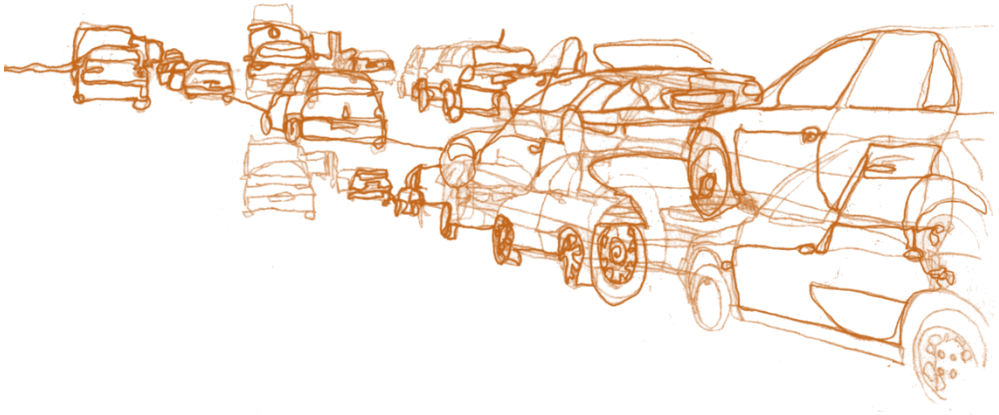
Operations Research Network of Thailand 2016

OR049

การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบังกับท่าเรือแหลมฉบัง

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



โดย นายรพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล และ ดร. สราวุธ จันทร์สุวรรณ
สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ความสำคัญของปัญหา I ปัญหาจราจรแออัด

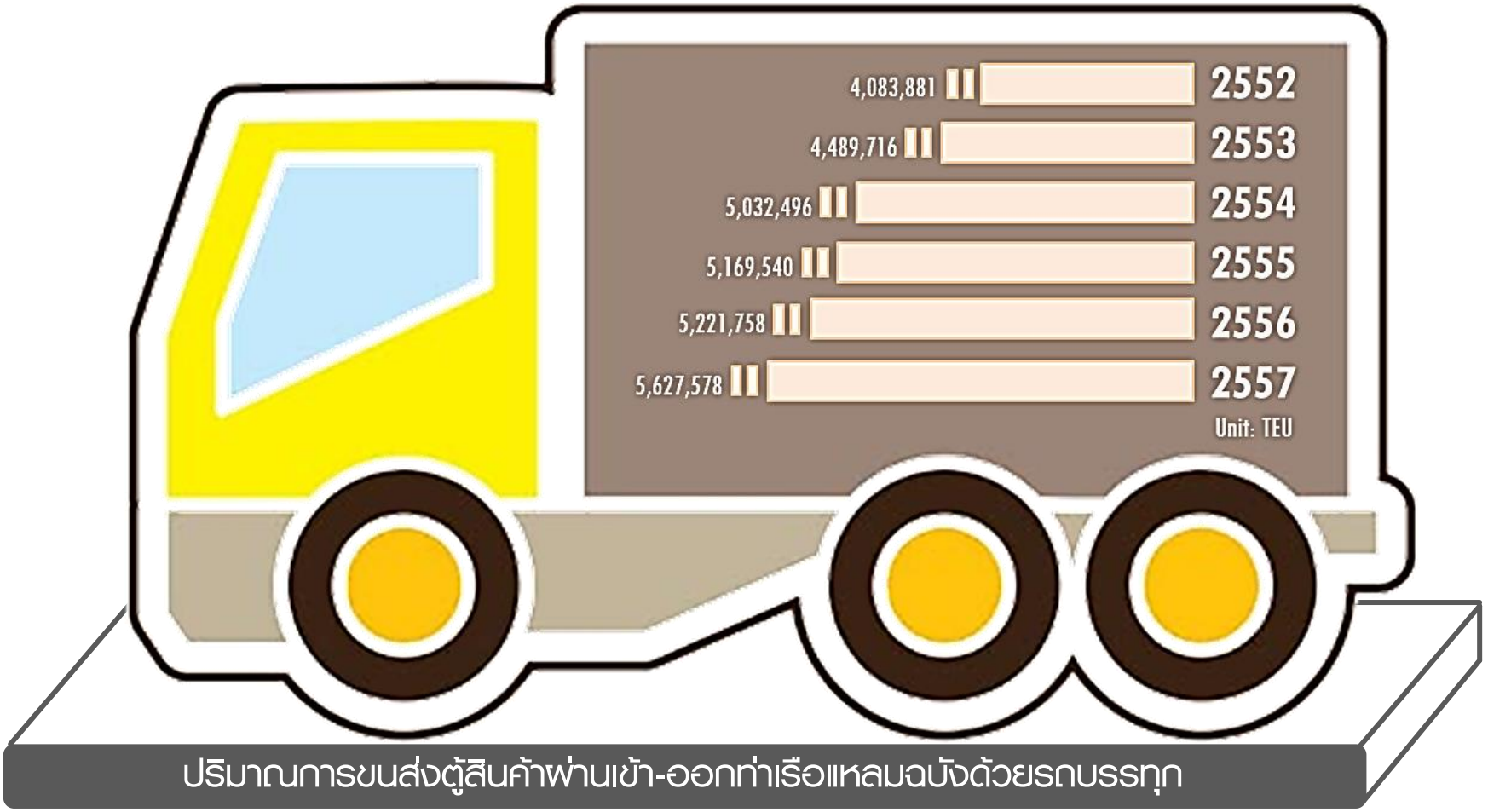
7 ขาออก กทม. วันที่ 17 มีนาคม 2559 เวลา 09.28 น.

7 ขาเข้า กทม. วันที่ 17 มีนาคม 2559 เวลา 17.33 น.

