

# การขนส่งผสมผสานหลายรูปแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน

## : กรณีศึกษาการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็ก

### Multimodal Transportation for Energy Consumption Savings

### : A Case Study of Steel Transportation

ศักรธร บุญทวีวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

#### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์สัดส่วนรูปแบบการขนส่งใหม่เพื่อการประหยัดพลังงานระหว่างการขนส่งทางรถบรรทุกอย่างเดียว การขนส่งทางรถไฟผสมผสานกับรถบรรทุก (รถไฟ-รถบรรทุก) และการขนส่งทางเรือผสมผสานกับรถบรรทุก โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการแก้ไขปัญหาลากหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization Model) ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กที่เหมาะสมใน 2 เส้นทาง ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบัง - กรุงเทพมหานคร และ ท่าเรือแหลมฉบัง - เชียงใหม่ ผลที่ได้จากแบบจำลองฯ พบว่าสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งใหม่สามารถลดการใช้พลังงานและลดต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการขนส่งก็เพิ่มมากขึ้นเป็นทวีคูณเช่นกันซึ่งการปรับแก้ค่าน้ำหนักด้านเวลาให้เพิ่มขึ้นในแบบจำลองฯ เพื่อให้สัดส่วนของรูปแบบการขนส่งใหม่อยู่ในกรอบของเวลาที่จำกัดสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ สัดส่วนของรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กใหม่โดยเน้นรูปแบบการขนส่งแบบผสมผสานให้มากขึ้นจะสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในแง่ของเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมต่อประเทศชาติอย่างมหาศาลต่อไปในอนาคต

**คำสำคัญ :** การขนส่งแบบผสมผสาน การประหยัดพลังงาน แบบจำลองหลายวัตถุประสงค์

#### Abstract

This paper presents the analysis of the new mode shares for energy savings purpose between trailer only, train – trailer and barge - trailer modes by utilizing the multi-objective optimization model developed in this paper to determine the optimal mode shares of steel transportation on 2 routes which are Laem Chabang (LCB) port – Bangkok and LCB port – Chiang Mai. The results derived from the model showed the new mode shares can minimize energy and cost substantially, however the transport times also increased substantially. The adjustment on weights of transport times to be increased in the model can be solved this problem in order to control transport times to be under the imposed constraint. The new mode shares of steel transportation focused on the multimodal transport can result in the substantial benefits of Thailand in terms of economic, social and environmental aspects in the future.

**Key words :** Intermodal Transport, Energy Savings and Multi-Objective Optimization Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศ และเป็นอุตสาหกรรมที่เป็นต้นน้ำ (upstream) ในระบบโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆที่เป็นปัจจัยพื้นฐานในการพัฒนาประเทศ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากการขยายตัวของการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และการบริโภคภายในประเทศ โดยมีปริมาณเหล็กหมุนเวียนในประเทศไทยประมาณ 24 ล้านตัน รวมมูลค่ากว่า 395,000 ล้านบาท และในอนาคตมีการคาดการณ์ว่าในช่วงปี 2550-2558 จะขยายตัวเฉลี่ยประมาณร้อยละ 4.7 [1] ซึ่งส่งผลให้การผลิตผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับโลหะ โครงสร้าง ผลิตภัณฑ์โลหะแปรรูปและการให้บริการแปรรูปโลหะมีการเติบโตตามไปด้วยอย่างรวดเร็ว อุตสาหกรรมเหล็กไทยในปัจจุบันต้องเผชิญกับราคาวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศที่มีความผันผวนมาก รวมทั้งต้นทุนการผลิตและค่าขนส่งระหว่างประเทศและภายในประเทศที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินงาน

ปัจจุบันเหล็กมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีปริมาณมากถึง 12 ล้านตัน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากประเทศรัสเซีย จีน และออสเตรเลียขนส่งมาที่ทำเรือบริเวณแหลมฉบังเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งประกอบไปด้วยท่าเรือศรีราชา ท่าเรือเกาะสีชัง และท่าเรือสยามซีพอร์ท ปริมาณเหล็กที่ขนส่งผ่านท่าเรือบริเวณแหลมฉบังมีประมาณ 4 ล้านตัน [2] จากนั้น เหล็กจะถูกขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางตามภาคต่างๆที่เป็นที่ตั้งของผู้ผลิตเหล็ก ผู้ค้าเหล็ก และอุตสาหกรรมต่างๆของผู้บริโภคเหล็กภายในประเทศที่สำคัญ เช่น กรุงเทพมหานคร อุทยา เชียงใหม่ นครราชสีมา ฯลฯ การขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กภายในประเทศนั้นผู้ประกอบการขนส่งนิยมใช้การขนส่งทางถนนโดยรถบรรทุกหัวลากขนาด 22 ล้อเนื่องจากมีข้อได้เปรียบ คือ ใช้เวลาในการเดินทางสั้นเมื่อเทียบกับการ

ขนส่งในรูปแบบอื่น แต่ข้อเสียคือ ต้นทุนในการขนส่งสูงที่สุด และมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุด โดยผู้ประกอบการขนส่งในปัจจุบันไม่ได้คำนึงถึงการขนส่งแบบผสมผสานเพื่อการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเท่าที่ควร บทความนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือการแก้ไขปัญหาสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กในปัจจุบันให้มีความเหมาะสมเพื่อลดการใช้พลังงาน กรณีศึกษา 2 เส้นทางถูกนำเสนอในบทความนี้ได้แก่ จากท่าเรือแหลมฉบัง ไปยังกรุงเทพฯและเชียงใหม่ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อผู้ประกอบการขนส่งและหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบทางด้านกำหนดยุทธศาสตร์ ส่งเสริมการขนส่งแบบผสมผสานเพื่อการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย เพื่อจุดมุ่งหมายคือการลดปริมาณการขนส่งสินค้าทางรถบรรทุกที่มากในปัจจุบันเพื่อให้มีสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งแบบผสมผสานให้มากขึ้น

## 2. กระบวนการวิจัย

การแก้ไขปัญหาสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น ผลที่ตามมาคือต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งจะลดลงด้วยอย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการขนส่งจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นบทความนี้ได้นำเสนอแบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization Model) ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยมี 3 วัตถุประสงค์หลักคือ ลดต้นทุน เวลาและ การใช้พลังงานในการขนส่งให้มากที่สุดโดยมีพื้นฐานแนวความคิดมาจาก [3] และ [4] โดยกรณีศึกษาจะใช้ 2 เส้นทาง ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบังไปยังจังหวัดปลายทาง ได้แก่ เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร (เส้นทางที่ 1) และ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ (เส้นทางที่ 2) ซึ่งถูกเลือกเพื่อใช้เป็นตัวแทนของจุดหมายปลายทางในเมืองหลวง และภาคเหนือของประเทศไทยตามลำดับ โดยรูปแบบการขนส่งที่เสนอขึ้นใหม่จะเน้นรูปแบบการขนส่งแบบผสมผสาน โดยเป็นการหาค่าสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมระหว่าง 3 รูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกัน ได้แก่ การขนส่งโดยรถบรรทุกอย่างเดียว การขนส่งผสมผสานระหว่างรถไฟและรถบรรทุก (รถไฟ-

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถบรรทุก) และ การขนส่งผสมผสานระหว่างเรือลำเลียง และรถบรรทุก (เรือ-รถบรรทุก)

แบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์โดยปกติจะถูกใช้ในการแก้ไขปัญหาโจทย์ที่มีลักษณะต้องการหาค่าที่ดีที่สุดหลายค่าในเวลาเดียวกัน ซึ่งลักษณะของแบบจำลองฯ สามารถเป็นได้ในหลายลักษณะ ได้แก่ การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) การโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) การโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) การโปรแกรมเชิงกำลังสอง (Quadratic Programming) หรือ การโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Non-Linear Programming) [5] ในงานวิจัยที่ใช้แบบจำลองฯ ดังกล่าวในการแก้ปัญหาภัยคั่วอย่างเช่น [6], [7] และ [8] ได้พัฒนาโปรแกรม WWW-NIMBUS บนอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาโจทย์ในลักษณะ Multi-Objective Optimization ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9] ได้พัฒนาแบบจำลอง Multi-Objective Optimization Model จากงานของ [10], [11] และ [12] เพื่อหาค่าสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งแบบผสมผสานที่เหมาะสมเพื่อสามารถลดการใช้พลังงานในการขนส่งให้มากที่สุดเช่นกัน โดยกรณีศึกษาเป็นการขนส่งสินค้าแบบคอนเทนเนอร์ อย่างไรก็ตามบทความวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้คิดคำนวณเปลืองของพลังงานที่เกิดจากการขนถ่ายสินค้า

ในช่วงแรกของกระบวนการวิจัยจะทำการหาระยะทางการขนส่งหลักทั้ง 3 รูปแบบการขนส่งใน 2 เส้นทางที่เป็นกรณีศึกษา เพื่อเป็นฐานในการคำนวณต้นทุน เวลา และการใช้พลังงานในการขนส่ง โดยเส้นทางที่มีระยะทางที่ใกล้ที่สุดและสามารถใช้ในการขนส่งได้จะถูกเลือก ในส่วนของสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณสำหรับรูปแบบการขนส่งทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ การขนส่งทางรถบรรทุก รถไฟ และเรือลำเลียง แสดงรายละเอียดดังนี้

1. การขนส่งหลักทางรถบรรทุกนั้นจะใช้รถหัวลากหรือรถบรรทุกขนาด 22 ล้อ ซึ่งสามารถบรรทุกหลักได้ประมาณ 25-30 ตัน ซึ่งในการคำนวณน้ำหนักที่ใช้ในการขนส่งทางรถบรรทุกในบทความนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยที่ 27 ตัน เวลาที่ใช้ในการขนส่งจะใช้ความเร็วของรถบรรทุกที่สภาพการจราจรปกติโดยเฉลี่ยที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงใน

การคำนวณ ในขณะที่อัตราการใช้รถบรรทุกน้ำมันจะอยู่ที่ 2.8 กิโลเมตรต่อตัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการขนส่งโดยตรง ในส่วนของการขนถ่ายเหล็กโดยรถเครนจะพิจารณาเพียง 1 ครั้งคือตอนที่รถบรรทุกไปส่งยังจุดหมายปลายทาง

2. การขนส่งทางรถไฟจะใช้การบรรทุกเหล็กในรูปแบบเทกอง (Bulk) โดยมีปริมาณที่ใช้ในการขนส่งแต่ละเที่ยวประมาณ 700 – 900 ตัน ซึ่งในการคำนวณน้ำหนักที่ใช้ในการบรรทุกในบทความนี้จะใช้ที่ 800 ตันต่อ 1 ขบวน ความเร็วที่ใช้ในการขนส่งจะใช้ที่ 39 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อัตราการใช้รถบรรทุกน้ำมันจะอยู่ที่ 3 กิโลเมตรต่อตัน การขนถ่ายสินค้าโดยใช้รถเครนจะพิจารณา 3 ครั้ง คือ ตอนขนถ่ายจากรถบรรทุกขึ้นรถไฟที่สถานีรถไฟต้นทาง และขนถ่ายจากรถไฟมายังรถบรรทุกที่สถานีรถไฟปลายทาง และสุดท้ายตอนที่รถบรรทุกไปส่งเหล็กยังจุดหมายปลายทาง ในส่วนของสถานีรถไฟที่สามารถรองรับการเข้ามาของรถหัวลากเพื่อขนสินค้าไปยังจุดหมายปลายทางจะถูกเลือกโดยกรณีศึกษานี้ สถานีรถไฟพหลโยธิน และเชียงใหม่จะถูกเลือกมาใช้ในการคำนวณ

