	โครงการที่ 3 / โครงการที่ 4	448,515,500
8	โครงการที่ 3 / โครงการที่ 5	358,803,500

เมื่อได้กลุ่มโครงการสำหรับการวิเคราะห์ภายใต้งบประมาณที่กำหนดไว้แล้ว ลำดับถัดมา ผู้วิจัยจะทำการประมวลผลด้วยแบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายทางหลวงที่พัฒนาขึ้น สำหรับการประเมินกลุ่มโครงการที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพด้านความจุของโครงข่ายเพิ่มสูงที่สุด ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.2 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่าย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายทางหลวงให้สามารถนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพโครงการพัฒนาโครงข่ายทางหลวง ซึ่งทำการดัดแปลงจากแบบจำลองเดิมที่กล่าวถึงในบทที่ 3 โดยมีรายละเอียดของปัญหาระดับบน (Upper Level) และปัญหาระดับล่าง (Lower Level) ดังนี้

ดัชนี (Index)

- i, j ดัชนีแทนจุดต้นทาง-ปลายทาง ซึ่ง i แทนจุดต้นทาง (Origin Node) และ j แทนจุดปลายทาง (Destination Node) ของโครงข่าย โดยที่ $i, j = \text{ICD, EA, J, EB, PORT, EC}$ ทั้งนี้จะแสดงรายละเอียดในแต่ละตำแหน่งไว้ในตารางที่ 3.1
- a ดัชนีของเส้นทาง (Link) ในโครงข่าย โดยที่ $a = 1, 2, 3, 4, \dots$ แทนเส้นทางที่ 1, 2, 3, 4, ... ตามลำดับ
- r ดัชนีของสายทาง (Path) ในโครงข่าย โดยที่ $r = 1, 2, 3, 4, \dots$ แทนสายทางที่ 1, 2, 3, 4, ... ตามลำดับ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

μ สัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (ปัญหาระดับบน)

X_a เป็น Binary Variable (ปัญหาระดับบน) โดยที่

$$X_a \begin{cases} = 1 & ; \text{เมื่อทำการเลือกพัฒนาโครงการบนเส้นทาง} \\ = 0 & ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

f_r^{ij} ปริมาณจราจรบนสายทาง r ของคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง i, j (ปัญหาระดับล่าง)

พารามิเตอร์ (Parameter)

- C_a ความจุของปริมาณจราจรบนเส้นทาง a (PCU/วัน)
- ΔC_a ความจุที่เพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรบนเส้นทาง a หลังการปรับปรุงโครงข่าย (PCU/วัน)
- v_a ปริมาณจราจรบนเส้นทาง a (PCU/วัน)
- t_a^0 ระยะเวลาในการเดินทางอย่างอิสระ (ไม่มีปริมาณจราจร) บนเส้นทาง a (นาที)
- t_a ระยะเวลาในการเดินทางบนเส้นทาง a (นาที)
- q_{ij} ปริมาณความต้องการเดินทางระหว่างคู่เดินทางจาก i ไป j
- s_a ระยะทางของเส้นทาง a (กิโลเมตร)
- v_a ความเร็วสูงสุดที่รถบรรทุกสามารถสัญจรผ่านได้ในทางเชื่อม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- $\delta_{r,a}^{ij}$ ตัวบ่งชี้ในกรณีที่เส้นทาง a เป็นส่วนหนึ่งของสายทางระหว่างคู่เดินทางจาก i ไป j โดยที่
- $$\delta_{r,a}^{ij} \begin{cases} = 1 & ; \text{ถ้าเส้นทาง } a \text{ เป็นส่วนหนึ่งของสายทางระหว่างคู่เดินทางจาก } i \text{ ไป } j \\ = 0 & ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

ปัญหาระดับบน (Upper Level)

$$\text{Max } \mu \quad (4.1)$$

$$\text{Subject to} \quad v_a(\mu q) \leq C_a + \Delta C_a X_a, \forall a \in A \quad (4.2)$$

$$\sum_a b_a X_a \leq B, \forall a \in A \quad (4.3)$$

สมการ (4.1) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสมการจุดประสงค์ (Objective Function) ของปัญหาระดับบน (Upper Level) ยังคงเป็นการคำนวณค่าสัดส่วนที่มากที่สุดที่เพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการเดินทาง โดยมีสมการที่ (4.2) และ (4.3) เป็นสมการข้อจำกัด โดยสมการ (4.2) เป็นข้อจำกัดที่กำหนดให้ปริมาณจราจรหลังการแจกแจงการเดินทางต้องไม่เกินความจุเดิมและความจุที่เพิ่มขึ้นจากการพัฒนาโครงการของเส้นทางนั้นทั้งนี้ ในสมการข้อจำกัด (4.3) ยังกำหนดให้ต้นทุนรวมของโครงการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงทั้งหมดจะต้องไม่เกินงบประมาณที่ได้กำหนดไว้

เมื่อ $v_a(\mu q)$ เป็นผลการคำนวณที่ได้จากปัญหาการเลือกเส้นทางการเดินทางที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (The Equilibrium Assignment Problem) ในปัญหาระดับล่าง

ปัญหาระดับล่าง (Lower Level)

$$\min \sum_a \int_0^{v_a} t_a(x, \Delta C_a X_a) dx \quad (4.4)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{r \in R_{ij}} f_r^{ij} = \mu q_{ij}, \forall i \in I, j \in J \quad (4.5)$$

$$v_a = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R_{ij}} f_r^{ij} \delta_{r,a}^{ij}, \forall a \in A \quad (4.6)$$

$$f_r^{ij} \geq 0, \forall i \in I, j \in J, r \in R_{ij} \quad (4.7)$$

สำหรับปัญหาระดับล่าง ยังคงมีรูปแบบของสมการเหมือนกับแบบจำลองเดิม กล่าวคือ สมการที่ (4.4) ซึ่งเป็นสมการจุดประสงค์ (Objective Function) ของปัญหาระดับล่าง (Lower Level) ยังคงทำหน้าที่เป็นสมการการแจกแจงปริมาณจราจร (Traffic Assignment) ที่จุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งจะคำนวณหาที่น้อยที่สุดของผลรวมค่าปฏิยานุพันธ์ของ Link Performance Function ในทุกเส้นทาง a

ในส่วนข้อจำกัดของปัญหาระดับล่างประกอบด้วย สมการที่ (4.5) หรือสมการอนุรักษ์การไหล (Flow Conservation Constraint) นั่นคือ ผลรวมของปริมาณจราจรของทุกสายทาง (Path) ระหว่างคู่การเดินทางจาก i ไป j เท่ากับปริมาณอุปสงค์การเดินทาง O-D จาก i ไป j ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน สมการที่ (4.6) แสดงถึงปริมาณจราจรของทุกเส้นทาง (Link) จะเท่ากับผลรวมของปริมาณจราจรในทุกๆสายทาง (Path) ระหว่างคู่การเดินทางจาก i ไป j โดยเป็นสายทางที่ผ่านเส้นทางนั้นด้วย และสมการที่ (4.7) คือ Non-negativity Constraint นั่นคือปริมาณจราจรบนสายทางใดๆ จะเป็นจำนวนลบไม่ได้