34 ขาออก กทม. วันที่ 7 กันยายน 2555

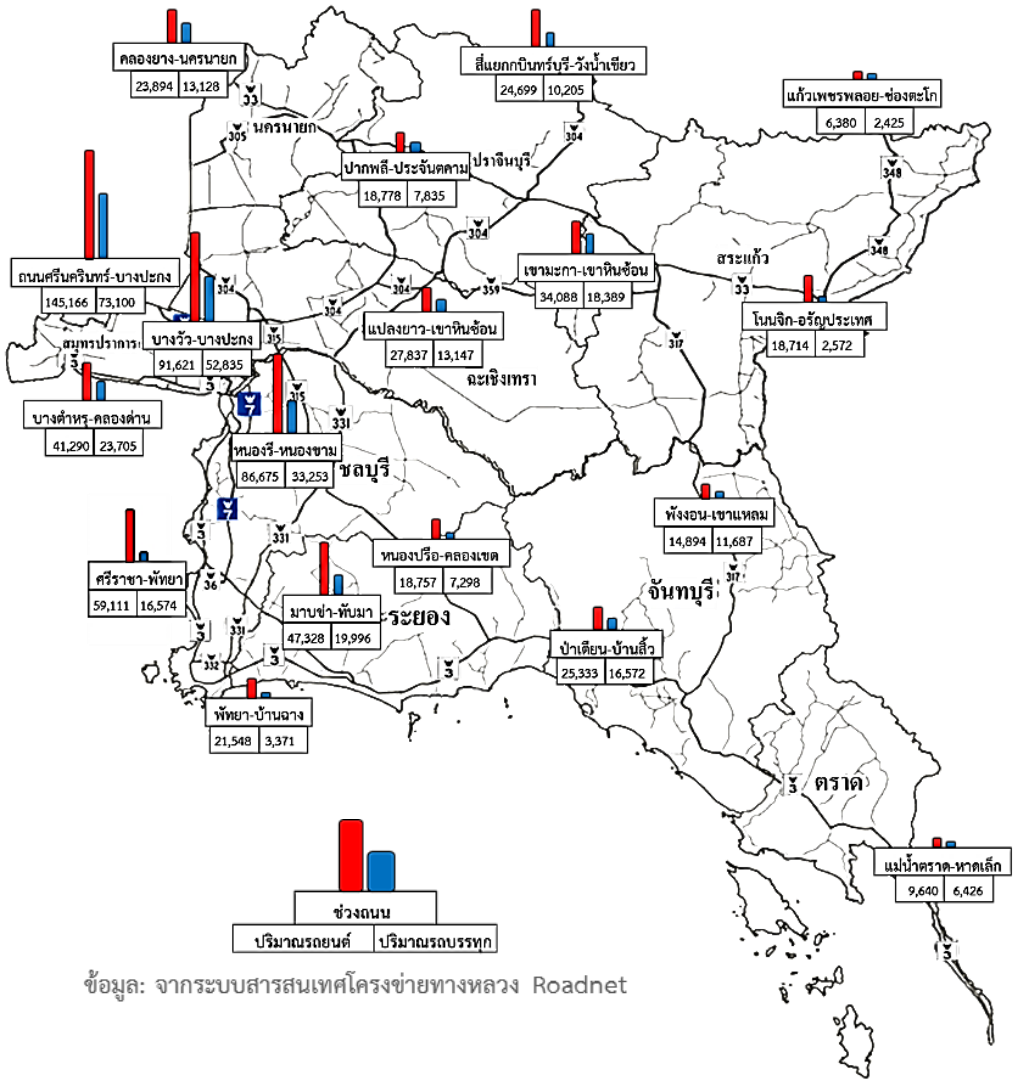
3 ทางแยกเข้าท่าเรือแหลมฉบัง วันที่ 1 สิงหาคม 2558

ความสำคัญของปัญหา I การเพิ่มขึ้นของปริมาณตู้สินค้าที่ขนส่ง



ปริมาณการขนส่งตู้สินค้าผ่านเข้า-ออกท่าเรือแหลมฉบังด้วยรถบรรทุก

โครงข่ายการขนส่งสินค้า I ระหว่าง ICD ลาดกระบัง กับ ท่าเรือแหลมฉบัง



ข้อมูล: จากระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง Roadnet

ปริมาณรถยนต์และรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวัน (AADT) บนช่วงถนนสายหลักของพื้นที่

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

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

พัฒนาแบบจำลองด้านการจราจร สำหรับวิเคราะห์ความจุ ของโครงข่าย

ปัญหาสองระดับ
(Bi-Level Programming Problem)

จัดทำแนวทางการแก้ไขและพัฒนา โครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่

ชี้วัดความเร่งด่วนในการปรับปรุงและเพิ่มความจุ
ให้กับเส้นทางที่เป็นจุดคอขวด

แนวคิดเรื่องการวางแผนการเดินทาง I Transportation Planning

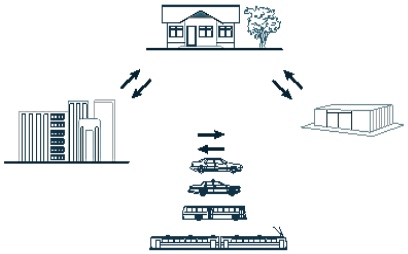
แบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (4-Step Models)

มีการผลิตและบริโภค
ที่ไหนและมีปริมาณเท่าไร

Trip Generation Model
(การเกิดการเดินทาง)

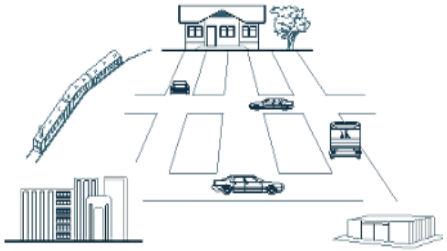
เดินทางจากจุดใดและไปที่ไหน

Trip Distribution Model
(การกระจายการเดินทาง)



ใช้การเดินทางรูปแบบใด

Modal Split Model
(การเลือกยานพาหนะเดินทาง)



ใช้การเดินทางใช้เส้นทางไหน

Trip Assignment
(การแจงแจงการเดินทาง)

ความจุ (Capacity) ของเส้นทางในการขนส่ง

"ปริมาณจราจรที่มากที่สุดที่สามารถสัญจร
ผ่านสิ่งอำนวยความสะดวกในการขนส่งได้"

Yosef Sheffi (1985: 17)

แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย (Capacity Flexibility)