3. การขนส่งทางเรือลำเลียงจะใช้ขบวนเรือลำเลียงทะเล 5,100 ตัน ใช้เรือลากจูง 1 ลำขนาด 940 แรงม้า ขนาดระวาง 153.3 ตันกรอส ความยาว 28.0 เมตร ความกว้าง 7.2 เมตร ความสูง 3.0 เมตร ลากขบวนเรือลำเลียงในทะเล 3 ลำลำละ 1,700 ตัน อัตราการใช้น้ำมัน 180 ลิตร/ชม. ใช้ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่ง 3.5 น็อตโดยไม่มีกรรวมเวลาที่ใช้ในการรอน้ำ (6 ชั่วโมง) โดยสมมติฐานให้เรือแล่นทวนน้ำ และตามน้ำทั้งขาไปและขากลับ โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยดังกล่าว โดยกรณีศึกษานี้ท่าเรือกรุงเทพและท่าเรือแม่น้ำอ.เมือง จ.อ่างทองจะถูกเลือกมาใช้ในการคำนวณ

ทฤษฎีและข้อสมมติฐานอื่นๆ ในการคำนวณ ได้แก่

1. ประสิทธิภาพพลังงานจะคำนวณจากสมการดังนี้ [10]

$$\mu_k = 139,000 / 3.7854 e_k V_k \quad (1)$$

โดยที่  $\mu_k$  = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ

การขนส่งรูปแบบ  $k$  (BTU/ตัน-กม.)

$e_k$  = การบริโภคพลังงานของการขนส่ง

รูปแบบ  $k$  (กิโลเมตร/ลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_k$  = การบริโภคพลังงานของการขนส่ง  
รูปแบบ  $k$  (ตัน)

- พลังงานที่ใช้ในการขนถ่ายเหล็กที่ใช้จากรถเครนจะมีอัตราที่ 9 ลิตรต่อ 100 ตัน อัตราความเร็วที่ใช้ในการขนถ่ายเหล็กจากรถเครนอยู่ที่ 325 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งจะถูกคิดเป็นต้นทุนและพลังงานที่ใช้ทุกครั้งที่มีการขนถ่ายเหล็ก
- ค่าภาระท่าเรือและค่ากรรมกรที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าอยู่ที่ 15 บาทต่อตัน ซึ่งจะถูกคิดเป็นต้นทุนทุกครั้งที่มีการขนถ่ายเหล็ก
- ต้นทุน เวลาและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งทั้ง 3 รูปแบบการขนส่ง 2 เส้นทาง จะถูกคิดทั้งขาไปและขากลับ โดยไม่มีสินค้าเหล็กหรือสินค้าอื่นๆ ในเที่ยวกลับ
- ปริมาณเหล็กที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 5,100 ตัน

### 3. แบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์

การพัฒนาแบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์นี้จะใช้การประยุกต์เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ข้อดีของแบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์นั้นจะสามารถแยกหาคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละแบบจำลองได้ สมการเชิงคณิตศาสตร์ของแบบจำลองฯ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^N X_{ijr}^n C_{ijr}^n \quad (2)$$

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^N X_{ijr}^n T_{ijr}^n \quad (3)$$

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^N X_{ijr}^n E_{ijr}^n \quad (4)$$

Subject to

$$X_{ijr}^n = 1 \quad \forall i, j, r, n \quad (5)$$

$$X_{ijr}^n \geq 0 \quad \forall i, j, r, n \quad (6)$$

โดยกำหนดให้

$i$  = จุดเริ่มต้นของการขนส่งเหล็ก

$j$  = จุดหมายปลายทางของการขนส่งเหล็ก

$r$  = รูปแบบของการขนส่ง  $r$

$R$  = จำนวนของรูปแบบการขนส่ง  $r$  ทั้งหมด

$n$  = ขนาดของกลุ่มรถบรรทุก เรือ 1 ลำ และรถไฟ 1 ขบวนที่ใช้ในการขนส่งเหล็ก

$N$  = จำนวนของกลุ่มรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง

ภายในประเทศ รถไฟและเรือทั้งหมดที่ใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนส่งภายในประเทศจนกระทั่งครบจำนวนเหล็กตามที่กำหนด