ทั้งนี้ ผู้วิจัยยังได้ดัดแปลงสมการ BPR (Bureau of Public Road) เพื่อให้รองรับความจุที่เพิ่มขึ้นอันเกิดจากโครงการพัฒนาโครงข่ายทางหลวง โดยมีรูปแบบของสมการดังต่อไปนี้

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left[1 + 0.15 \left(\frac{v_a}{C_a + \Delta C_a X_a} \right)^4 \right] \quad (4.8)$$

$$\text{เมื่อ } X_a \begin{cases} = 1 & ; \text{กรณีทำการเลือกพัฒนาโครงการบนเส้นทาง } a \\ = 0 & ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

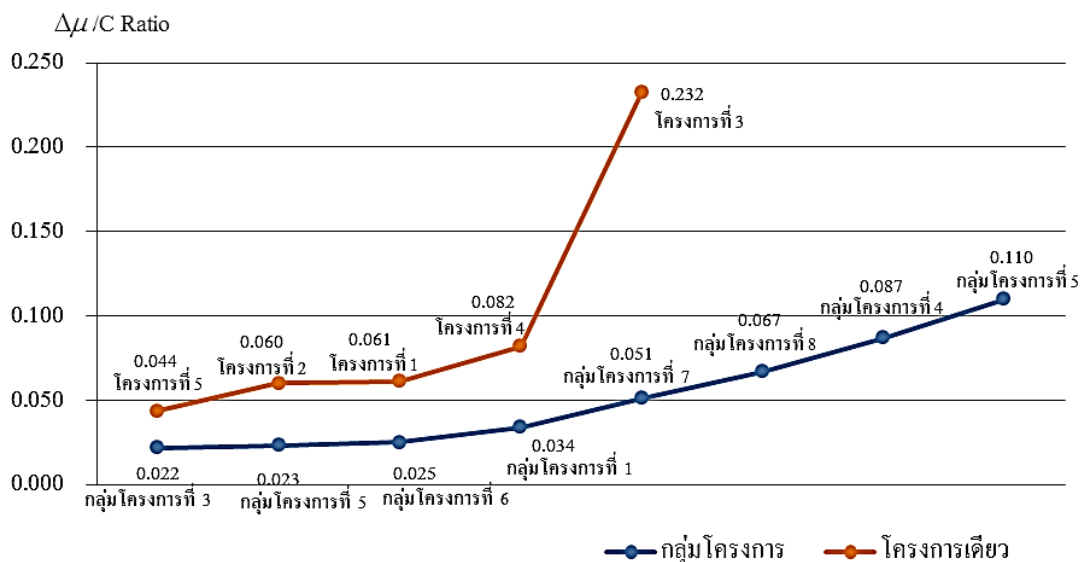
จากสมการที่ (4.8) พบว่า ระยะเวลาในการเดินทางในแต่ละเส้นทางจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Relationship) และขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณการเดินทางเทียบกับปริมาณความจุเดิมรวมกับปริมาณความจุใหม่ที่เกิดจากโครงการพัฒนาในแต่ละเส้นทางนั้นๆ

4.3 ผลการดำเนินงานวิจัย

หลังจากการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงและทางรางร่วมกับแนวทางการแก้ไขในแต่ละโครงการและกลุ่มโครงการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพโครงข่ายที่ประมวลผลด้วยตัวแบบการพัฒนาและปรับปรุงความจุโครงข่ายที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ผ่านโปรแกรม Excel Macro VBAs และ Excel Solver โดยใช้ Solving Method ด้วย GRG Nonlinear เป็นรายละเอียด ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินความจุสำรองโครงข่ายร่วมกับกลุ่มโครงการปรับปรุงโครงข่าย

ประเภท	โครงการ / กลุ่มโครงการ	มูลค่าโครงการ (ร้อยล้านบาท)	ค่า μ	$\Delta\mu / c$ Ratio
Base Case	กรณีไม่มีการปรับปรุงโครงข่าย	-	1.16	-
โครงการเดี่ยว (Individual Project)	โครงการที่ 1	1.794	1.27	0.061
	โครงการที่ 2	1.830	1.27	0.060
	โครงการที่ 3	1.076	1.41	0.232
	โครงการที่ 4	3.409	1.44	0.082
	โครงการที่ 5	2.512	1.27	0.044
	กลุ่มโครงการที่ 1 (โครงการที่ 1, 2 และ 3)	4.700	1.32	0.034
	กลุ่มโครงการที่ 2 (โครงการที่ 1 และ 5)	4.306	1.26	0.023
	กลุ่มโครงการที่ 3 (โครงการที่ 1 และ 2)	3.624	1.24	0.022
	กลุ่มโครงการที่ 4 (โครงการที่ 1 และ 3)	2.871	1.41	0.087
	กลุ่มโครงการที่ 5 (โครงการที่ 2 และ 3)	2.906	1.48	0.110
กลุ่มโครงการ (Combination Project)	กลุ่มโครงการที่ 6 (โครงการที่ 2 และ 5)	4.342	1.27	0.025
	กลุ่มโครงการที่ 7 (โครงการที่ 3 และ 4)	4.485	1.39	0.051
	กลุ่มโครงการที่ 8 (โครงการที่ 3 และ 5)	3.588	1.4	0.067



ภาพที่ 4.2 ผลการจัดลำดับค่า $\Delta\mu / c$ Ratio สำหรับโครงการในแต่ละประเภท

จากตารางที่ 4.3 ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการประเมินสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นได้สูงที่สุดจากปริมาณความต้องการเดินทางในปัจจุบัน (μ) ร่วมกับอัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเทียบกับต้นทุนที่เสียไป ($\Delta\mu / c$ Ratio) เนื่องจากบางโครงการอาจมีประสิทธิภาพด้านความจุของโครงข่ายที่เพิ่มขึ้นมาก แต่ใช้งบประมาณลงในปริมาณที่ไม่สูงนัก นั่นจะส่งผลให้โครงการในลักษณะนี้เกิดคุณค่าทั้งทางด้านการลงทุนและผลตอบแทนที่คุ้มค่ากว่า อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยจะทำการสรุปผลการวิเคราะห์จำแนกเป็นประเภทโครงการเดี่ยว (Individual Project) และประเภทกลุ่มโครงการ (Combination Project) ได้ดังนี้

1) ประเภทโครงการเดี่ยว (Individual Project)

จากการประมวลผลพบว่าโครงการที่ 3 ซึ่งเป็นโครงการเพิ่มช่องจราจรบนทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงศรีราชา - พัทยา จาก 3 เป็น 4 ช่องทางให้ผลความคุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากในการประเมินความจุของโครงข่ายปัจจุบัน พบว่าเส้นทางดังกล่าวมีค่า v/c มากที่สุด ถึงแม้ว่าโครงการที่ 4 หรือโครงการเพิ่มช่องจราจรจาก 4 เป็น 6 ช่องบนทางหลวงหมายเลข 7 ช่วงถนนศรีนครินทร์ - หนองรี จะให้ค่า μ ที่มากกว่าก็ตาม แต่เป็นเพราะโครงการที่ 4 เป็นโครงการที่เพิ่มจำนวนช่องจราจรมากและมีระยะทางยาว ทำให้มีต้นทุนในการดำเนินงานสูง เมื่อคำนวณความคุ้มค่าแล้วอาจจะไม่เหมาะสมต่อการดำเนินการสร้างมากนัก