ความหมายของความยืดหยุ่นด้านความจุของการขนส่ง

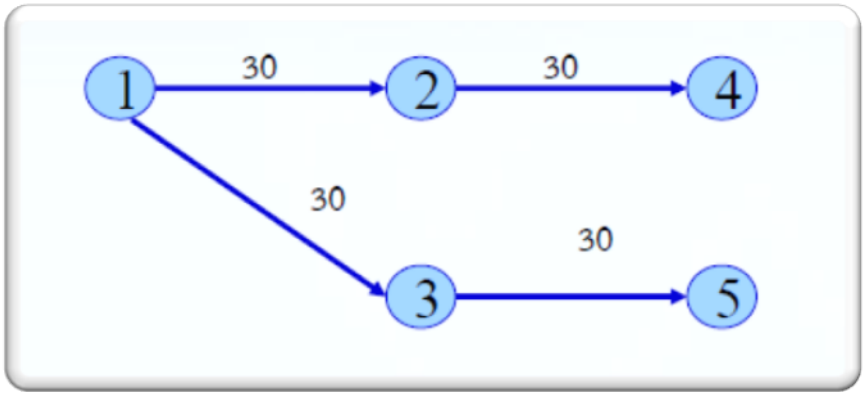
“ความสามารถของระบบขนส่งที่รองรับการเปลี่ยนแปลง
ความต้องการใช้ปริมาณจราจร
ในขณะที่ระบบยังคงรักษาไว้ซึ่งระดับการให้บริการเดิม”

Edward K. Morlok and David J. Chang (2004)

ตัวอย่างการเพิ่มความยืดหยุ่นด้านความจุของการขนส่ง

การปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรบนสะพานกรุงธน

แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย (Capacity Flexibility)



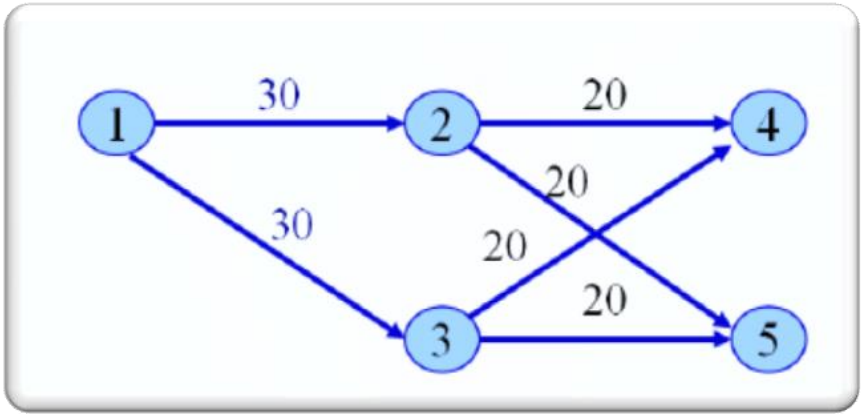
With a demand pattern

O-D(1-4) = 30 O-D(1-5) = 30

With a demand pattern

O-D(1-4) = 20 O-D(1-5) = 40

ไม่สามารถตอบสนอง demand ได้

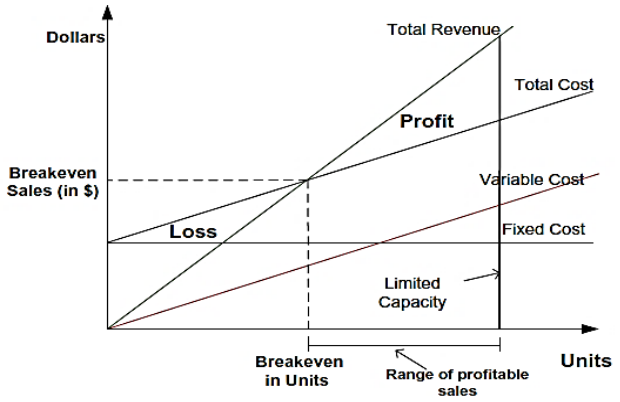


With a demand pattern

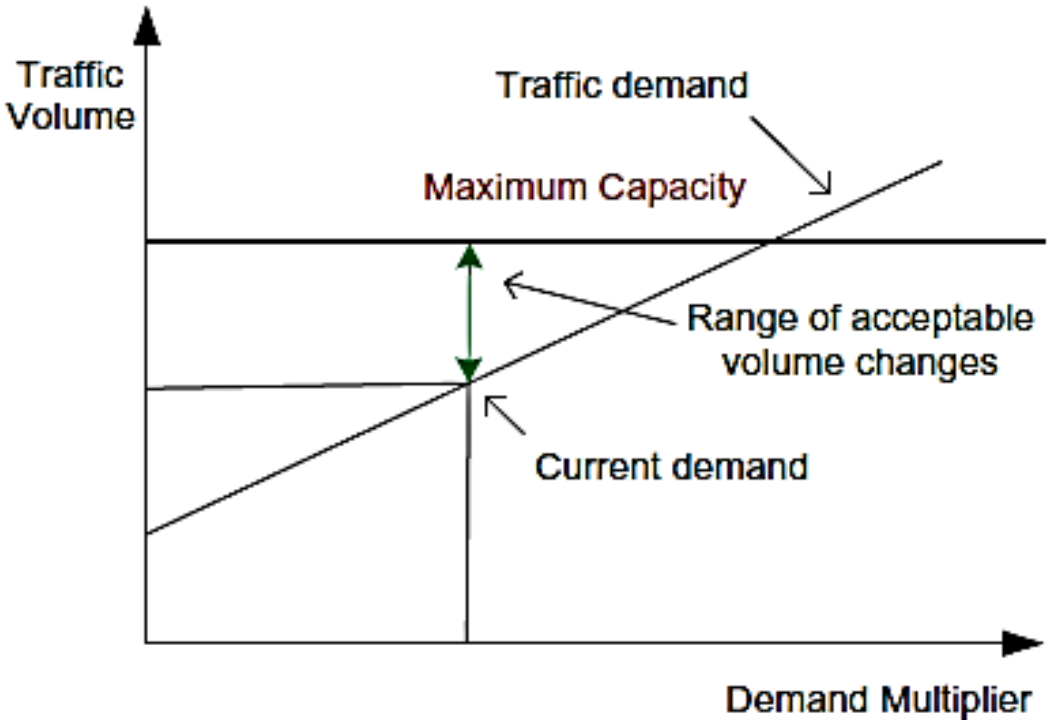
O-D(1-4) = 20 O-D(1-5) = 40

สามารถตอบสนอง demand ได้

แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย (Capacity Flexibility)



แนวคิดการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Point)



แนวคิดการวิเคราะห์ความจุสำรอง (Reserve Capacity)

