การศึกษาออกแบบโครงข่ายการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อสนับสนุนการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง *กรณีศึกษา ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกของประเทศไทย*

A Study on Multimodal Freight Transportation Network Design for Supporting Modal Shift: Case of Eastern Economic Corridor in Thailand

-031-

โดย นางสาวอภิสรา เกตุพงษ์ชัย และ ดร.สราวุธ จันทร์สุวรรณ

สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2561

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

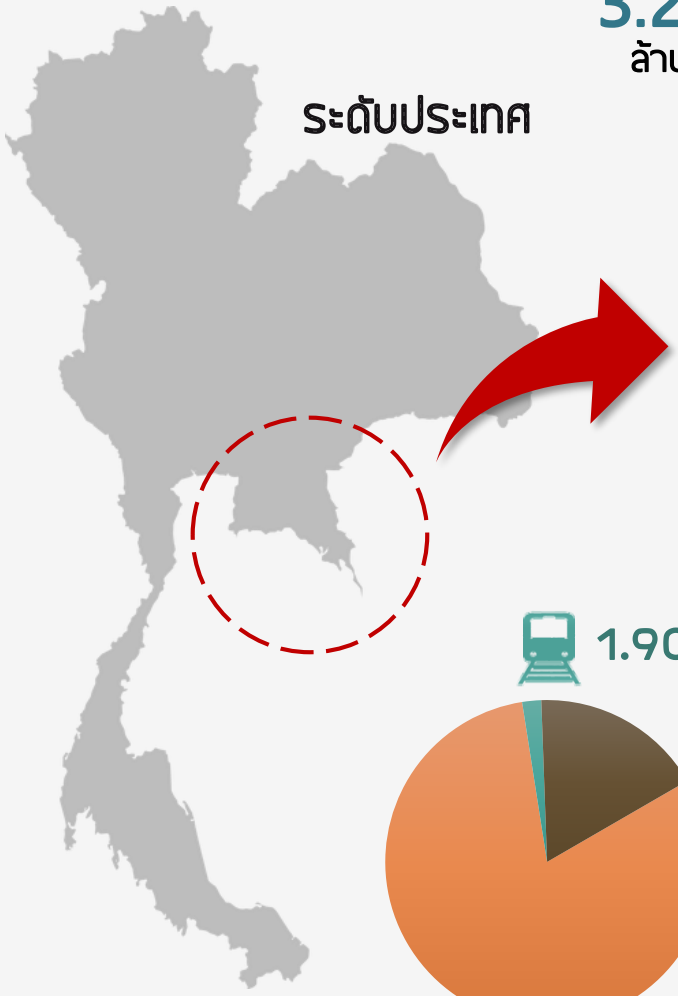
23-24 เมษายน 2561 พัทยา ชลบุรี

ความสำคัญของปัญหา *สัดส่วนการขนส่งสินค้า*

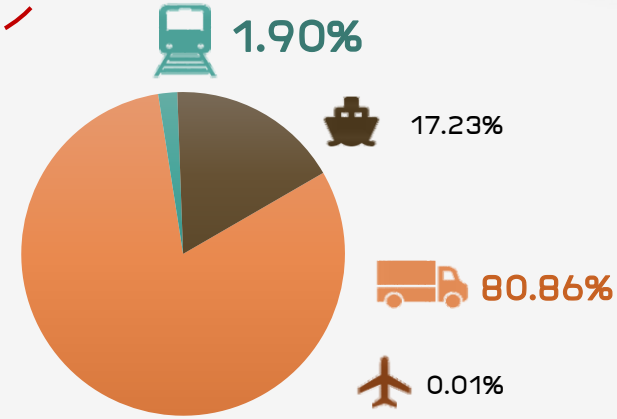
3.2 ล้านตัน/วัน → 2.1 ล้านตัน/วัน

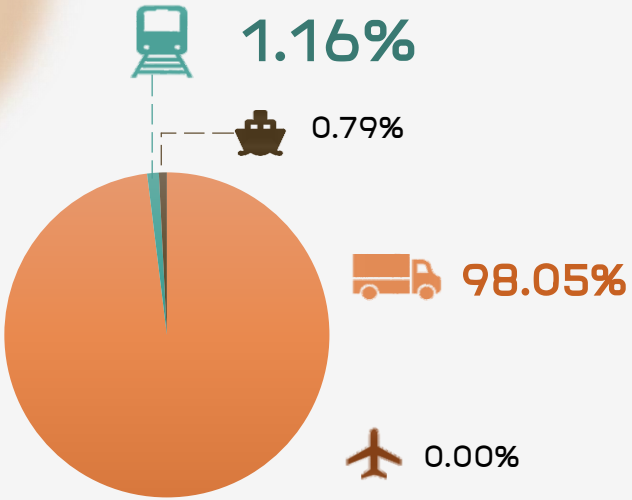
66.62%

ระดับประเทศ



ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC)





ที่มา : การศึกษาพัฒนาระบบเครือข่ายโลจิสติกส์รองรับการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษรูปแบบอุตสาหกรรมอนาคต Super Cluster และประตูการค้าสาคัญของประเทศของ (สนข.)