$X_{ijr}^n$  = สัดส่วนของการขนส่งเหล็กจาก  $i$  ไปยัง  $j$  โดยรูปแบบการขนส่ง  $r$  โดยใช้ขนาดของกลุ่มรถบรรทุก เรือและรถไฟขนาด  $n$

$C_{ijr}^n$  = ต้นทุนในการขนส่งเหล็กจาก  $i$  ไปยัง  $j$  โดยรูปแบบการขนส่ง  $r$  โดยใช้ขนาดของกลุ่มรถบรรทุก รถไฟและเรือขนาด  $n$  (บาท)

$T_{ijr}^n$  = เวลาที่ใช้ในการขนส่งเหล็กจาก  $i$  ไปยัง  $j$  โดยรูปแบบการขนส่ง  $r$  โดยใช้ขนาดของกลุ่มรถบรรทุก รถไฟและเรือขนาด  $n$  (วัน)

$E_{ijr}^n$  = พลังงานที่ใช้ในการขนส่งเหล็กจาก  $i$  ไปยัง  $j$  โดยรูปแบบการขนส่ง  $r$  โดยใช้ขนาดของกลุ่มรถบรรทุก รถไฟและเรือขนาด  $n$  (BTU)

สมการวัตถุประสงค์ (2) (3) และ (4) มีจุดมุ่งหมายเพื่อการหาสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำให้ต้นทุน เวลาและการใช้พลังงานในการขนส่งต้องมีค่าต่ำที่สุด โดยต้นทุนค่าขนส่งเท่ากับผลรวมของสัดส่วนของรูปแบบการขนส่ง ( $X$ ) จากการขนส่งจาก  $i$  ไป  $j$  โดยใช้รูปแบบการขนส่ง  $r$  และกลุ่มยานพาหนะการขนส่ง  $n$  ที่มีความจุของยานพาหนะที่กำหนดไว้ในส่วนของจำนวนยานพาหนะของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศซึ่งต้องใช้จำนวนของยานพาหนะหลายคันจะถูกคำนวณลงไปในต้นทุนการขนส่งทั้งหมดเพื่อให้การขนส่งเหล็กครบตามจำนวนที่กำหนด ในขณะที่สมการที่ (5) นั้นเป็นข้อจำกัด (Constraint) ของแบบจำลอง (5) โดยเป็นการกำหนดสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งทั้งหมดว่าจะไม่เกิน 1 ในขณะที่สมการที่ 6 เป็นการแสดงว่าสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งทั้งหมดในเส้นทางหนึ่งจะไม่เท่ากับ 0

### 4. ผลการวิจัย

การคำนวณรูปแบบของการขนส่งเหล็กในปัจจุบันจากท่าเรือแหลมฉบังไปยังจุดหมายปลายทางทั้ง 2 จังหวัดจาก

การประมวลผลในแบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์

ถูกสรุปผลดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1** ผลการคำนวณต้นทุน เวลาและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งสำหรับรูปแบบการขนส่งใหม่สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กในปัจจุบันจากท่าเรือแหลมฉบังไปยังกรุงเทพฯ (บริเวณ เขตจอมทอง ถ.พระราม 2)

เส้นทาง	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วัน)	พลังงาน (BTU)	ปริมาณผลิตภัณฑ์เหล็ก (ตัน)
ทางรถบรรทุก	275,738.26	0.37	296,707,275.09	2,236 (43.84%)
ทางรถไฟ-รถบรรทุก	-	-	-	-
ทางเรือ-รถบรรทุก	291,929.44	1.53	199,863,934.21	2,864 (56.16%)
รวม	567,667.70	1.89	496,571,209.29	5,100