Measure an Acceptable change of Traffic Volume

(The demand pattern is fixed)

Chen and Kasikitwiwat, 2011

แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า

ปัญหาระดับบน (Upper Level Problem)

สมการเป้าประสงค์ (Objective Function)

$$\max \mu \quad (1)$$

ทำให้ค่า μ สูงที่สุด (เพิ่มอุปสงค์การเดินทางเข้าไปให้ได้มากที่สุด)

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$v_a(\mu q) \le C_a \ , \forall a \in A \quad (2)$$

ความจุจากการแจกแจงปริมาณจราจรต้องไม่เกินความจุของเส้นทางนั้น (ค่าความจุสูงสุดที่ LOS E)

ตัวแปรที่สำคัญ

- μ : ตัวแปรทวีคูณของความจุสำรองในโครงข่าย
- v_a : ปริมาณจราจรบนสายทาง (Link) ที่ a
- C_a : ความจุของปริมาณจราจรบนสายทาง (Link) ที่ a
- q : ปริมาณการเดินทางระหว่างคู่จุดต้นทางและจุดปลายทาง
- t_a : ระยะเวลาเดินทางของยานพาหนนบนะสายทาง (Link) ที่ a
- f_k^{rs} : ปริมาณการเดินทางของยานพาหนะบนเส้นทาง (Path) ที่ k
- $\delta_{a,k}^{rs}$: ตัวบ่งชี้ในกรณีที่สายทาง a เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง k

ปัญหาระดับล่าง (Lower Level Problem)

สมการเป้าประสงค์ (Objective Function)

$$\min_{v(\mu q)} \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(\omega) d\omega \quad (3)$$

สมการแจกแจงปริมาณจราจร ณ สถานะสมดุลของผู้เดินทาง

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} = \mu q_{rs} \ ; \forall r \in R, s \in S \quad (4)$$

ผลรวมปริมาณจราจรทุกสายทาง (Path) จาก i ไป j เท่ากับปริมาณอุปสงค์การเดินทางจาก i ไป j ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน

$$v_a = \sum_{r \epsilon R} \sum_{s \epsilon S} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \ , \ \forall a \in A \quad (5)$$

ปริมาณจราจรของทุกเส้นทาง (Link) เท่ากับ ผลรวมปริมาณจราจรทุกสายทาง (Path) จาก i ไป j โดยเป็นสายทางที่ผ่านเส้นทางนั้นด้วย

$$f_k^{rs} \ge 0, \forall k \in K_{rs} \ , r \in R, s \in S \quad (6)$$

ปริมาณจราจรบนสายทางใดๆจะไม่ติดลบ

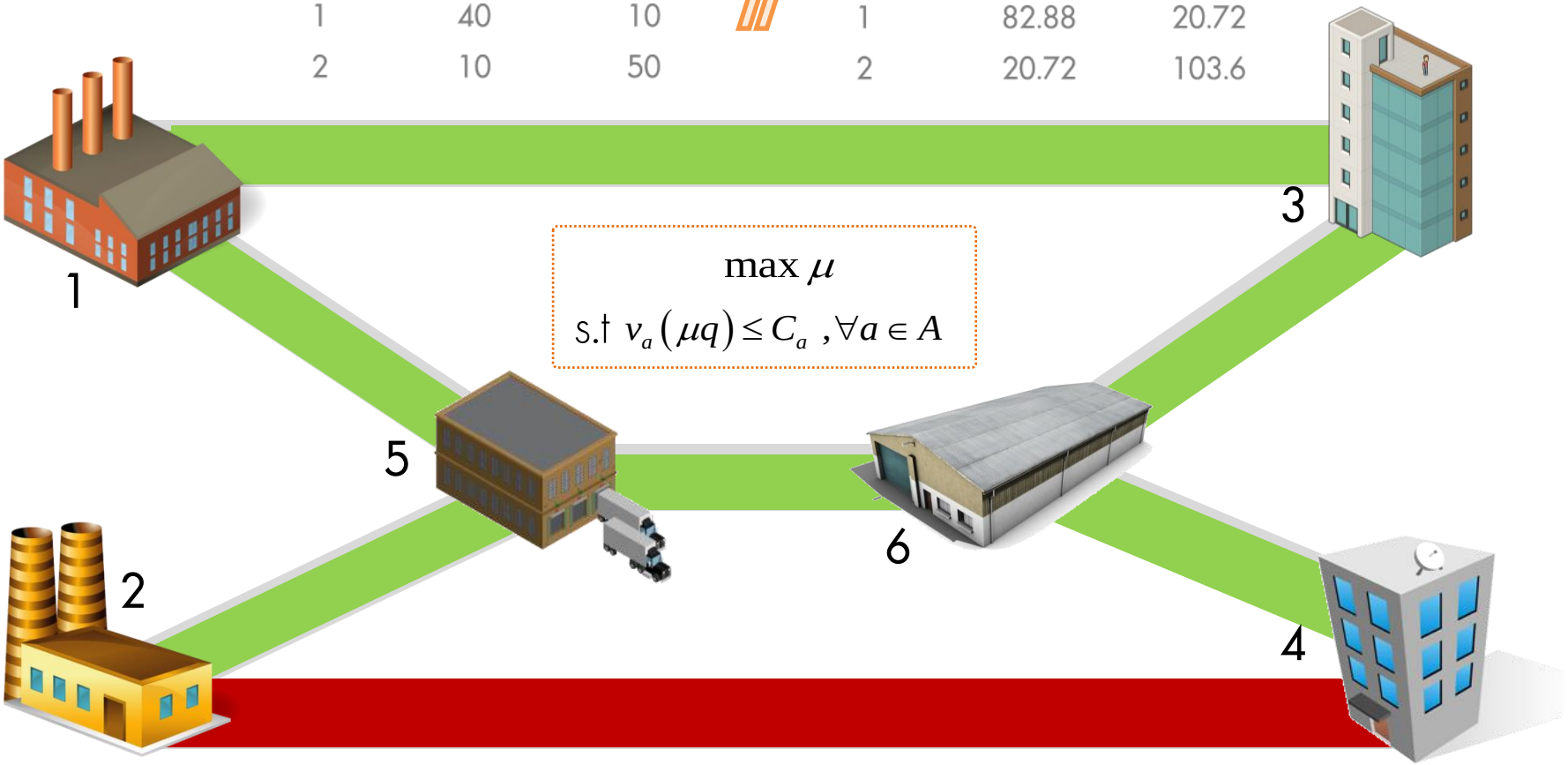
ปัญหาระดับบน (Upper Level Problem)