2) ประเภทกลุ่มโครงการ (Combination Project)

จากผลพิจารณากลุ่มโครงการพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายทางหลวงในลักษณะเดียวกันกับการประมวลผลประเภทโครงการเดี่ยว พบว่า กลุ่มโครงการที่ 5 ซึ่งเป็นโครงการเพิ่มช่องจราจรบนทางหลวงหมายเลข 314 ช่วงบางปะกง - แสนภูดาษ จาก 2 เป็น 4 ช่องทางรวมกับการเพิ่มช่องจราจรจาก 2 เป็น 3 ช่องบนทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงศรีราชา - พัทยา จะช่วยให้เกิดความคุ้มค่าในการดำเนินการมากที่สุด เนื่องจากมีผลการคำนวณค่า $\Delta\mu / c$ Ratio สูงที่สุด

ทั้งนี้ ผลการพิจารณาในส่วนนี้จะสามารถนำไปใช้วางแผนในการรองรับปริมาณจราจรที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต รวมถึงสามารถใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการตัดสินใจพัฒนาโครงข่ายหรือใช้จัดลำดับความสำคัญของโครงการและกลุ่มโครงการได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการคมนาคมเพื่อรองรับการขนส่งสินค้าในพื้นที่ภาคตะวันออกนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีด้านความจุของโครงข่ายการขนส่ง รวมถึงวิธีการประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าแบบต่อเนื่องทั้งทางถนนและทางรางภายในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลและสถิติต่างๆทั้งทางด้านปริมาณจราจร ความต้องการเดินทางระหว่างคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง และโครงข่ายการคมนาคม เพื่อนำมาสร้างโครงข่ายการคมนาคมจำลองสำหรับนำไปประกอบการประมวลผลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Network Reserve Capacity Model ผลการศึกษาพบว่า โครงข่ายทางหลวงของพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันยังสามารถรองรับปริมาณความต้องการเดินทางสัญจรของผู้เดินทางได้ แต่อยู่ในระดับที่ใกล้เต็มความจุของโครงข่ายทางหลวงแล้ว ทั้งนี้ หากเพิ่มปริมาณความต้องการเดินทางในทุกๆคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางเป็นสัดส่วนจากปริมาณความต้องการเดินทางในปัจจุบัน พบว่าสามารถเพิ่มขึ้นได้ประมาณร้อยละ 116 หรือคิดเป็น 0.16 เท่าจากปริมาณความต้องการเดินทางในระดับปกติทั้งนี้ยังพบว่า เส้นทางศรีราชา-พัทยา (ขาเข้ากรุงเทพฯ) บนทางหลวงหมายเลข 3 มีความจุคงเหลือในเส้นทางน้อยที่สุด ($v/c \text{ ratio} = 0.99$) นอกจากนี้ ในส่วนของปริมาณจราจรที่เปลี่ยนรูปแบบไปใช้ทางขนส่งสินค้าทางรางก็ยังพบว่า ปัจจุบัน ความจุของโครงข่ายรางในพื้นที่ ยังมีเพียงพอต่อระดับความต้องการขนส่งสินค้า โดยคิดมีสัดส่วนของปริมาณการต้องการเดินทางต่อความจุของโครงข่ายในขาเข้าและออกกรุงเทพฯอยู่ที่ 0.50 และ 0.30 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามผู้วิจัย ยังได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากตัวแบบ Network Reserved Capacity Model เดิมเพื่อใช้สำหรับการพิจารณาแผนเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายทางหลวงในภาคตะวันออกโดยกำหนดงบประมาณที่ใช้สำหรับการพัฒนาโครงข่ายจำนวน 500 ล้านบาทสำหรับนำไปใช้เป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุนพัฒนาโครงข่ายผ่านโครงการเพิ่มช่องจราจรในแต่ละเส้นทางที่มีความจุคงเหลือน้อยจำนวน 5 โครงการ และทำการพิจารณาทั้งการลงทุนในแยกกันในแต่ละโครงการ

กับการลงทุนร่วมกันเป็นกลุ่มโครงการ ซึ่งหลังจากการประมวลผล ประเภทโครงการเดี่ยว พบว่าโครงการเพิ่มช่องจราจรบนทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงศรีราชา - พัทยา จาก 3 เป็น 4 ช่องทางให้ผลความคุ้มค่ามากที่สุด สอดคล้องกับปริมาณความจุของเหลือที่เส้นทางนี้มีน้อยอยู่แล้ว ในส่วนของการประมวลผลประเภทกลุ่มโครงการ พบว่า การดำเนินการปรับปรุงเส้นทางร่วมกันระหว่างโครงการเพิ่มช่องจราจรบนทางหลวงหมายเลข 314 ช่วงบางปะกง - แสนภูดาษ จาก 2 เป็น 4 ช่องทางร่วมกับการเพิ่มช่องจราจรจาก 2 เป็น 3 ช่องบนทางหลวงหมายเลข 3 ช่วงศรีราชา - พัทยา จะช่วยให้เกิดความคุ้มค่าในการดำเนินการมากที่สุด

ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้ยังเป็นเพียงการพิจารณาเฉพาะต้นทุนด้านระยะเวลาการเดินทางมิติเดียวเท่านั้น ยังไม่ได้รวมการพิจารณาในส่วนของต้นทุนด้านงบประมาณเดินทางและความน่าเชื่อถือของการขนส่งสินค้ามาประกอบ อย่างไรก็ตาม การศึกษาส่วนนี้ถือเป็นการแนวคิดเบื้องต้นต่อการพัฒนาโครงข่ายการขนส่งสินค้าเชิงบูรณาการ กล่าวคือเป็นกระบวนการสำคัญที่จะช่วยเกิดการวางแผนการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงในลักษณะเป็นองค์รวม ซึ่งจะสามารถนำไปใช้วางแผนในการรองรับปริมาณจราจรที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต รวมถึงยังสามารถใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการตัดสินใจปรับปรุงและพัฒนาโครงข่าย หรือใช้จัดลำดับความสำคัญของโครงการและกลุ่มโครงการได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาในอนาคตอาจประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าแบบต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยพิจารณาจากสถานะจุดสมดุลของผู้เดินทางแบบ Modal Split ซึ่งจะส่งผลให้เกิดสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณการใช้รูปแบบการเดินทางในแต่ละประเภท ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับงานวิจัยเรื่อง A Quantitative Framework for Assessing Vulnerability and Redundancy of Freight Transportation Networks (Sarawut Jansuwan, 2013)

2) การศึกษาโครงข่ายในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยคัดเลือกเส้นทางหลวงเฉพาะเส้นทางหลักมาพิจารณาเท่านั้น ซึ่งแนวทางการศึกษาในอนาคตอาจจำเป็นต้องเลือกเส้นทางบางเส้นทางที่อาจไม่ใช่เส้นทางหลักแต่มีความเชื่อมโยงกับตำแหน่ง Logistic Node ที่สำคัญในพื้นที่ เช่น นิคมอุตสาหกรรม คลังสินค้าขนาดใหญ่ เป็นต้น การพิจารณาในส่วนนี้จะทำให้เกิดความแม่นยำและสามารถลดความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษาได้