ความสำคัญของปัญหา

วัตถุประสงค์

ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์โครงข่ายการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ และพิจารณาความจุสำรองของโครงข่าย

ออกแบบโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

ทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกของประเทศไทย

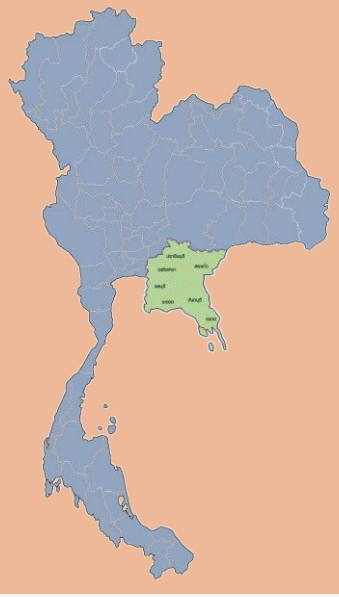
จัดทำแนวทางในการเพิ่มสัดส่วนการขนส่งทางราง

ศึกษาหาแนวทางการจัดการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมในการเพิ่มสัดส่วนการขนส่งทางราง โดยใช้กรณีศึกษาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบบริเวณระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก

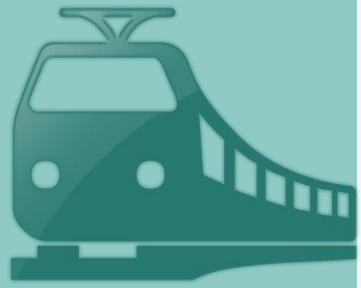
ขอบเขตการศึกษา

ศึกษา**การขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ** (Multimodal Transportation) โดยเน้นพิจารณาการขนส่งสินค้าทางถนนและทางราง

พื้นที่กรณีศึกษา บริเวณ**ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก** ของประเทศไทย (EEC)

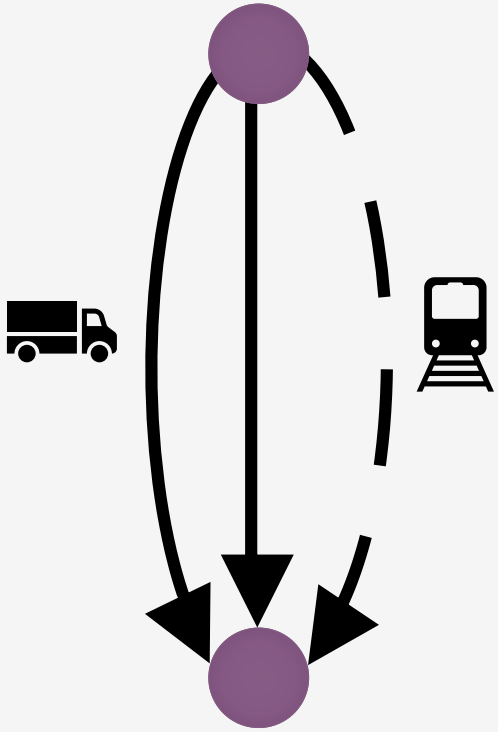


พิจารณาเฉพาะการขนส่งสินค้าทาง**รถบรรทุก**และทาง**ราง**เท่านั้น



ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (Four Step Models)

1. **Trip Generation Model** (การเกิดการเดินทาง) — มีการผลิตและบริโภคที่ไหน? และมีปริมาณเท่าไร?
2. **Trip Distribution Model** (การกระจายการเดินทาง) — เดินทางจากจุดไหน? และไปที่ไหน?
3. **Modal Split Model** (การเลือกยานพาหนะเดินทาง) — ใช้การเดินทางรูปแบบใด?
4. **Trip Assignment Model** (การแจงแจงการเดินทาง) — ใช้การเดินทางเส้นทางไหน?



ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

การเลือกรูปแบบการเดินทาง
(Modal Choice)

ทฤษฎีอรรถประโยชน์
(Utility Theory)

อรรถประโยชน์ คือความพึงพอใจที่ได้รับจากการที่รูปแบบการเดินทางที่ถูกเลือกสามารถสร้างความพึงพอใจให้เกิดขึ้นกับบุคคลที่เลือก