Existing Demand

O/D	3	4
1	40	10
2	10	50

New O-D Flow

O/D	3	4
1	82.88	20.72
2	20.72	103.6



$$\max \mu$$

$$\text{s.t } v_a(\mu q) \le C_a \ , \forall a \in A$$

แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า

ปัญหาระดับล่าง (Lower Level Problem)

สมการเป้าประสงค์ (Objective Function)

$$\min_{v(\mu q)} \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(\omega)\, d\omega$$

สมการแจกแจงปริมาณจราจร ณ สถานะสมดุลของผู้เดินทาง

สมการข้อจำกัด (Constraints)

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

ผลรวมปริมาณจราจรทุกสายทาง (Path) จาก i ไป j เท่ากับ ปริมาณอุปสงค์การเดินทางจาก i ไป j ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน

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

ปริมาณจราจรของทุกเส้นทาง (Link) เท่ากับ ผลรวมปริมาณจราจรทุกสายทาง (Path) จาก i ไป j โดยเป็นสายทางที่ผ่านเส้นทางนั้นด้วย

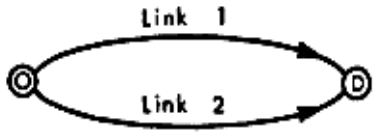
$$f_k^{rs} \geq 0, \forall k \in K_{rs} \; , r \in R, s \in S$$

ปริมาณจราจรบนสายทางใดๆจะไม่ติดลบ

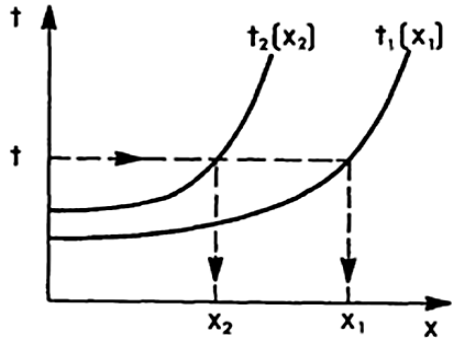
แนวคิดเรื่องจุดสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium)

"ความพยายามปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางของผู้ขับขี่จะสิ้นสุดลง เมื่อระบบเข้าสู่สถานะที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ระยะเวลาในการเดินทางของแต่ละคนสั้นลงได้อีกแล้ว"

Yosef Sheffi (1985: 22)



$$q = x_1 + x_2$$



แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้า

ปัญหาระดับล่าง (Lower Level Problem)

สมการเป้าประสงค์ (Objective Function)

$$\min_{v(\mu q)} \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(\omega)\, d\omega$$

สมการแจกแจงปริมาณจราจร ณ สถานะสมดุลของผู้เดินทาง

สมการข้อจำกัด (Constraints)

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

ผลรวมปริมาณจราจรทุกสายทาง (Path) จาก *i* ไป *j* เท่ากับ ปริมาณอุปสงค์การเดินทางจาก *i* ไป *j* ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน

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

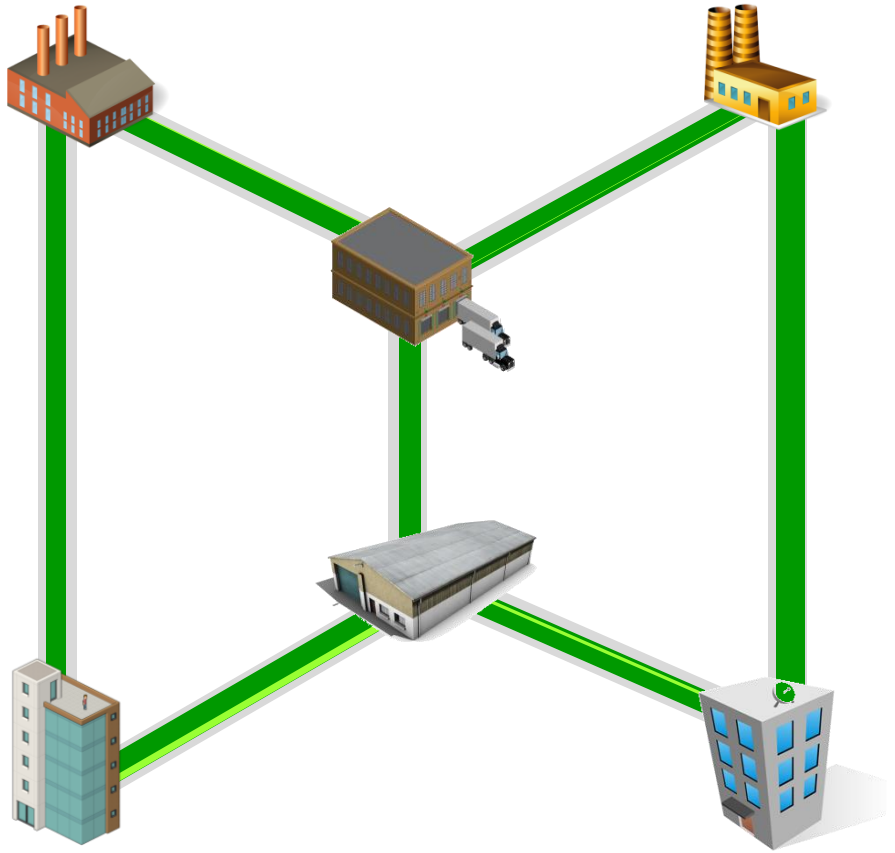
ปริมาณจราจรของทุกเส้นทาง (Link) เท่ากับ ผลรวมปริมาณจราจรทุกสายทาง (Path) จาก *i* ไป *j* โดยเป็นสายทางที่ผ่านเส้นทางนั้นด้วย

