# การปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ด้านการขนส่งเพื่อการประหยัดพลังงาน

# Improving Transport Logistics System for Energy Savings

ศักรธร บุญทวียุวัฒน์ D.Eng. (Sakaradhorn Boontaveeyuwat, D.Eng.)[1]

**บทคัดย่อ**

ระบบโลจิสติกส์ด้านการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศไทย เนื่องจากการส่งออกต้องมีระยะเวลาในการขนส่ง ตั้งแต่การเคลื่อนย้ายสินค้าจากแหล่งผู้ผลิตไปยังผู้รวบรวมท้องถิ่น ผู้ส่งออกและลูกค้าในต่างประเทศ เมื่อฤดูกาลส่งออกมาถึงความต้องการในการใช้บริการรถหัวลาก และตู้คอนเทนเนอร์เพื่อใช้ในการบรรจุสินค้าจะมีมากขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบัน ผู้ส่งออกสินค้าส่วนใหญ่ใช้การขนส่งทางถนนมากถึงเกือบ 80% ผลที่ตามมาก็คือการก่อให้เกิดปริมาณการขนส่งทางถนนที่มากเกินไปและก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก บทความนี้เสนอการปรับปรุงระบบโลจิสติกส์ด้านการขนส่งเพื่อการประหยัดพลังงานโดยกรณีศึกษาจะเป็นการเสนอชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ภายในประเทศเพื่อการส่งออกมังคุดจากผู้ส่งออกในไทยไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศเพื่อทำให้พลังงานที่ใช้ในการขนส่งต่ำที่สุดภายในระยะเวลาของการเก็บรักษามังคุดที่จำกัดโดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น ผลที่ได้จากแบบจำลองฯ พบว่าชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดใหม่ที่ถูกเสนอขึ้นนั้นสามารถช่วยประหยัดพลังงานในการขนส่งได้มากถึง 8.03%

**คำสำคัญ :** การประหยัดพลังงาน โลจิสติกส์ด้านการขนส่ง การโปรแกรมเชิงเส้น

**Abstract**

The effectiveness of transportation logistics system is significant for Thailand's exportation.It need time consuming since commodities need to travel from the producers' sources to the local collectors, exporters and customers in oversea. When export season arrives, there will be plentiful demands on trailers and container services. Currently, there are approximately 80% of exporters using the road in order to transport their goods. As a result, it makes traffic congest, and thiswill cause environmental problems. This study presented the new route set of mangosteen export to minimize the energy consumption under the time constraint using the linear programming model. The result based on the model demonstrated that the new route set can save the energy consumption for 8.03%.

**Keywords:** Energy Savings, Transport Logistics, Linear Programming

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

**บทนำ**

ระบบโลจิสติกส์ด้านการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศไทย เนื่องจากการส่งออกต้องมีระยะเวลาในการขนส่ง การเคลื่อนย้ายสินค้าจากแหล่งผู้ผลิตไปยังผู้รวบรวมท้องถิ่น ผู้ส่งออกและลูกค้าในต่างประเทศ เมื่อฤดูกาลส่งออกมาถึงความต้องการในการใช้บริการรถหัวลาก และตู้คอนเทนเนอร์เพื่อใช้ในการบรรจุสินค้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบัน ผู้ส่งออกสินค้าส่วนใหญ่ใช้การขนส่งทางถนนและไม่มีนโยบายหรือทางเลือกสำหรับรูปแบบการขนส่งแบบอื่น ผลที่ตามมาคือการก่อให้เกิดปัญหาปริมาณการขนส่งทางถนนที่มากในปัจจุบัน โดยจากสถิติพบว่าการขนส่งสินค้าภายในประเทศไทยตามหน่วยน้ำหนัก (ตัน) จะเป็นการขนส่งทางถนนถึง 85.27% การขนส่งทางราง 2.19% การขนส่งทางลำน้ำ 12.54% และการขนส่งทางชายฝั่งเพียง 0.11% ในปี 2550 (บุญทรัพย์ พาณิชการ, 2554) ทางด้านสิ่งแวดล้อมนั้น การปล่อยมลพิษก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของภาคธุรกิจการขนส่งมีปริมาณมากถึง 50 ล้านตันต่อปี และมีสัดส่วนการใช้พลังงานเป็น 36.6% ของประเทศซึ่งมากเป็นอันดับสองรองจากภาคอุตสาหกรรม จากสถิติการใช้พลังงานในภาคการขนส่งนั้นแบ่งเป็น การขนส่งทางถนนมีสัดส่วนมากถึง 76.1% การขนส่งทางรถไฟ 0.4% การขนส่งทางน้ำ 5% และการขนส่งทางอากาศ 14.8% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