"ผู้เดินทางจะพยายามเลือกรูปแบบการเดินทางที่ได้รับอรรถประโยชน์มากที่สุด"

$$U_m = \beta_m + \sum_j \beta_j x_{mj} + \varepsilon$$

U_m : ความพึงพอใจหรืออรรถประโยชน์ของรูปแบบการเดินทาง m
β_m : ค่าพารามิเตอร์เฉพาะหรือค่าคงที่ของรูปแบบการเดินทาง m
β_j : ค่าสัมประสิทธิ์ของลักษณะการเดินทางที่มีอิทธิพลต่ออรรถประโยชน์ x_{mj}
x_{mj} : ชุดของลักษณะการเดินทางของรูปแบบการเดินทาง m เช่น เวลา และค่าใช้จ่ายในการเดินทาง เป็นต้น
ε_{in} : ส่วนของความพึงพอใจที่ไม่แน่นอน (Random Component)

แบบจำลองโลจิต
(Logit Model)

"พฤติกรรมการเลือกรูปแบบการเดินทางมีความไม่แน่นอนอยู่ในตัวเอง"

$$P_m = \frac{e^{U_m}}{\sum_{m'} e^{U_{m'}}}$$

P_m : ความน่าจะเป็นที่รูปแบบการเดินทาง m จะถูกเลือก
U_m: อรรถประโยชน์ที่ได้รับจากการเลือกรูปแบบการเดินทาง m

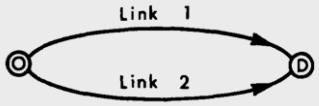
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

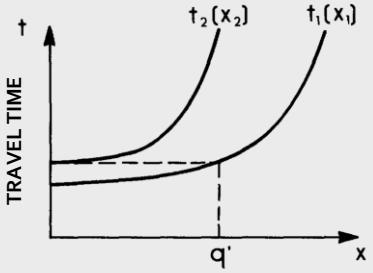
การเลือกเส้นทางการเดินทาง

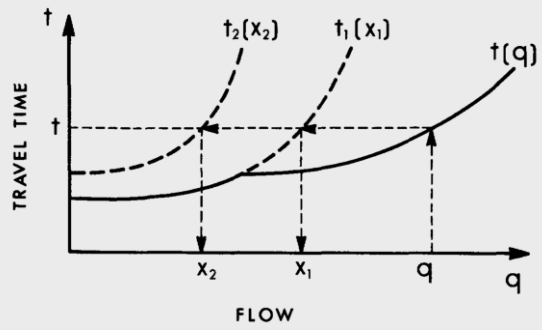
(Trip Assignment)

ดุลยภาพของผู้เดินทาง (User Equilibrium)

$$q = x_1 + x_2$$







Beckmann's transformation

$$\text{Min} \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x_a)dx$$

***BPR** (Bureau of Public Road) Function*

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

"ระยะเวลาการเดินทางในทุกสายทางที่ถูกเลือกใช้จะมีค่าเท่ากัน และจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาในการเดินทางที่น้อยที่สุดของสายทางที่ไม่ถูกเลือกใช้เสมอ"

ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

	Train Capacity	Network Capacity	Mode Choice	Route Choice
Abril et al. (2007)	✓			
Zhi-Chun Li et al. (2012: 30-49)			✓	
Da Wu et al. (2016: 69-74)				✓
Chen and Kasikitwiwat (2011: 105-117)		✓		✓
Jansuwan (2013)		✓	✓	✓

แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ

ปัญหาระดับบน $Max\ \mu$

สมการข้อจำกัด

$$v_a(q^{truck}) \le C_a \quad ,\forall a \in A$$

$$\sum_{s \in S} q_{rs}^{truck} + \sum_{s \in S} q_{rs}^{rail} \le o_r^{max} \quad ,\forall r \in R$$

$$\sum_{r \in R} q_{rs}^{truck} + \sum_{r \in R} q_{rs}^{rail} \le d_s^{max} \quad ,\forall s \in S$$

$$q_{rs}^{rail} \le \emptyset H_{rs}^{rail,max} \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

$$q_{rs}^{truck}, q_{rs}^{rail} \ge 0 \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

ปัญหาระดับล่าง $Min \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \int_0^{q_{rs}^{rail}} \left(\frac{1}{\beta} ln \frac{\omega}{q_{rs}^{total} - \omega} + y_{rs}^{rail} + \Psi_{rs} \right) d\omega$

สมการข้อจำกัด

$$q_{rs}^{total} = \mu q_{rs}^{\sim total} \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

$$q_{rs}^{truck} + q_{rs}^{rail} = q_{rs}^{total} \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

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

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

$$q_{rs}^{truck}, q_{rs}^{rail} > 0 \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