3) การเลือกเส้นทางและรูปแบบการเดินทางของโครงข่ายในงานวิจัยนี้ กำหนดให้พิจารณาเฉพาะต้นทุนทางด้านระยะเวลาการเดินทางเท่านั้น ซึ่งการศึกษาในอนาคตนั้น อาจจำเป็นต้องมีการนำต้นทุนทางด้านงบประมาณการเดินทางและความน่าเชื่อถือมาพิจารณาร่วมด้วย

4) การพิจารณาด้านระยะเวลาดำเนินงานเพื่อเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางในการศึกษานี้ เป็นการกำหนดระยะเวลาที่เป็นค่าประมาณที่ได้ข้อมูลจากการรถไฟแห่งประเทศไทย ทั้งนี้ ค่าดังกล่าวเป็นค่าคงที่ที่อาจไม่สะท้อนถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสินค้ากับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการขนย้าย การศึกษาในอนาคตจึงอาจต้องทำการประยุกต์ใช้หลักการจำลอง (Simulation) มาพิจารณาเพื่อประมวลผลข้อมูลในส่วนนี้

บรรณานุกรม

- กรมทางหลวง. สำนักบริหารบำรุงทาง. 2558. ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง. ค้นวันที่ 14 มกราคม 2559 จาก <http://roadnet.doh.go.th/>
- กรมทางหลวง. 2559. รายงานความก้าวหน้า การประเมินความน่าเชื่อถือและความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายทางหลวงเพื่อรับรองการขนส่งสินค้าของพื้นที่ภาคตะวันออก. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ท่าเรือแหลมฉบัง. กรมแผนงาน. 2558. ปริมาณและสัดส่วนการขนส่งตู้สินค้าผ่านเข้า-ออกท่าเรือแหลมฉบัง ปีงบประมาณ 2550-2558. สถิติบริการเรือและสินค้า. ค้นวันที่ 30 ธันวาคม 2558 จาก <http://www.laemchabangportnew.com/th/2013-12-25-04-35-01.html>
- Chen, Anthony and Kasikitwiwat, Panatda. 2011. Modeling Capacity Flexibility of Transportation Networks. **Transportation Research Part A**. 45(2): 105-117.
- Cho, Denny J. 2002. **Three Papers on Measuring the Reliability and Flexibility of Transportation System Capacity**. Doctoral dissertation, University of Pennsylvania.
- Jansuwan, Sarawut. 2013. **A Quantitative Framework for Assessing Vulnerability and Redundancy of Freight Transportation Networks**. Doctoral dissertation, Utah State University.
- McNally, Michael G. 2007. The Four-Step Model. In **Handbook of Transport Modelling**. David A. Hensher, Kenneth J. Button, eds. Irvine: University of California. Pp.35-53.
- McShane, William R.; Roess, Roger P. and Prassas, Elena S. 1998. **Traffic Engineering**. New Jersey: Prentice Hall.
- Merriam-Webster. 2000. **Webster's Third New International Dictionary**. Massachusetts: Unabridged Merriam-Webster.
- Meyer, Michael D. and Miller, Eric J. 1984. **Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach**. New York: McGraw-Hill.

- Morlok, Edward K. and Chang, David J. 2004. Measuring Capacity Flexibility of a Transportation System. **Transportation Research Part A**. 33 (6): 405-420.
- Sheffi, Yossi. 1985. **Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods**. New Jersey: Prentice Hall.
- Sun, Yao; Turnquist, Mark A. and Nozick, Linda K. 2006. Estimating Freight Transportation System Capacity, Flexibility, and Degraded-Condition Performance. **Transportation Research Record**. 1996: 80-87.
- Uddin, Majbah M. and Huynh, Nathan. 2015. Freight Traffic Assignment Methodology for Large-Scale Road-Rail Intermodal Networks. **Transportation Research Record**. 2477: 50-57.
- United States. Bureau of Public Roads. 1964. **Traffic Assignment Manual**. Washington D.C.: U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads.
- Yang, Hai.; Bell, Michael G.H. and Meng, Qiang. 2000. Modeling the Capacity and Level of Service of Urban Transportation Networks. **Transportation Research Part B**. 34 (4): 255-275.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

พื้นที่ย่อยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการเดินทาง

ในการศึกษาได้จัดแบ่งระบบพื้นที่ย่อยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการเดินทางจากแต่ละหน่วยพื้นที่ย่อยที่ทำการศึกษายู่ และเพื่อใช้เป็นตัวแทนแสดงจุดต้นทาง-จุดปลายทางของการเดินทาง ทั้งนี้การศึกษานี้ได้แบ่งพื้นที่ย่อยภายในประเทศออกเป็นพื้นที่ระดับอำเภอจำนวน 926 พื้นที่ย่อย (876 อำเภอใน 76 จังหวัด และอีก 50 เขตในกรุงเทพมหานคร) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเดียวกันกับฐานข้อมูลของกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลพื้นที่ย่อยอื่นนอกเหนือจากขอบเขตอำเภอ ได้แก่ ด้านชายแดน จำนวน 26 ด้าน นิคมอุตสาหกรรมจำนวน 47 แห่ง ท่าเรือจำนวน 6 แห่งตามลำดับนอกจากนี้ยังได้เตรียมพื้นที่ย่อยสำหรับเขตเศรษฐกิจพิเศษในอนาคตอีกจำนวน 14 ตำแหน่งดังแสดงในตารางที่ ก.1 ถึงตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.1 พื้นที่ย่อยประเภทด้านชายแดน

ลำดับ	ด้านชายแดน
1	ด้านแม่สายเชื่อมต่อสหภาพพม่า จากอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย
2	ด้านสะพานมิตรภาพไทย-ลาวแห่งที่ 1 จ.หนองคาย
3	ด้านช่องเม็กจากจังหวัดอุบลราชธานี ไปเมืองปากเซ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
4	ด้านช่องจอมจากจังหวัดสุรินทร์ ไปเมืองลำโรง ประเทศกัมพูชา
5	ด้านคลองลึก จ.สระแก้ว เชื่อมต่อประเทศกัมพูชาประชาธิปไตยไปยังเมืองศรีโสภณ
6	ด้านคลองใหญ่อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด ไปยังชายแดนประเทศกัมพูชา
7	ด้านแม่สอดเชื่อมต่อสหภาพพม่า จากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ไปยังเมืองคานคาริก
8	ด้านเจดีย์สามองค์จังหวัดกาญจนบุรี ไปยังเมืองเซดังตุง สาธารณรัฐสังคมนิยมสหภาพพม่า
9	ด้านวังประจันเชื่อมต่อประเทศสหพันธรัฐมาเลเซีย จากจังหวัดสตูล ไปยังเมืองปะลิส
10	ด้านเบตงจากจังหวัดยะลา ไปยังเมืองเกรอซ ประเทศสหพันธรัฐมาเลเซีย
11	ด้านสุไหงโกลอกจากจังหวัดนราธิวาส ไปยังเมืองปาเซอรัมัส ประเทศสหพันธรัฐมาเลเซีย
12	ด้านตากใบ จ.นราธิวาส