บทความนี้ได้กำหนดกรณีศึกษา คือ การเสนอชุดของเส้นทางการขนส่งเพื่อการส่งออกผลไม้ที่มีศักยภาพไปขายยังต่างประเทศ ได้แก่ มังคุดซึ่งมีมูลค่าการส่งออกอยู่ใน 5 อันดับแรกของผลไม้ไทยไปยังต่างประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) โดยการวิเคราะห์เส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากผู้รวบรวมผลไม้หรือผู้ส่งออกจนถึงจุดหมายปลายทางในต่างประเทศ โดยใช้แนวคิดของการขนส่งหลากหลายรูปแบบหรือการขนส่งแบบผสมผสาน (Intermodal Transport) เพื่อเสนอชุดของเส้นทางการขนส่งใหม่และรูปแบบการขนส่งอื่นเพื่อทดแทนการขนส่งทางถนนบางส่วนได้แก่ ทางเรือ เพื่อลดปัญหาการแย่งใช้บริการรถหัวลาก และลดการใช้พลังงานในการขนส่งเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อการแก้ปัญหาชุดเส้นทางขนส่งภายในประเทศที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดภายในระยะเวลาการเก็บรักษาที่จำกัดในขณะขนส่ง

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. ศึกษาเส้นทางการขนส่งมังคุดภายในประเทศในปัจจุบัน และเสนอเส้นทางการขนส่งที่เป็นทางเลือกใหม่ภายใต้แนวคิดของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Intermodal Transport) ของมังคุดจากผู้รวบรวมหรือผู้ส่งออกไปยังท่าเรือส่งออก

2. พัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาชุดเส้นทางการขนส่งภายในประเทศเพื่อการส่งออกมังคุดที่สามารถประหยัดพลังงานมากที่สุดภายในระยะเวลาที่จำกัด

3. เสนอชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดภายในประเทศใหม่ที่สามารถประหยัดพลังงานมากที่สุดภายในระยะเวลาที่จำกัด

**ระเบียบวิธีวิจัย**

ในขั้นตอนของระเบียบวิธีวิจัยในบทความนี้ประกอบไปด้วย 3 หัวข้อย่อยหลักได้แก่ (1) ชุดเส้นทางการขนส่งมังคุด (2) ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (3) แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น

**1. ชุดเส้นทางการขนส่งมังคุด**

ชุดของเส้นทางการขนส่งในปัจจุบันของมังคุดที่ถูกยกเป็นกรณีศึกษาในบทความนี้พิจารณาจากแหล่งผลิตของมังคุดที่มีผลผลิตมากที่สุดในประเทศไทยในปี 2554 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ได้แก่ (1) จ.จันทบุรี (77,679 ตัน) (2) จังหวัดตราด (20,896 ตัน) (3) จังหวัดระยอง (12,547 ตัน) (4) จังหวัดนครศรีธรรมราช (8,922 ตัน) และ (5) จังหวัดนราธิวาส (8,380 ตัน)

ซึ่งจากแหล่งผลิตภัณฑ์ของมังคุดที่มากที่สุด 5 อันดับแรกจะเห็นได้ว่ามีการกระจายไปเพียงแค่ 2 ภาคของประเทศไทยที่มากที่สุดเท่านั้นได้แก่ ภาคตะวันออกและภาคใต้ ในขณะที่แหล่งจุดหมายปลายทางของมังคุดที่ถูกเลือกมาเพื่อเป็นกรณีศึกษานั้นเลือกจากปริมาณการขนส่งมังคุดจากไทยไปยังจุดหมายปลายทางที่มากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ (1) ประเทศจีน (52,133.50 ตัน) (2) ประเทศฮ่องกง (25,964.51 ตัน) (3) ประเทศเวียดนาม (21,647.82 ตัน) (4) ประเทศเกาหลีใต้ (154.48 ตัน) และ (5) ประเทศญี่ปุ่น (140.53 ตัน)