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

ตัวแปรที่สำคัญ

- μ : ตัวแปรทวีคูณความจุสำรองของโครงข่าย
- v_a : ปริมาณการจราจรบนทางเชื่อม (Link) a
- C_a : ความจุของทางเชื่อม (Link) a
- q_{rs} : ปริมาณอุปสงค์ของคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง $r - s$
- t_a : ระยะเวลาเดินทางบนทางเชื่อม (Link) a
- y_{rs}^{rail} : ระยะเวลาเดินทางของรถไฟบนคู่จุดต้นทาง-ปลายทาง $r - s$
- f_k^{rs} : ปริมาณการเดินทางบนสายทาง (Path) k
- δ_{ak}^{rs} : ตัวบ่งชี้ในกรณีที่เส้นทาง a เป็นส่วนหนึ่งของสายทาง k
- Ψ_{rs} : พารามิเตอร์ที่เป็นผลมาจากปัจจัยภายนอกของรถไฟ
- o_r^{max} : ปริมาณอุปทานสูงสุดที่ต้นทางสามารถผลิตได้
- d_s^{max} : ปริมาณอุปสงค์สูงสุดที่จุดปลายทางสามารถรับได้
- $\emptyset$: พารามิเตอร์แปลงหน่วยของรถไฟให้เป็น PCU
- β : พารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณค่าข้อมูล
- $H_{rs}^{rail,max}$: ความจุสูงสุดบนทางเชื่อมรถไฟ

แบบจำลองการประเมินความจุสำรองของโครงข่ายการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ

ปัญหาระดับบน

$$Max\ \mu$$

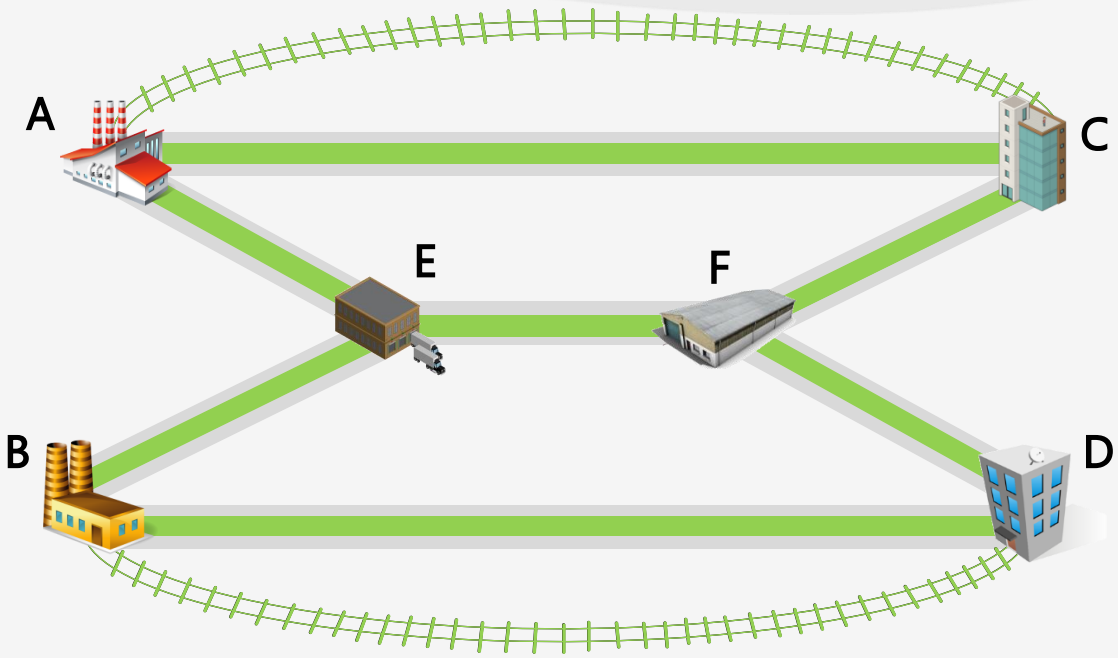
สมการข้อจำกัด

$$v_a(q^{truck}) \leq C_a \quad ,\forall a \in A$$

ปริมาณการจราจรในเส้นทาง (Link) ใด ๆ ต้องไม่เกินความจุของเส้นทางนั้น

$$q_{rs}^{rail} \leq \emptyset H_{rs}^{rail,max} \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

ปริมาณการขนส่งทางรางในแต่ละคู่ O-D ต้องไม่เกินความจุสูงสุดของรถไฟในเส้นทางนั้น



$$\sum_{s \in S} q_{rs}^{truck} + \sum_{s \in S} q_{rs}^{rail} \leq o_r^{max} \quad ,\forall r \in R$$

ผลรวมของปริมาณอุปสงค์การขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟต้องไม่เกินอุปทาน ณ จุดต้นทาง

$$\sum_{r \in R} q_{rs}^{truck} + \sum_{r \in R} q_{rs}^{rail} \leq d_s^{max} \quad ,\forall s \in S$$

ผลรวมของปริมาณอุปสงค์การขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟต้องไม่เกินอุปสงค์ ณ จุดปลายทาง

$$q_{rs}^{truck}, q_{rs}^{rail} \geq 0 \quad ,\forall r \in R, s \in S$$

ปริมาณอุปสงค์การขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟต้องมีค่ามากกว่า ศูนย์

แบบจำลองการเลือกรูปแบบและเส้นทางการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบ

ปัญหาระดับล่าง

$$Min \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \int_0^{q_{rs}^{rail}} \left(\frac{1}{\beta} ln \frac{\omega}{q_{rs}^{total} - \omega} + y_{rs}^{rail} + \Psi_{rs} \right) d\omega$$

สมการข้อจำกัด

$$q_{rs}^{truck} + q_{rs}^{rail} = q_{rs}^{total} \quad , \forall r \in R, s \in S$$

ผลรวมของปริมาณอุปสงค์การขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟต้องเท่ากับปริมาณอุปสงค์รวมทั้งหมด

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

ผลรวมของปริมาณการขนส่งทางถนนทุกสายทาง (Path) ในแต่ละคู่ O-D ต้องเท่ากับอุปสงค์การขนส่งทางถนนของคู่ O-D นั้น

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

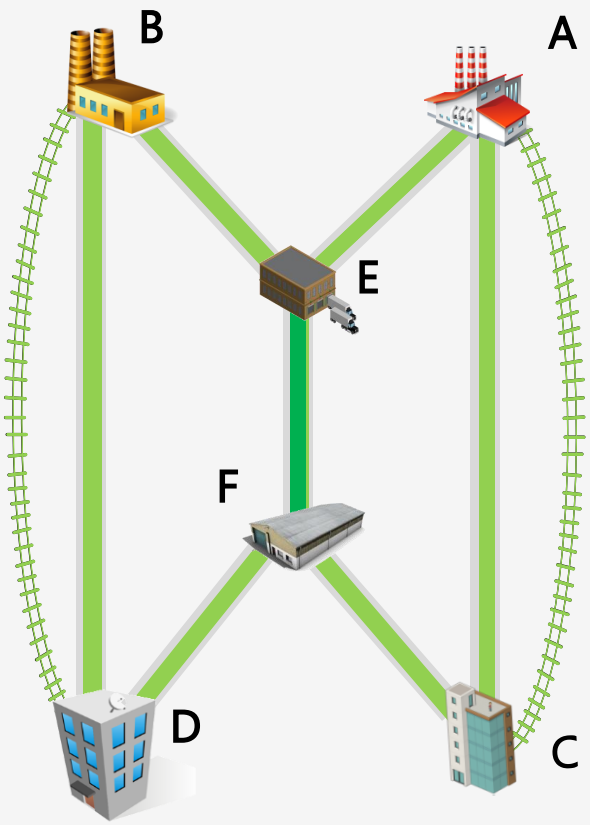
ปริมาณการจราจรของแต่ละเส้นทาง (Link) เท่ากับผลรวมของปริมาณการจราจรบนสายทาง (Path) ใด ๆ ที่ผ่านเส้นทางนั้น