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ลำดับ	ด้านชายแดน
13	ด้านถาวรบูเก๊ะตา จ.นราธิวาส
14	ด้านสะเดา จ.สงขลา
15	ด้านปาดังเบซาร์ จ.สงขลา
16	ด้านบ้านประกอบ จ.สงขลา
17	ด้านเชียงของ จ.เชียงราย
18	ด้านเชียงแสน จ.เชียงราย
19	ด้านห้วยโก๋น จ.น่าน
20	ด้านแม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน
21	ด้านสะพานมิตรภาพไทย-ลาวแห่งที่ 2 จ.มุกดาหาร
22	ด้านสะพานมิตรภาพไทย-ลาวแห่งที่ 3 จ.นครพนม
23	ด้านท่าลี่ จ.เลย
24	ด้านบึงกาฬ จ.บึงกาฬ
25	ด้านเขมราฐ จ.อุบลราชธานี
26	ด้านพุน้ำร้อน จ. กาญจนบุรี

ตารางที่ ก.2 พื้นที่ย่อยประเภทนิคมอุตสาหกรรม

ลำดับ	นิคมอุตสาหกรรม
1	นิคมอุตสาหกรรมบางชัน
2	นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง
3	นิคมอุตสาหกรรมอู่ธานี
4	นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ
5	นิคมอุตสาหกรรมลำพูน
6	นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือตอนล่าง (พิจิตร)
7	นิคมอุตสาหกรรมสระบุรี (แก่งคอย)
8	นิคมอุตสาหกรรมหนองแค
9	นิคมอุตสาหกรรมไฮเทค
10	นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน
11	นิคมอุตสาหกรรมสหรัตนนคร

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ลำดับ	นิคมอุตสาหกรรม
12	นิคมอุตสาหกรรมราชบุรี
13	นิคมอุตสาหกรรมวีอาร์เอ็ม
14	นิคมอุตสาหกรรมบริการ
15	นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร
16	นิคมอุตสาหกรรมมหาสารคาม
17	นิคมอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์สินค้า
18	นิคมอุตสาหกรรมบางปู
19	นิคมอุตสาหกรรมบางพลี
20	นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย (สุวรรณภูมิ)
21	นิคมอุตสาหกรรมขนาดย่อม จ.ขอนแก่น
22	นิคมอุตสาหกรรม 304
23	นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี
24	นิคมอุตสาหกรรมเครื่องสพพันธ์
25	นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์
26	นิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้
27	นิคมอุตสาหกรรม TFD
28	นิคมอุตสาหกรรมเหมราช ชลบุรี
29	นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง
30	นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร
31	นิคมอุตสาหกรรมปิ่นทอง
32	นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
33	นิคมอุตสาหกรรมเหมราชตะวันออก (มาบตาพุด)
34	นิคมอุตสาหกรรมผาแดง
35	นิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด
36	นิคมอุตสาหกรรมอมตะ ซิตี้
37	นิคมอุตสาหกรรมเหมราช อีสเทิร์นซีบอร์ด
38	นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย
39	นิคมอุตสาหกรรมอาร์ ไอ แอล
40	นิคมอุตสาหกรรมท่าเรือเอเชียเทอร์มินัล
41	นิคมอุตสาหกรรมระยอง (บ้านค่าย)

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ลำดับ	นิคมอุตสาหกรรม
42	นิคมอุตสาหกรรมภาคใต้ จ.สงขลา
43	นิคมอุตสาหกรรมอาหารฮาลาล
44	นิคมอุตสาหกรรมบ้านบึง
45	นิคมอุตสาหกรรมโรจนะ จ.ระยอง
46	นิคมอุตสาหกรรมโตโยต้า บ้านโพธิ์
47	ICD ลาดกระบัง

ตารางที่ ก.3 พื้นที่ย่อยประเภทท่าเรือ

ลำดับ	ท่าเรือ
1	ท่าเรือแหลมฉบัง จ.ชลบุรี
2	ท่าเรือมาบตาพุด จ.ระยอง
3	ท่าเรือกรุงเทพ
4	ท่าเรือพระประแดง
5	ท่าเรือระนอง
6	ท่าเรือน้ำลึกสงขลา

ตารางที่ ก.4 พื้นที่ย่อยประเภทเขตเศรษฐกิจพิเศษระยะที่ 1

ลำดับ	เขตเศรษฐกิจพิเศษ	จังหวัด
1	จุดผ่านแดนถาวรปาดังเบซาร์	สงขลา
2	จุดผ่านแดนถาวรด่านสะเดา	สงขลา
3	จุดผ่านแดนบ้านริมเมย (ด่านพรมแดนแม่สอด)	ตาก
4	ด่าน (สะพานมิตรภาพ ๒) บ้านสงเปือย	มุกดาหาร
5	จุดผ่านแดนถาวรบ้านคลองลึก	สระแก้ว
6	จุดผ่านแดนถาวรบ้านหาดเล็ก	ตราด
7	จุดผ่านแดนถาวรสะพานมิตรภาพไทย – ลาวบ้านเหล้าจอมมณี	หนองคาย

ตารางที่ ก.5 พื้นที่ย่อยประเภทเขตเศรษฐกิจพิเศษระยะที่ 2

ลำดับ	เขตเศรษฐกิจพิเศษ	จังหวัด
1	จุดผ่านแดนถาวรอำเภอเชียงแสน	เชียงราย
2	จุดผ่านแดนถาวรอำเภอเชียงของ	เชียงราย
3	จุดผ่านแดนถาวรอำเภอแม่สาย	เชียงราย
4	จุดผ่านแดนสะพานมิตรภาพ 3 (นครพนม - คำม่วน)	นครพนม
5	จุดผ่านแดนถาวรสุโขทัย-โกลก	นราธิวาส
6	จุดผ่านแดนถาวรบูเกะตา	นราธิวาส
7	ด่านบ้านพุน้ำร้อน	กาญจนบุรี

ภาคผนวก ข

สายทาง (Path) ของโครงข่ายในพื้นที่ศึกษา

การพิจารณาสายทาง (Path) สำหรับการเดินทางในแต่ละจุดต้นทาง-ปลายทางนั้น ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดคุณสมบัติของสายทางที่จะนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ว่า ในแต่ละสายทางที่นำมาพิจารณานั้นจะต้องไม่เกิดวงจรในการเดินทาง (Loop) และต้องมีทิศทางมุ่งเข้าหาจุดปลายทางเท่านั้น ยกเว้นเส้นทางในเขตชุมชนเมือง (Urban Area) ที่ยอมให้มีการเดินทางย้อนเพื่อหลีกเลี่ยงการเดินทางผ่านชุมชนเมืองได้โดยสายทางทั้งหมดในแต่ละจุดต้นทาง-ปลายทางที่จะนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ แสดงได้ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 สายทาง (Path) ของโครงข่ายในพื้นที่ศึกษา

คู่O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
ICD - PORT	1	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 37, 39, 53, 59, T4
	2	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	3	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
	4	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	5	T2, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
	6	T2, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	7	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
	8	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	9	โครงข่ายรถไฟ
ICD - J	1	T2, 7, 9, 19, 23
	2	T2, 7, 9, 17, 21
	3	T2, 5, 11, 13, 15, 21
ICD - EA	1	T2, C1
	2	T2, 5, C2