$$f_k^{rs} \geq 0, \forall k \in K_{rs} \; , r \in R, s \in S$$

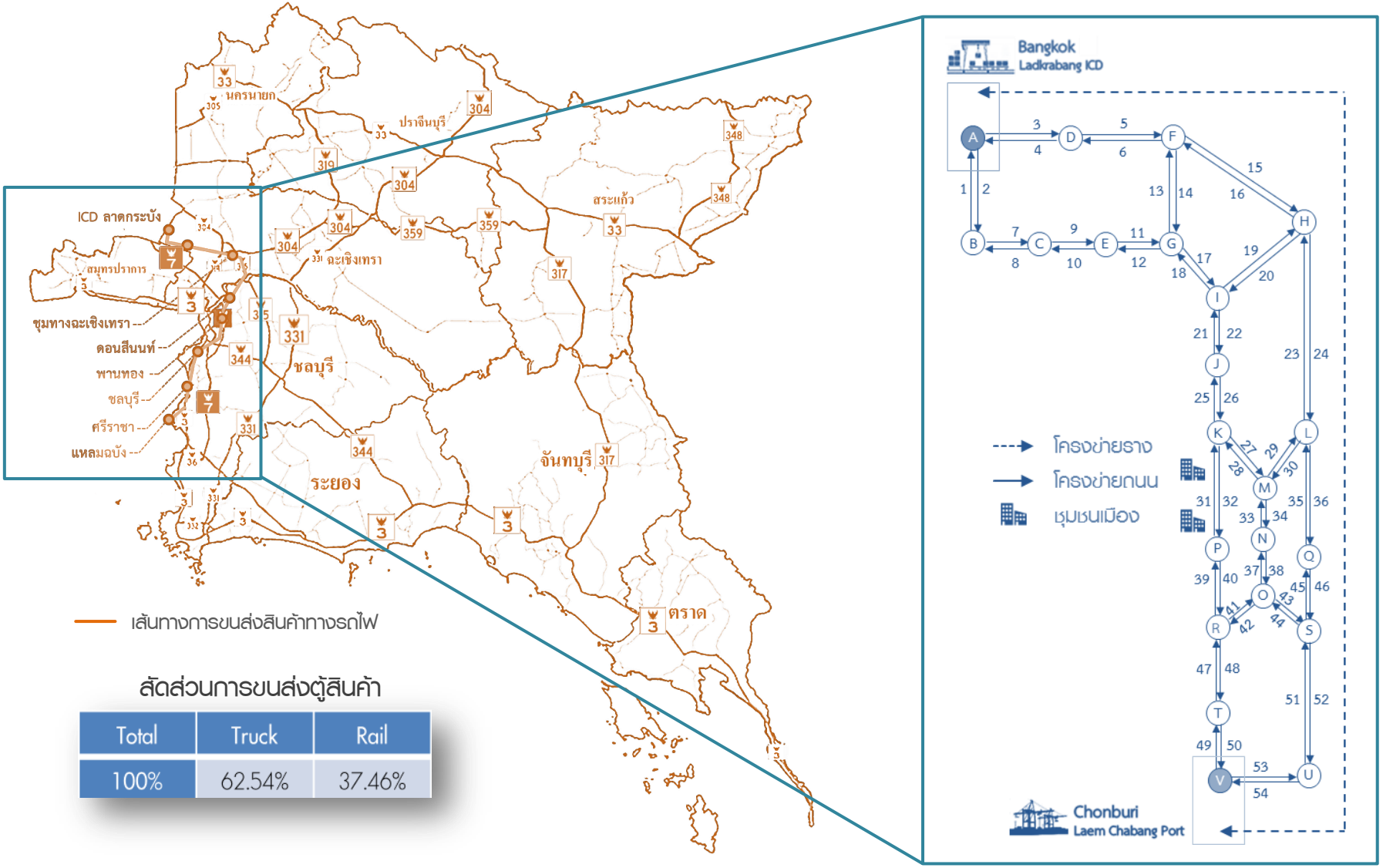
ปริมาณจราจรบนสายทางใดๆจะไม่ติดลบ

BPR (Bureau of Public Road) Function

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left[1 + 0.15 (v_a / C_a)^4 \right]$$



โครงข่ายการขนส่งสินค้า I ระหว่าง ICD ลาดกระบัง กับ ท่าเรือแหลมฉบัง



สัดส่วนการขนส่งตู้สินค้า

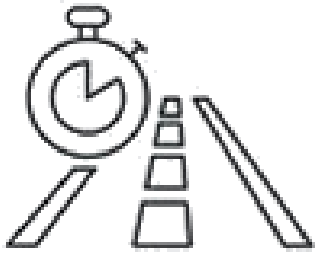
Total	Truck	Rail
100%	62.54%	37.46%

การประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่ที่ศึกษา

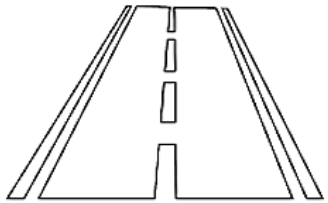
การพิจารณาความจุของเส้นทางการขนส่ง (LOS E)

ประเภทของทางเชื่อม	ความเร็ว (km./hour)	จำนวนช่องทาง	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