**ตารางที่ 2** ผลการคำนวณต้นทุน เวลาและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งสำหรับรูปแบบการขนส่งใหม่สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กในปัจจุบันจากท่าเรือแหลมฉบังไปยัง อ.เมือง จ.เชียงใหม่

เส้นทาง	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วัน)	พลังงาน (BTU)	ปริมาณผลิตภัณฑ์เหล็ก (ตัน)
ทางรถบรรทุก	971,267.93	0.51	1,162,613,756.82	1,482 (29.06%)
ทางรถไฟ-รถบรรทุก	289,265.68	10.77	145,501,157.99	3,616 (70.90%)
ทางเรือ-รถบรรทุก	1,164.01	0.002	1,315,846.39	2 (0.04%)
รวม	1,261,697.62	11.29	1,309,430,761.19	5,100

ในตารางที่ 1 เป็นการแสดงผลที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองฯ โดยการจัดสรรรูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมจากท่าเรือแหลมฉบังไปยัง เขตจอมทอง ถ.พระราม 2 กรุงเทพมหานคร ผลที่ได้พบว่าการจัดสรรรูปแบบการขนส่งทางถนนที่ 43.84% และการขนส่งทางเรือ-รถบรรทุกที่ 56.16% โดยมีต้นทุนการขนส่งรวมทั้ง 567,667.70 บาท เวลาที่ใช้ในการขนส่ง 1.89 วันและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งเท่ากับ 496,571,209.29 BTU ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับรูปแบบการขนส่งเหล็กในปัจจุบัน ที่สัดส่วนของการขนส่งเหล็กทางรถบรรทุกเท่ากับ 100% ต้นทุนการขนส่งจะอยู่ที่ 628,920 บาท และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง 0.84 วัน โดยเป็นการตั้งสมมติฐานภายใต้สถานการณ์ที่รถบรรทุกสามารถออกวิ่งได้พร้อมกันหมดเป็นจำนวน 189 คัน ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณของเหล็กที่ต้องขนส่งทั้งหมด (5,100 ตัน) / ปริมาณของเหล็กเฉลี่ยที่บรรทุกได้ต่อรถบรรทุก 1 คัน (27 ตัน) ในส่วนของพลังงานที่ใช้ในการขนส่งเท่ากับ 676,747,362.67 BTU ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของการขนส่งรูปแบบใหม่สามารถลดต้นทุนและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งได้ 9.74% และ

26.62% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการขนส่งเพิ่มขึ้น 125.82%

ในตารางที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการจัดสรรรูปแบบการขนส่งจากท่าเรือแหลมฉบัง – เชียงใหม่ โดยนำเสนอรูปแบบการขนส่งทางถนนอย่างเดียวที่ 29.06% การขนส่งทางรถไฟ-รถบรรทุกที่ 70.90% และการขนส่งทางเรือ-รถบรรทุกที่ 0.04% โดยมีต้นทุนการขนส่งรวมทั้ง 1,261,697.62 บาท เวลาที่ใช้ในการขนส่ง 11.29 วันและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งเท่ากับ 1,309,430,761.19 BTU ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับรูปแบบการขนส่งเหล็กในปัจจุบัน ที่สัดส่วนของการขนส่งเหล็กทางรถบรรทุกเท่ากับ 100% ต้นทุนการขนส่งจะอยู่ที่ 3,342,420.00 บาท และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง 1.77 วันและพลังงานที่ใช้เท่ากับ 4,000,897,543.70 BTU โดยใช้สมมติฐานเดียวกับผลที่คำนวณได้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการขนส่งใหม่นี้สามารถลดต้นทุนและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งที่มากถึง 62.25% และ 67.27% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการขนส่งเพิ่มขึ้นมากถึง 5.38 เท่า

จากผลที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์จากท่าเรือแหลมฉบังไปยัง