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

คู่ O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
ICD - EC	1	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 37, 39, 53, C5
	2	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	3	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	4	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 37, 39, 53, 59, C4
	5	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	6	T2, 7, 9, 19, 25, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	7	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	8	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
	9	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	10	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	11	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
	12	T2, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 59, C4
	13	T2, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	14	T2, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
	15	T2, 7, 9, 17, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
	16	T2, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 59, C4
	17	T2, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	18	T2, 7, 9, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	19	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
	20	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	21	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	22	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	23	T2, 5, 11, 13, 15, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 60, C4
	24	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
ICD - EB	1	T2, 7, 9, 19, 25, C3
	2	T2, 5, 11, 13, 15, 21, 28, 29, 31, 33, 36, C3
EA - J	1	C1, 7, 9, 19, 23
	2	C1, 5, 11, 13, 15, 21
	3	C2, 11, 13, 15, 21

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

คู่ O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
EA - PORT	1	C1, 7, 9, 19, 25, 27, 37, 39, 53, 59, T4
	2	C1, 7, 9, 19, 25, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	3	C1, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	4	C1, 7, 9, 17, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	5	C1, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	6	C1, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
	7	C1, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	8	C1, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
	9	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	10	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
EA - EC	1	C1, 7, 9, 19, 25, 27, 37, 39, 53, C5
	2	C1, 7, 9, 19, 25, 27, 37, 39, 53, 59, C4
	3	C1, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
	4	C1, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 33, 41, 51, 53, 59, C4
	5	C1, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	6	C1, 7, 9, 19, 23, 29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
	7	C1, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
	8	C1, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 59, C4
	9	C1, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	10	C1, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
	11	C1, 7, 9, 17, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	12	C1, 5, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	13	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
	14	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 59, C4
	15	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	16	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
	17	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	18	C2, 11, 13, 15, 21, 29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, C4

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

คู่ O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
EA - ICD	1	C1, T1
	2	C2, 6, T1
EA - EB	1	C1, 7, 9, 25, C3
	2	C2, 11, 13, 15, 21, 24, 25, C3
J - EB	1	24, 25, C3
	2	29, 31, 33, 36, 28, C3
J - PORT	1	29, 31, 45, 47, 55, 57, T4
	2	29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, T4
	3	29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 59, T4
J - ICD	1	T1, 8, 10, 20, 24
	2	T1, 8, 10, 18, 22
	3	T1, 6, 12, 14, 16, 22
J - EC	1	29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, 59, C4
	2	29, 31, 33, 41, 43, 51, 53, C5
	3	29, 31, 33, 41, 43, 59, 55, 57, 60, C5
	4	29, 31, 33, 41, 43, 50, 55, 57, C4
	5	29, 31, 45, 47, 55, 57, 60, C5
	6	29, 31, 45, 47, 55, 57, C4
J - EA	1	8, 10, 20, 24, C1
	2	6, 12, 14, 16, 22, C1
	3	12, 14, 16, 22, C2
EB - PORT	1	C3, 27, 37, 39, 53, 59, T4
	2	C3, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, T4
EB - EC	1	C3, 27, 37, 39, 53, C5
	2	C3, 27, 37, 39, 53, 59, C4
	3	C3, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, 60, C5
	4	C3, 27, 35, 41, 43, 50, 55, 57, C4
PORT - EC	1	T3, 60, C5
	2	T3, C4

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

คู่ O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
EB - J	1	23, 26, C3
	2	27, 30, 32, 34, 35, C3
EB -ICD	1	1, 8, 10, 20 ,26, C3
	2	1, 6, 12, 14, 16, 22, 27, 30, 32, 34, 35, C3
PORT - ICD	1	1, 8, 10, 20, 26, 28, 34, 40, 54, T3
	2	1, 8, 10, 20, 26, 28, 36 ,42, 44, 49, 56, 58, T3
	3	1, 8, 10, 20, 24, 30, 32, 36, 46, 48, 56, 58, T3
	4	1, 8, 10, 20, 24, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	5	1, 8, 10, 18, 22, 24, 30, 32, 46, 48, 56, 58, T3
	6	1, 8, 10, 18, 22, 24, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	7	1, 6, 12, 14, 16, 22, 30 ,32, 46, 48, 56, 58, T3
	8	1, 6, 12, 14, 16, 22, 30 ,32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	9	โครงข่ายรถไฟ
PORT - EA	1	C1, 8, 10 ,20 ,26, 28, 38, 40, 54, 60, T3
	2	C1, 8, 10, 20 ,26, 28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	3	C1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	4	C1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, T3
	5	C1, 8, 10, 20, 24, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	6	C1, 8, 10, 20, 24, 30, 32, 46, 48, 56, 58, T3
	7	C1, 6, 12, 14, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	8	C1, 6, 12, 14, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, T3
	9	C2, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	10	C2, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, T3
PORT - J	1	30, 32, 46, 48, 56, 58, T3
	2	30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, T3
	3	30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, T3
PORT - EB	1	C3, 28, 38, 40, 54, 60, T3
	2	C3, 28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, T3

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

คู่ O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
EC - EA	1	8, 10, 20, 26, 28, 38, 40, 54, C1, C5
	2	8, 10, 20, 26, 28, 38, 40, 54, 60, C1, C4
	3	8, 10, 20, 24, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C1, C5
	4	8, 10, 20, 24, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, C1, C4
	5	8, 10, 20, 24, 30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C1, C5
	6	8, 10, 20, 24, 30, 32, 46, 48, 56, 58, C1, C4
	7	8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C1, C5
	8	8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, C1, C4
	9	8, 10, 18, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C1, C5
	10	8, 10, 18, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, C1, C4
	11	6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C1, C5
	12	6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, C1, C4
	13	6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C2, C5
	14	6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, C2, C4
	15	12, 14, 16, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C2, C5
	16	12, 14, 16, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, C2, C4
	17	12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C2, C5
	18	12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, C2, C4
EC - EB	1	28, 38, 40, 54, C3, C5
	2	28, 38, 40, 54, 60, C3, C4
	3	28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C3, C5
	4	28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, C3, C4
EC - J	1	30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, C4
	2	30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C5
	3	30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C5
	4	30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, C4
	5	30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C5
	6	30, 32, 46, 48, 56, 58, C4

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

คู่ O-D Node (i, j)	ลำดับ (r)	สายทาง (Path)
EC - PORT	1	59, T4, C5
	2	T4, C4
EC - ICD	1	T1, 8, 10, 20, 26, 28, 38, 40, 54, C5
	2	T1, 8, 10, 20, 26, 28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C5
	3	T1, 8, 10, 20, 26, 28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, C4
	4	T1, 8, 10, 20, 26, 28, 38, 40, 54, 60, C4
	5	T1, 8, 10, 20, 26, 28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C5
	6	T1, 8, 10, 20, 26, 28, 36, 42, 44, 49, 56, 58, C4
	7	T1, 8, 10, 20, 23, 30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C5
	8	T1, 8, 10, 20, 23, 30, 32, 46, 48, 56, 58, C4
	9	T1, 8, 10, 20, 23, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C5
	10	T1, 8, 10, 20, 23, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, C4
	11	T1, 8, 10, 20, 23, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C5
	12	T1, 8, 10, 20, 23, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, C4
	13	T1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C5
	14	T1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, C4
	15	T1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C5
	16	T1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 60, C4
	17	T1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C5
	18	T1, 8, 10, 18, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, C4
	19	T1, 6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, C4
	20	T1, 6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 46, 48, 56, 58, 59, C5
	21	T1, 6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, 59, C5
	22	T1, 6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 49, 56, 58, C4
	23	T1, 6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, 59, C4
	24	T1, 6, 12, 14, 16, 22, 30, 32, 34, 42, 44, 52, 54, C5