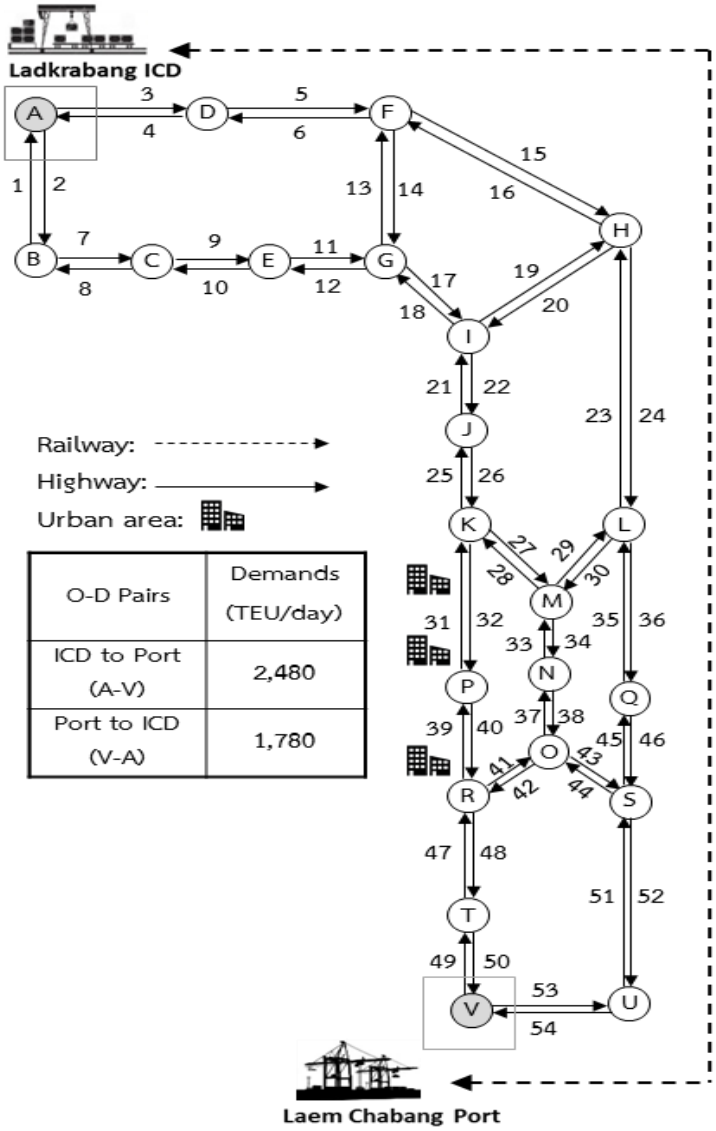
Free-Flow Travel Time



Link Capacity



การประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่ที่ศึกษา

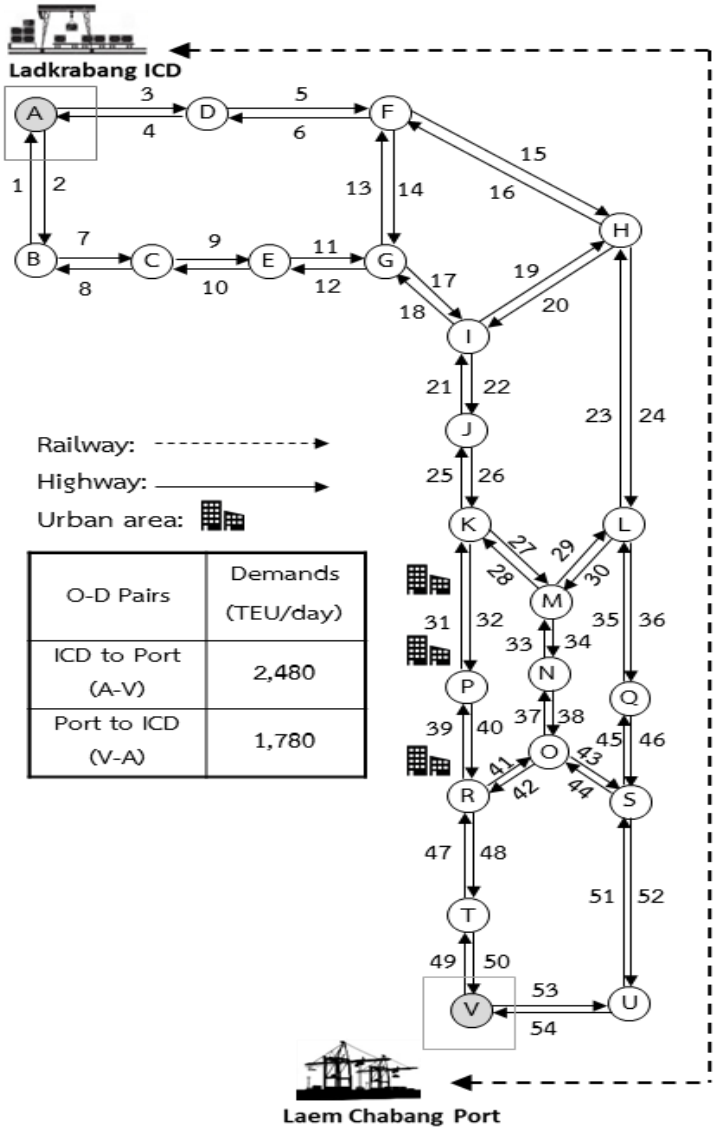


O-D Pairs	Demands (TEU/day)
ICD to Port (A-V)	2,480
Port to ICD (V-A)	1,780

เส้นทางการขนส่งสินค้า (Path) ทั้งหมดในโครงข่าย

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

การประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้าในพื้นที่ที่ศึกษา



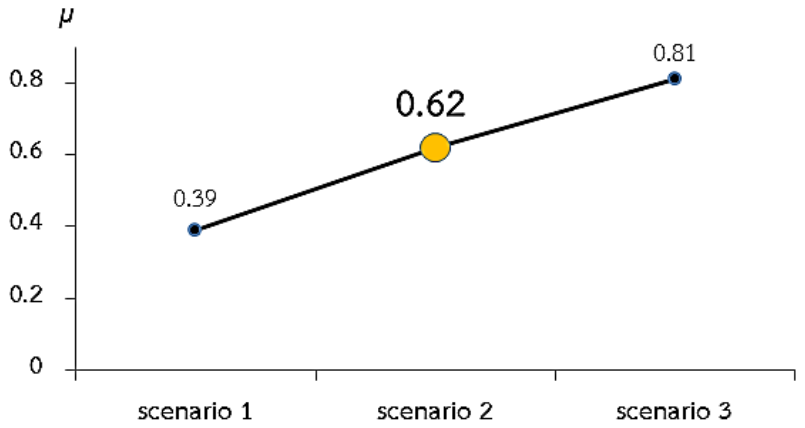
O-D Pairs	Demands (TEU/day)
ICD to Port (A-V)	2,480
Port to ICD (V-A)	1,780