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

ปริมาณการจราจรบนสายทาง (Path) ใด ๆ ต้องไม่ติดลบ

$$q_{rs}^{truck}, q_{rs}^{rail} > 0 \quad , \forall r \in R, s \in S$$

ปริมาณอุปสงค์การขนส่งทางรถบรรทุกและรถไฟต้องมีค่ามากกว่า ศูนย์



การประเมินความจุสำรองของโครงข่าย

Max μ

New O-D Demand 3

Increase μ

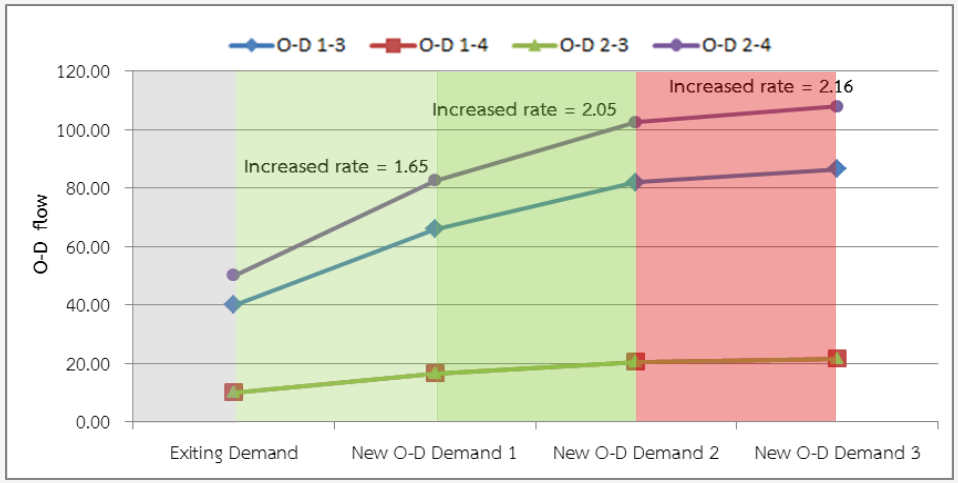
New O-D Demand 2

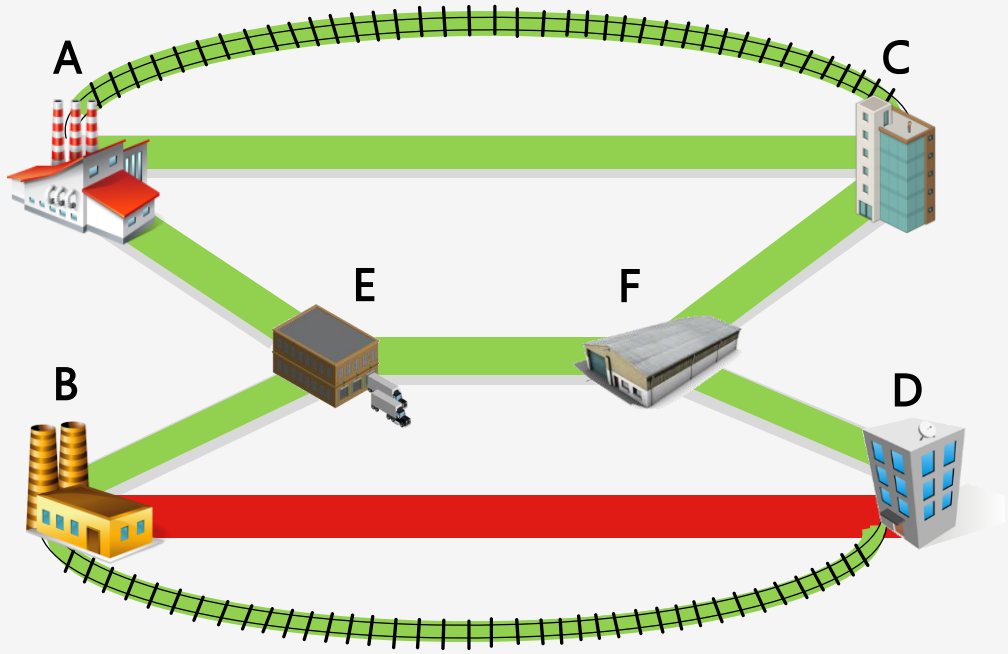
Increase μ

New O-D Demand 1

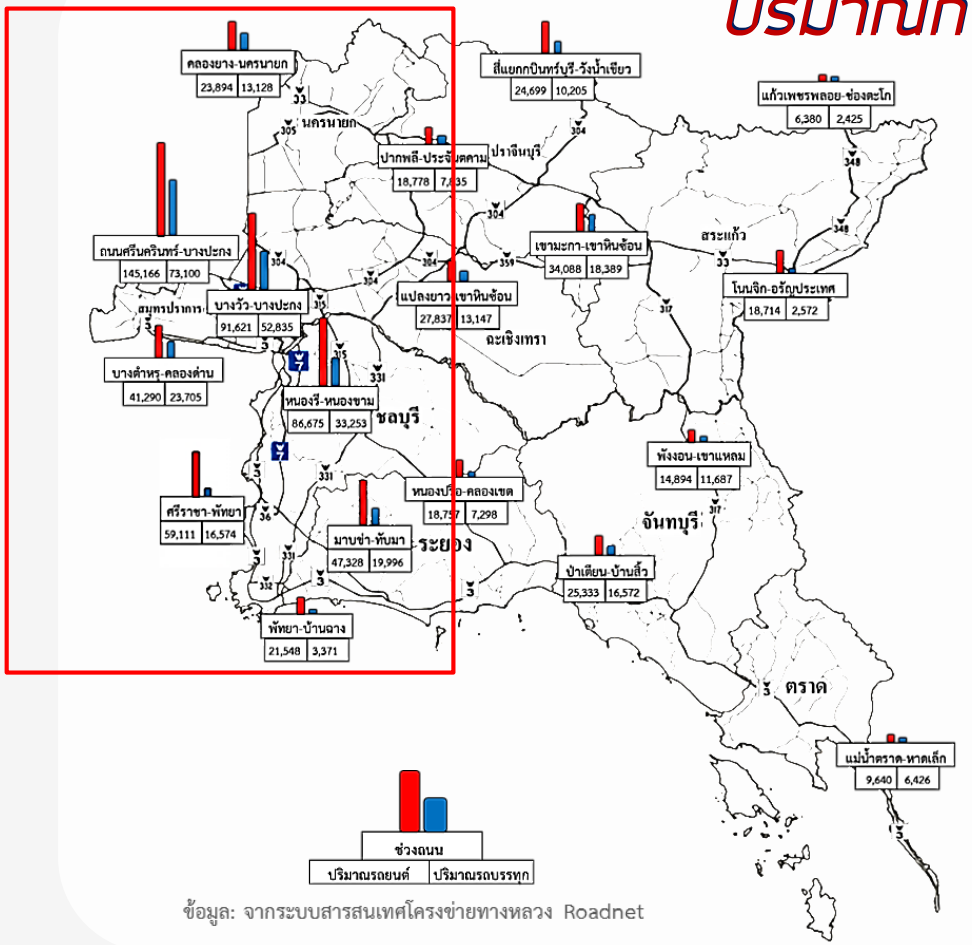
Increase μ

Existing Demand





โครงข่ายการขนส่งสินค้า ในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก

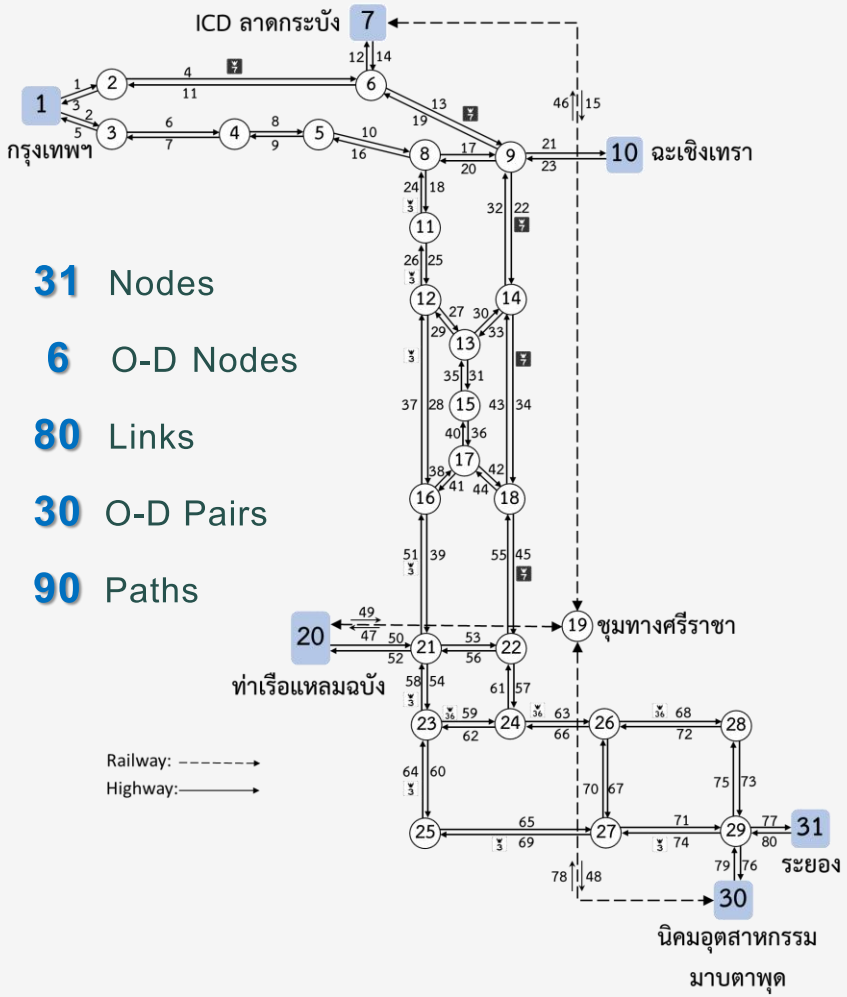