ภาคผนวก ค

ผลการประมวลผลค่า v/c จากการประเมินความจุสำรอง

ในส่วนนี้ ผู้วิจัยจะแสดงสัดส่วนปริมาณจราจรต่อความจุ (v/c Ratio) ในแต่ละเส้นทางที่ได้จากการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายที่ศึกษา โดยจะประกอบไปด้วย ตารางที่ ค.1 ซึ่งจะแสดงสัดส่วนปริมาณจราจรต่อความจุในแต่ละเส้นทางของการประเมินความจุของเหลือที่สถานการณ์ปัจจุบัน (Base Case หรือที่ $\mu = 1.00$) นอกจากนี้ในตารางที่ ค.2 ถึงตารางที่ ค.14 ยังได้แสดงผลการประเมินความจุสำรองกรณีมีแผนพัฒนาประสิทธิภาพด้านความจุของโครงข่ายที่ศึกษา จำนวนทั้งสิ้น 13 แผนพัฒนา โดยมีรายละเอียดของโครงการทั้งหมดแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ ค.1 ค่า v/c จากปริมาณความต้องการเดินทางในปัจจุบัน

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.00							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.22
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.59	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.09
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.31	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.15
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.59	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.15
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.30	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.18
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.42	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.15
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.18
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.42	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.31
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.14	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.33
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.53	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.31
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.17	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.33
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.48
18	7	บางวัว-บางควาย	0.20	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.45
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.49	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.32
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.21	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.64	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.25	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.20
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.24	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.22
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.83	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.20
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.65	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.39
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.12	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.42
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.19	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.61
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.25	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.66
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.43	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.92
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.33	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.99
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.43	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.57
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.33	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.63
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.15	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.40
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.16	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.25
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.50	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.30

ตารางที่ ค.2 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยโครงการที่ 1

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.27							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.65	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.08
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.35	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.16
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.65	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.19
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.34	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.23
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.45	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.19
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.23
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.45	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.15	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.56	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.17	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.24
18	7	บางวัว-บางควาย	0.21	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.23
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.55	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.32
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.25	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.67	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.26	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.19
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.25	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.89	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.21
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.74	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.46
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.15	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.49
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.60
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.30	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.67
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.44	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.90
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.33	58	3	ศรีราชา-พัทยา	1.00
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.44	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.61
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.33	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.68
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.17	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.48
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.15	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.24
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.55	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.33

ตารางที่ ค.3 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยโครงการที่ 2

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.27							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.65	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.08
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.35	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.16
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.65	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.19
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.34	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.23
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.45	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.19
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.23
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.45	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.15	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.56	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.17	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.47
18	7	บางวัว-บางควาย	0.21	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.46
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.55	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.32
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.25	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.67	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.26	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.19
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.12	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.45	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.21
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.74	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.46
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.15	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.49
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.60
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.30	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.67
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.44	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.90
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.34	58	3	ศรีราชา-พัทยา	1.00
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.44	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.61
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.34	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.68
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.17	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.48
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.15	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.24
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.55	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.33

ตารางที่ ค.4 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยโครงการที่ 3

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.41							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.15	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.26
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.14	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.72	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.09
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.39	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.18
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.72	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.20
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.37	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.25
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.50	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.20
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.20	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.25
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.50	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.16	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.63	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.20	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
17	7	บางวัว-บางควาย	0.25	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.53
18	7	บางวัว-บางควาย	0.24	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.51
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.60	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.36
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.28	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.34
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.75	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.27
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.29	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.22
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.28	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.26
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.99	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.81	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.51
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.17	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.54
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.24	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.68
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.33	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.75
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.50	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.68
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.38	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.75
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.50	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.68
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.38	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.75
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.18	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.54
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.17	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.27
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.61	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.37

ตารางที่ ค.5 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยโครงการที่ 4

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.44							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.00	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.00	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.08
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.83	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.00
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.57	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.00
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.83	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.23
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.57	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.65
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.06	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.23
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.04	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.65
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.06	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.48
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.04	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.10
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.07	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.48
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.04	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.10
17	7	บางวัว-บางควาย	0.95	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.12
18	7	บางวัว-บางควาย	0.19	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.07
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.81	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.08
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.48	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.05
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.55	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.00
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.12	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.00
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.01	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.64
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.01	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.13
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.82	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.89
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.49	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.99
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.23	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.08
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.65	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.05
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.52	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.12
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.10	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.07
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.52	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.06
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.10	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.25
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.19	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.55
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.17	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.28
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.62	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.38

ตารางที่ ค.6 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยโครงการที่ 5

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.27							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.65	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.08
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.35	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.16
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.65	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.19
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.34	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.23
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.45	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.19
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.23
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.45	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.15	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.37	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.15	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.47
18	7	บางวัว-บางควาย	0.21	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.45
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.55	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.32
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.25	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.67	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.26	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.19
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.25	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.89	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.21
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.74	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.46
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.15	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.50
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.60
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.30	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.67
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.44	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.90
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.33	58	3	ศรีราชา-พัทยา	
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.44	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.61
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.33	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.68
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.17	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.48
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.15	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.24
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.55	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.33

ตารางที่ ค.7 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 1

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.32							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.15	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.25
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.14	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.66	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.10
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.35	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.18
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.66	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.17
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.34	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.20
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.48	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.17
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.20	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.20
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.48	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.16	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.60	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.20	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
17	7	บางวัว-บางควาย	0.25	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.27
18	7	บางวัว-บางควาย	0.23	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.26
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.55	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.36
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.24	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.35
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.73	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.28
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.29	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.14	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.25
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.47	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.23
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.74	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.45
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.13	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.47
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.21	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.70
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.28	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.76
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.50	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.90
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.37	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.96
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.50	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.65
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.37	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.72
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.17	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.50
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.18	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.28
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.57	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.34

ตารางที่ ค.8 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 2

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.26							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.64	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.08
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.35	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.16
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.64	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.19
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.34	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.22
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.45	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.19
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.22
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.45	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.14	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.37	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.14	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.24
18	7	บางวัว-บางควาย	0.21	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.23
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.54	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.31
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.25	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.67	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.26	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.19
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.25	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.23
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.89	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.21
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.73	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.46
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.15	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.49
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.60
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.29	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.66
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.44	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.90
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.33	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.99
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.44	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.61
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.33	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.67
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.16	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.48
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.15	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.24
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.55	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.33