สัดส่วนการขนส่งตู้สินค้าในแต่ละสถานการณ์

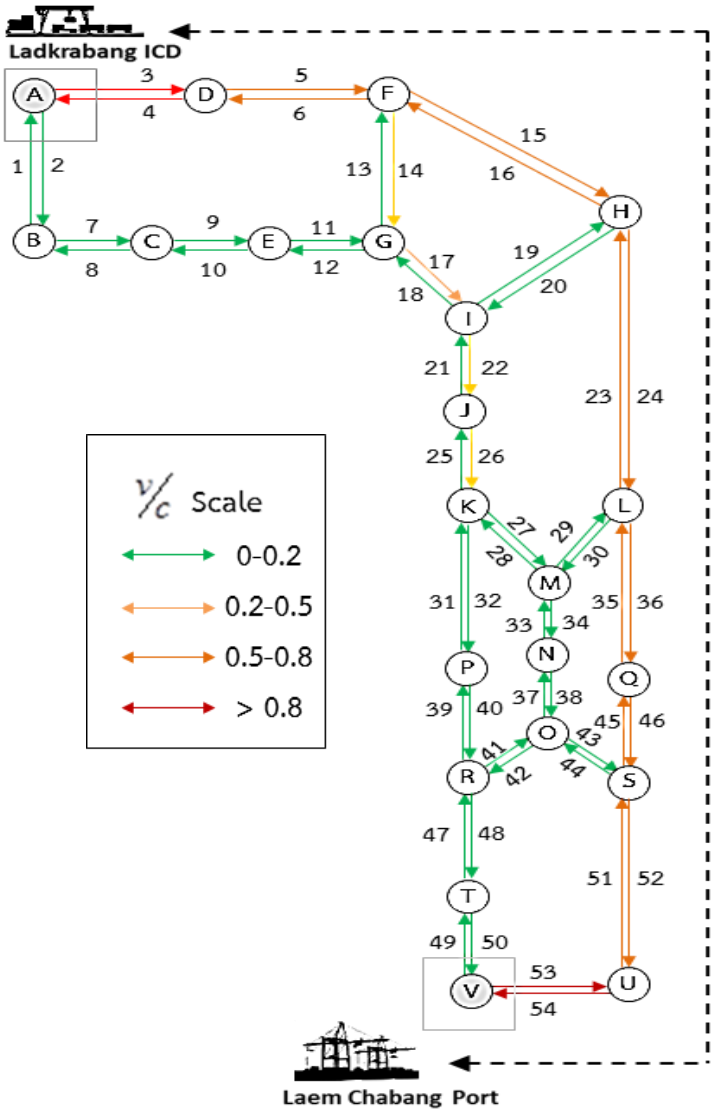
	Truck	Rail	Total
Scenario 1	100.00%	-	100%
Scenario 2 (Now)	62.54%	37.46%	100%
Scenario 3 (Future)*	49.00%	51.00%	100%

*Developed Single Rail Transfer Operator (SRTO) project

ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย



การพิจารณาหาจุดคอขวด (Bottleneck) ของโครงข่ายการขนส่งสินค้า

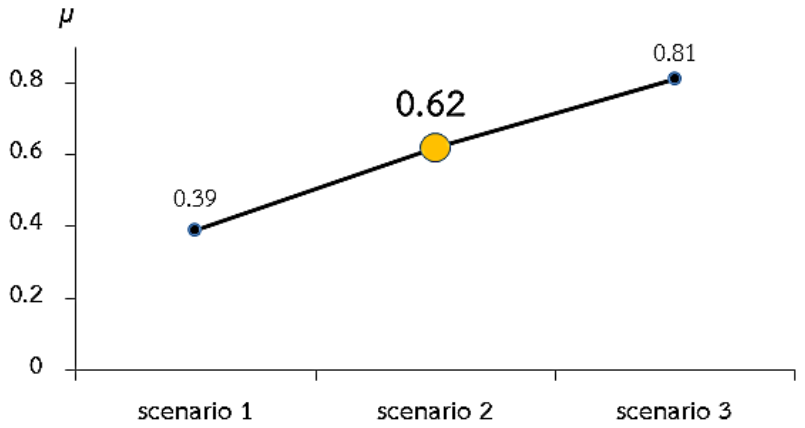


สัดส่วนการขนส่งตู้สินค้าในแต่ละสถานการณ์

	Truck	Rail	Total
Scenario 1	100.00%	-	100%
Scenario 2 (Now)	62.54%	37.46%	100%
Scenario 3 (Future)*	49.00%	51.00%	100%

*Developed Single Rail Transfer Operator (SRTO) project

ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่าย



การประยุกต์ใช้ผลการศึกษา

การประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบการประเมินความยืดหยุ่นความจุ สำหรับงานวางแผน

1. ทดสอบความเพียงพอของความจุโครงข่ายในปัจจุบัน

หากเพียงพออยู่แล้วก็จะใช้ช่วยในการคาดการณ์ว่าในปีอนาคตปีใดที่โครงข่ายการขนส่งสินค้าที่มีอยู่จะเริ่มมีปัญหา

2. ทราบจุดคอขวด (Bottleneck) ของโครงข่าย

นักวางแผนจะนำเอาข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ไปประกอบการตัดสินใจเพื่อการขยายความจุ

3. นำไปประยุกต์ใช้ในการสนับสนุนการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

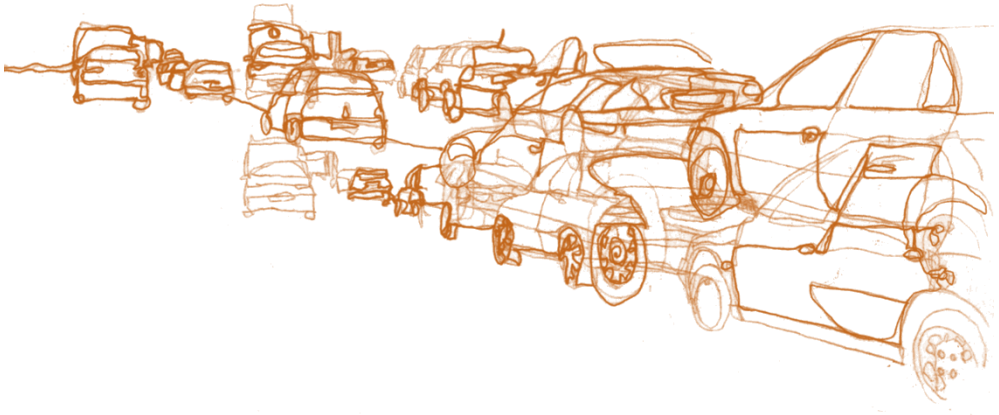
ความยืดหยุ่นความจุของโครงข่ายที่มีสองรูปแบบการขนส่งจะมีค่าสูงกว่าโครงข่ายที่มีรูปแบบเดียว

Operations Research Network of Thailand 2016

OR049

การประเมินความยืดหยุ่นด้านความจุของโครงข่ายการขนส่งสินค้าระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบังกับท่าเรือแหลมฉบัง

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



โดย นายรพีพัฒน์ ชัยประสิทธิกุล และ ดร. สราวุธ จันทร์สุวรรณ
สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์