ข้อมูล: จากระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง Roadnet

ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี (AADT)

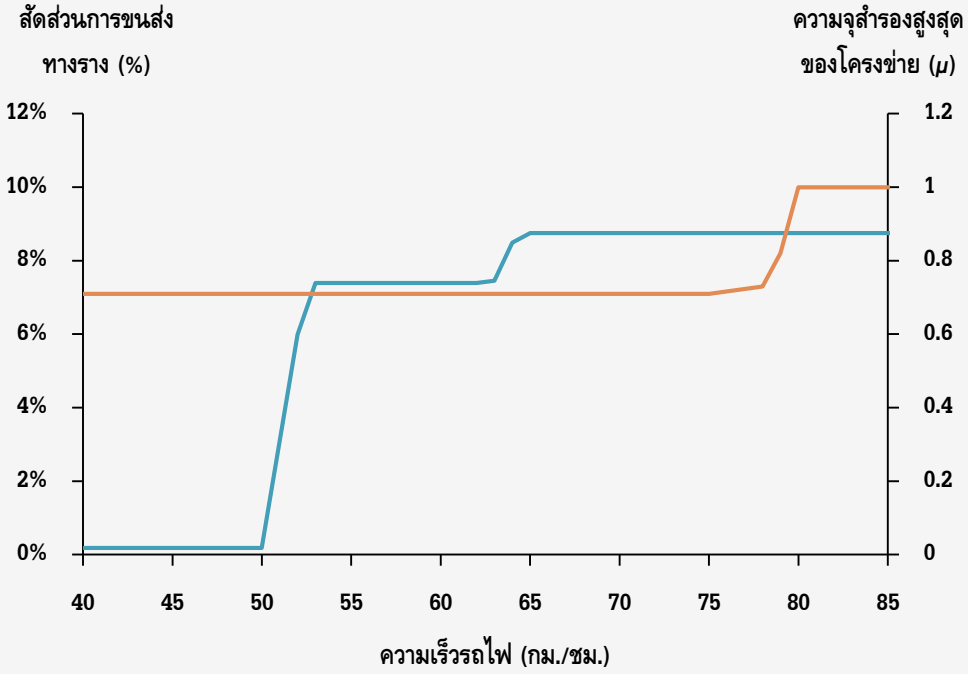
ทางหลวง	ช่วงถนน	ปริมาณรถยนต์	ปริมาณรถบรรทุก
3	บางตำหรุ - คลองด่าน	41,290 คัน/วัน	23,705 คัน/วัน
3	ศรีราชา - พัทยา	59,111 คัน/วัน	16,574 คัน/วัน
3	พัทยา - บ้านฉาง	21,548 คัน/วัน	3,371 คัน/วัน
3	แม่น้ำตราด – หาดเล็ก	9,640 คัน/วัน	6,426 คัน/วัน
3	ป่าเตียน - บ้านสิ้ว	25,333 คัน/วัน	16,572 คัน/วัน
34	บางวัว - บางปะกง	91,621 คัน/วัน	52,835 คัน/วัน
7	ถนนศรีนครินทร์ - บางปะกง	145,166 คัน/วัน	73,100 คัน/วัน
7	หนองรี - หนองขาม	86,675 คัน/วัน	33,253 คัน/วัน
36	มาบข่า - ทับมา	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