การเลือกจุดหมายปลายทางในต่างประเทศในบทความนี้ยังคงใช้หลักการปริมาณของมังคุดส่งออกทางเรือเป็นหลัก เช่น การขนส่งมังคุดไปยังประเทศลาวและกัมพูชานั้นมีปริมาณมากถึง 4,542.69 ตัน และ 4,809.00 ตันตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่เป็นการขนถ่ายข้ามชายแดน ในขณะที่การขนส่งมังคุดไปสหรัฐอเมริกามีปริมาณที่ 285.72 ตัน แต่เป็นการขนส่งทางอากาศทั้งหมด ดังนั้นการขนส่งทั้ง 3 กรณีดังกล่าวจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา นอกจากนี้การวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งมังคุดจากแหล่งผลิตไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศในบทความนี้จะพิจารณาในกรณีที่ผู้ส่งออกนั้นมีบรรจุผลไม้ที่โรงบรรจุในสวนผลไม้ของตนเอง หรือไปบรรจุที่ลังในบริเวณใกล้กับสวนผลไม้เท่านั้น

จากการสัมภาษณ์ผู้ส่งออกและผู้ประกอบการขนส่งเกี่ยวกับเส้นทางการขนส่งภายในประเทศในปัจจุบันของมังคุดให้ข้อมูลที่ตรงกันว่า ท่าเรือแหลมฉบังยังคงเป็นท่าเรือที่ใช้ในการส่งออกมังคุดผลสดในปัจจุบัน ดังนั้นจำนวนเส้นทางการขนส่งทั้งหมดเมื่อมีจุดต้นทาง 5 จุดและจุดปลายทาง 5 จุดจะสามารถผลิตจำนวนของเส้นทางได้เท่ากับ 25 เส้นทาง บทความนี้จะนำการเสนอเส้นทางการขนส่งใหม่ภายในประเทศและท่าเรือที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายหรือใช้ในการส่งออกมังคุดที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยพิจารณาถึงศักยภาพของร่องน้ำหน้าท่าที่จะรองรับขนาดของเรือ โดยมีท่าเรือกรุงเทพ (1,200 TEU) ท่าเรือพระประแดง (1,200 TEU) ท่าเรือมาบตาพุด (TPT) (4,000 - 6,000 TEU) ในฐานะท่าเรือส่งออก ตัวเลขหรือช่วงของตัวเลขในวงเล็บคือขนาดของเรือขนาดใหญ่สุดที่สามารถเข้าเทียบท่าเรือดังกล่าวได้และจะถูกปรับใช้อย่างเหมาะสมกับปริมาณของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการส่งออก สำหรับเส้นทางที่มีท่าเรือเปลี่ยนถ่ายและท่าเรือส่งออก ได้แก่ ท่าเรือกรุงเทพ (1,200 TEU) – ท่าเรือแหลมฉบัง (4,000 – 10,000 TEU) ท่าเรือพระประแดง (1,200 TEU) – ท่าเรือแหลมฉบัง (4,000 – 10,000 TEU) ท่าเรือพระประแดง (1,200 TEU) – ท่าเรือมาบตาพุด (4,000-6,000 TEU) ท่าเรือกรุงเทพ (1,200 TEU) – ท่าเรือมาบตาพุด (4,000 – 6,000 TEU) ท่าเรือสุราษฎร์ธานี (182 TEU) – ท่าเรือแหลมฉบัง (4,000-10,000 TEU) และท่าเรือสุราษฎร์ธานี (182 TEU) – ท่าเรือแหลมฉบัง (4,000 – 10,000 TEU) จำนวนของเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 250 เส้นทางซึ่งในจำนวนนี้ได้รวมเส้นทางการขนส่งในปัจจุบันด้วย โดยแบ่งเป็นเส้นทางการขนส่งที่มีท่าเรือเปลี่ยนถ่ายและท่าเรือส่งออก 100 เส้นทางและเส้นทางการขนส่งที่มีเฉพาะท่าเรือส่งออก 150 เส้นทาง ตัวอย่างการปรับเส้นทางการขนส่งมังคุดแสดงดังต่อไปนี้