จุดหมายปลายทางทั้ง 2 จังหวัดจะเห็นได้ว่ารูปแบบการขนส่งที่สามารถทำให้อัตราต้นทุนและพลังงานในการขนส่งมากที่สุดคือการใช้สัดส่วนของรูปแบบการขนส่งระหว่างรถบรรทุกอย่างเดียวและการขนส่งแบบ เรือ-รถบรรทุกในระหว่างทางขนส่งระยะไกล (ท่าเรือแหลมฉบัง – กรุงเทพฯ) ในขณะที่การขนส่งระยะไกล (> 500 กิโลเมตร) รูปแบบการขนส่งระหว่างรถบรรทุกอย่างเดียวและการขนส่งแบบรถไฟ-รถบรรทุกจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ ข้อสังเกตอีกประเด็นหนึ่งคือเวลาในการขนส่ง หลังจากปรับรูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมแล้วมีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการปรับแก้ค่าน้ำหนักเปรียบเทียบ (weight) ระหว่างต้นทุนเวลาและการใช้พลังงาน ในแบบจำลองฯ โดยการเพิ่มค่าน้ำหนักในมิติของเวลาในการขนส่งให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีผลให้สัดส่วนในรูปแบบการขนส่งทางเรือ-รถบรรทุก และ รถไฟ-รถบรรทุกลดลงในเส้นทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ นอกจากนี้ข้อสมมติฐานในการจำกัดของปริมาณรถบรรทุกที่สามารถใช้งานได้ในแต่ละเที่ยวสามารถมีผลให้สัดส่วนของรูปแบบการขนส่งทางรถบรรทุกอย่างเดียวลดลงทั้ง 2 เส้นทางเช่นกัน

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากผลที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองหลากหลายวัตถุประสงค์แสดงให้เห็นว่าการปรับสัดส่วนรูปแบบการขนส่งแบบผสมผสานสามารถช่วยในการลดต้นทุนและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งได้แต่เวลาที่ใช้ในการขนส่งก็เพิ่มมากขึ้นอย่างมหาศาลเช่นกัน การเพิ่มสมการข้อจำกัดทางด้านเวลา (Time Constraint) ลงในแบบจำลองเพื่อเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าทางด้านเวลาในการขนส่ง ในขณะที่เดียวกันต้นทุน และพลังงานก็สามารถลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ประเด็นดังกล่าวสามารถต่อยอดเป็นงานวิจัยต่อเนื่องได้ในอนาคต

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Transport Institute, “The development plan in transportation network for supporting the potential in the steel industry competition”, Bangkok, Iron and Steel Institute of Thailand, 2008.

- [2] International Maritime College, “A Feasibility Study of a Steel Hub Development in Thailand”, Bangkok United Thai Shipping Corporation Limited., 2010.
- [3] L.Schipper, L.Scholl, and L. Price, “ Energy use and carbon emission from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992”, Transportation Research Part D, Vol. 2, No.1, pp.57-76, 1997.
- [4] K. Miettinen, and M.M. Makela, “Interactive multi-objective optimization system WWW-NIMBUS on the internet”, Computers & Operational Research, Vol. 27, pp. 709-723, 2000.
- [5] W.L., Winston, “Introduction to Mathematical Programming”, Belmont, California, Duxbury Press, 1995.
- [6] K. Miettinen, and M.M. Makela, “Comparative evaluation of some interactive reference point-based methods for multi-objective optimization” Journal of the Operational Research Society, Vol. 50, pp. 949-959, 1999.
- [7] K. Miettinen, and M.M. Makela, “Interactive multi-objective optimization system WWW-NIMBUS on the internet” Computers & Operational Research, Vol. 27, pp 709-723, 2000.
- [8] Ministry of Transport, “The development of multimodal transport and logistics supply chain management for implementation of action plan” Ministry of Transport, Thailand, 2006.
- [9] S. Hanaoka, T. Husnain, T. Kawasaki, P. Kunadhamraks, “Measurement of energy-saving effect by intermodal-freight transport in Thailand”, World Review of Intermodal Transportation Research, Vol. 3, No. 4, pp. 320 – 337, 2011.
- [10] Department of Energy (DOE), “Energy Efficiency in Transportation”, Department of Energy, U.S.A., 1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้