โครงข่ายการขนส่งสินค้า *ในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก*



จุด (Node)	พื้นที่อ้างอิง	รายละเอียด
1	กรุงเทพมหานคร	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณการขนส่งจากกรุงเทพมหานคร รวมทั้งปริมาณการขนส่งจากภายนอกพื้นที่ ได้แก่ บริเวณภาคใต้และภาคเหนือ เข้ามายังในพื้นที่ศึกษา
7	สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) เขตลาดกระบัง	เป็นจุดรวบรวมปริมาณการขนส่งจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง (ICD) เขตลาดกระบัง และนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง
10	ฉะเชิงเทรา	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณการขนส่งจากจังหวัดฉะเชิงเทรา รวมทั้งปริมาณการขนส่งจากภายนอกพื้นที่ ได้แก่ บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกบางจังหวัด เข้ามายังในพื้นที่ศึกษา
20	ท่าเรือแหลมฉบัง	เป็นจุดรวบรวมปริมาณการขนส่งจากท่าเรือแหลมฉบังและนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี
31	ระยอง	เป็นจุดที่รวบรวมปริมาณการขนส่งจากจังหวัดระยอง รวมทั้งปริมาณการขนส่งจากภายนอกพื้นที่ ได้แก่ บริเวณภาคตะวันออกบางจังหวัด เข้ามายังในพื้นที่ศึกษา
30	นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	เป็นจุดรวบรวมปริมาณการขนส่งจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด

ผลการพิจารณาความเร็วของรถไฟ และประเมินความจุสำรองสูงสุดของโครงข่าย



	(TEU/วัน)	(TEU/วัน)	ปริมาณสินค้าที่รองรับได้สูงสุด (TEU/วัน)	ความจุสำรองสูงสุดของโครงข่าย (μ)
40 km/hr.	99.83% (35,890)	0.17% (60)	35,950	0.71
50 km/hr.	92.61% (33,290)	7.39% (2,660)	35,950	0.71
80 km/hr.	91.25% (46,195)	8.75% (4,430)	50,625	1

สรุปผลการศึกษา

- การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาออกแบบโครงข่ายการขนส่งสินค้าเพื่อหาแนวทางการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสมในการเพิ่มสัดส่วนการขนส่งทางราง โดยพิจารณาพื้นที่กรณีศึกษาบริเวณระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกของประเทศไทย และพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้าน***ความเร็วของรถไฟ***

    - ตัวแบบสองระดับที่ใช้พิจารณาโครงข่าย ประกอบด้วยตัวแบบระดับบน ประเมินความจุสำรองสูงสุดของโครงข่าย และตัวแบบระดับล่างเป็นการเลือกรูปแบบและกระจายการขนส่งสินค้า โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ความเร็วรถไฟเป็น **40** กม./ชม. **50** กม./ชม. และ **80** กม./ชม.

- ผลของการศึกษานี้สามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการวางแผนหรือกำหนดนโยบายพัฒนาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายการขนส่งสินค้าให้สามารถรองรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตได้

การศึกษาออกแบบโครงข่ายการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบเพื่อสนับสนุนการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง *กรณีศึกษา ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกของประเทศไทย*

A Study on Multimodal Freight Transportation Network Design for Supporting Modal Shift: *Case of Eastern Economic Corridor in Thailand*

การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2561
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์23-24 เมษายน 2561 พัทยา ชลบุรี