ตารางที่ ค.9 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 3

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.24							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.22
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.63	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.08
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.34	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.15
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.63	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.18
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.33	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.22
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.44	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.18
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.22
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.44	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.31
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.14	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.33
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.55	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.31
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.17	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.33
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.23
18	7	บางวัว-บางควาย	0.21	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.22
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.53	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.31
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.25	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.66	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.25	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.19
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.12	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.23
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.44	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.21
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.72	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.45
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.15	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.48
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.59
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.29	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.65
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.43	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.88
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.33	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.98
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.43	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.60
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.33	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.66
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.16	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.47
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.15	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.24
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.54	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.33

ตารางที่ ค.10 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 4

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.41							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.15	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.26
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.14	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.72	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.09
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.39	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.18
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.72	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.20
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.37	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.25
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.50	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.20
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.20	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.25
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.50	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.16	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.63	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.20	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
17	7	บางวัว-บางควาย	0.25	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.27
18	7	บางวัว-บางควาย	0.24	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.26
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.60	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.36
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.28	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.34
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.75	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.27
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.29	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.22
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.28	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.26
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.99	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.81	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.51
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.16	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.54
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.24	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.68
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.33	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.75
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.50	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.68
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.38	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.75
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.50	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.68
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.38	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.75
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.18	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.54
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.17	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.27
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.61	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.37

ตารางที่ ค.11 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 5

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.48							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.15	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.27
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.14	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.25
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.75	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.09
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.41	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.18
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.75	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.21
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.39	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.26
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.53	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.21
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.20	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.26
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.53	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.17	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.40
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.66	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.20	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.40
17	7	บางวัว-บางควาย	0.26	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.56
18	7	บางวัว-บางควาย	0.25	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.54
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.63	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.37
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.29	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.36
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.79	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.28
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.30	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.15	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.28
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.52	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.25
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.96	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.53
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.18	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.57
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.26	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.71
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.34	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.78
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.52	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.71
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.39	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.78
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.52	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.71
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.39	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.79
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.19	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.56
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.18	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.29
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.64	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.39

ตารางที่ ค.12 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 6

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.27							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.13	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.12	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.21
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.65	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.08
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.35	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.16
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.65	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.19
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.34	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.23
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.45	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.19
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.17	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.23
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.45	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.15	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.37	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.32
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.15	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.34
17	7	บางวัว-บางควาย	0.22	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.47
18	7	บางวัว-บางควาย	0.21	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.46
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.55	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.32
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.25	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.30
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.67	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.26	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.19
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.12	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.45	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.21
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.74	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.46
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.15	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.49
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.60
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.30	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.67
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.44	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.90
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.34	58	3	ศรีราชา-พัทยา	1.00
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.44	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.61
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.34	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.68
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.17	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.48
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.15	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.24
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.55	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.33

ตารางที่ ค.13 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 7

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.39							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.15	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.26
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.15	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.25
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.47	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.10
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.37	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.19
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.47	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.18
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.36	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.22
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.50	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.18
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.21	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.22
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.50	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.37
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.17	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.39
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.63	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.37
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.21	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.39
17	7	บางวัว-บางควาย	0.26	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.57
18	7	บางวัว-บางควาย	0.25	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.54
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.58	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.38
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.26	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.36
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.76	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.29
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.30	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.23
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.29	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.26
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.99	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.24
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.78	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.47
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.14	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.50
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.22	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.73
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.30	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.79
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.52	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.73
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.39	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.79
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.52	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.69
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.39	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.76
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.18	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.53
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.19	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.29
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.60	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.36

ตารางที่ ค.14 ค่า v/c ของโครงข่ายหลังได้รับการพัฒนาโดยกลุ่มโครงการที่ 8

ค่าสัดส่วนของปริมาณความต้องการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (μ) = 1.40							
เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c	เส้นทาง	ทาง หลวง	ช่วงถนน / ทิศทาง	ค่า v/c
5	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.14	33	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.25
6	3256	บางพลี-กิ่งแก้ว	0.14	34	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.24
7	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.71	35	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.09
8	7	ศรีนครินทร์-บางปะกง	0.38	36	315	หัวไผ่ - ชลบุรี	0.18
9	7	บางปะกง-หนองรี	0.71	37	7	บางปะกง-หนองรี	0.20
10	7	บางปะกง-หนองรี	0.37	38	7	บางปะกง-หนองรี	0.24
11	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.50	39	7	หนองรี-หนองขาม	0.20
12	34	บางนา-สุวรรณภูมิ	0.20	40	7	หนองรี-หนองขาม	0.24
13	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.50	41	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
14	34	สุวรรณภูมิ-บางวัว	0.16	42	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
15	34	บางวัว-บางปะกง	0.42	43	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.36
16	34	บางวัว-บางปะกง	0.16	44	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.38
17	7	บางวัว-บางควาย	0.25	45	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.53
18	7	บางวัว-บางควาย	0.24	46	3	หนองไม้แดง-ชลบุรี	0.51
19	7	บางปะกง-หนองรี	0.60	47	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.35
20	7	บางปะกง-หนองรี	0.28	48	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.34
21	34	บางวัว-บางปะกง	0.75	49	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.27
22	34	บางวัว-บางปะกง	0.29	50	361	ทางเลี้ยวเมืองชลบุรี	0.22
23	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.28	51	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.26
24	314	บางปะกง-แสนภูคาย	0.99	52	7	หนองข้างคอก-คีรี	0.23
25	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.81	53	7	หนองรี-หนองขาม	0.50
26	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 1)	0.16	54	7	หนองรี-หนองขาม	0.54
27	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.24	55	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.68
28	7	บางปะกง-หนองรี (ตอน 2)	0.32	56	3	ชลบุรี-ศรีราชา	0.75
29	3	บางวัว-บางปะกง	0.49	57	3	ศรีราชา-พัทยา	0.68
30	3	บางวัว-บางปะกง	0.37	58	3	ศรีราชา-พัทยา	0.75
31	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.49	59	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.67
32	3	บางปะกง-หนองไม้แดง	0.37	60	7	หนองขาม-แหลมฉบัง	0.75
T1	-	ถนนขาเข้า ICD	0.18	T3	-	ถนนขาออก ท่าเรือ	0.53
T2	-	ถนนขาออก ICD	0.17	T4	-	ถนนขาเข้า ท่าเรือ	0.27
Rail	-	ICD ไปท่าเรือแหลมฉบัง	0.61	Rail	-	ท่าเรือแหลมฉบังไป ICD	0.37

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ ชื่อสกุล

นายรพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์)

เกียรตินิยมอันดับสอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีที่สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2556

ผลงานทางวิชาการ

Chaiprasittikul, R.;Tanakitjumnroon P. and Bussabong, P. 2013. Solving Traffic Light Problems at Pracha Uthit Area by Dynamic Programming. In **39th Congress on Science and Technology of Thailand**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi. Page 50.

รพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล และสรารุช จันทร์สุวรรณ. 2559. การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง กับท่าเรือแหลมฉบัง. ใน **การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2559**. กรุงเทพมหานคร: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.หน้า 34.

รพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล และสราวุธ จันทร์สุวรรณ. 2559. การพัฒนาแผนเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่ายการขนส่งสินค้าด้วยตัวแบบ Network Reserved Capacity Model กรณีศึกษา การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบังกับท่าเรือแหลมฉบัง. ในการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานครั้งที่ 16. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. หน้า 143.