- เส้นทางการขนส่งมังคุดในปัจจุบัน ได้แก่

จังหวัดนครศรีธรรมราช > ท่าเรือแหลมฉบัง > ประเทศญี่ปุ่น

- เส้นทางการขนส่งมังคุดที่ปรับใหม่ที่เป็นไปได้ ได้แก่

จังหวัดนครศรีธรรมราช > ท่าเรือสุราษฎร์ธานี > ท่าเรือมาบตาพุด > ประเทศญี่ปุ่น

2. ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ระยะทางการขนส่งจากแหล่งผลิตทั้ง 5 จังหวัดไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศนั้นเป็นข้อมูลเริ่มต้นที่จำเป็นในคำนวณค่าการใช้พลังงานและเวลาในการขนส่ง จุดอ้างอิงของแหล่งผลิตมังคุดที่ใช้ในการคำนวณในบทความนี้ได้แก่ (1) อำเภอแกลง จังหวัดระยอง (2) อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี (3) อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด (4) อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส และ (5) อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในขณะที่ท่าเรือจุดหมายปลายทางในต่างประเทศของมังคุดที่ถูกใช้เป็นจุดอ้างอิง

เพื่อใช้ในการคำนวณระยะทาง ได้แก่ (1) ท่าเรือฮ่องกง (ฮ่องกง) (2) ท่าเรือดานัง (เวียดนาม) (3) ท่าเรือปูซาน (เกาหลีใต้) (4) ท่าเรือเซี่ยงไฮ้ (จีน) และ (5) ท่าเรือโยโกฮาม่า (ญี่ปุ่น)

พลังงาน ที่ใช้ในการขนส่งจะประกอบด้วย การขนส่งทางถนนจากแหล่งผลิตมังคุดไปสู่ท่าเรือเปลี่ยนถ่ายหรือท่าเรือส่งออกโดยใช้รถหัวลากหรือรถบรรทุกขนาด 22 ล้อ โดยใช้ตู้ยาวขนาด 40 ฟุต (FEU) ในการบรรจุมังคุดขนาด 25 ตัน พลังงานที่ใช้ในการคำนวณจะคำนวณตามที่ผู้ประกอบการขนส่งได้ให้ข้อมูลคือ คิดราคาน้ำมันแบบไป-กลับเฉพาะการขนส่งทางรถบรรทุกภายในประเทศ การวัดค่าการใช้พลังงานจะอยู่ในรูปแบบของประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการขนส่งในแต่ละประเภทดังนี้ (Department of Energy, 1982)

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

= 153,200 / 3.7854 $e_k$ $V_k$ (ในกรณีน้ำมันเตา สำหรับการขนส่งทางเรือ)

โดยที่ $\mu_k$ = ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในการขนส่งประเภท $k$ (BTU/ตู้-กิโลเมตร)

$e_k$ = การบริโภคพลังงานของการขนส่งประเภท $k$ (กิโลเมตร/ ลิตร)

$V_k$ = น้ำหนักของสินค้าเฉลี่ยจากการขนส่งประเภท $k$ (ตู้) โดยในการศึกษานี้จะคิดค่า Load Factor ที่ 0.8 เช่น เรือคอนเทนเนอร์ขนาด 4,000 ตู้ จะสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ 3,200 ตู้

โดยธรรมชาติแล้วการขนส่งในรูปแบบที่ใช้พลังงานต่ำกว่ามักจะมีต้นทุนการขนส่งที่ถูกกว่าแต่ข้อเสียคือ เวลาที่ใช้ในการขนส่งก็จะมากกว่าด้วยซึ่งในบทความนี้ได้กำหนดข้อจำกัดของเวลาในการขนส่งไว้อย่างเคร่งครัด แม้จะมีการปรับไปใช้ชุดของเส้นทางการขนส่งใหม่ที่ใช้พลังงานน้อยกว่า ต้นทุนการขนส่งถูกกว่า แต่เวลาที่ใช้ในการขนส่งจะไม่เกินจากขอบเขตของเวลาที่กำหนดไว้เดิมในทุกเส้นทาง ซึ่งในบทความนี้กำหนดขอบเขตของเวลาไว้ที่ 15 วัน ความเร็วที่ใช้ในการขนส่งทางรถบรรทุกกำหนดไว้ที่ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จำนวนรถบรรทุกที่ทำการขนส่งเท่ากับ 50 คันต่อครั้ง อัตราการขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ยาวจะอยู่ที่ 15 FEU/ ชม. โดยตั้งสมมติฐานให้มีจำนวนเครนหน้าท่า 2 ตัวดังนั้นอัตราการขนถ่ายตู้จะอยู่ที่ 30 FEU/ชม. ความเร็วของเรือเฉลี่ยที่ใช้ในการขนส่งในบทความนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเรือที่ใช้ในการขนส่งดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะไปเกี่ยวโยงกับศักยภาพของท่าเรือที่ใช้ในการส่งออกด้วย

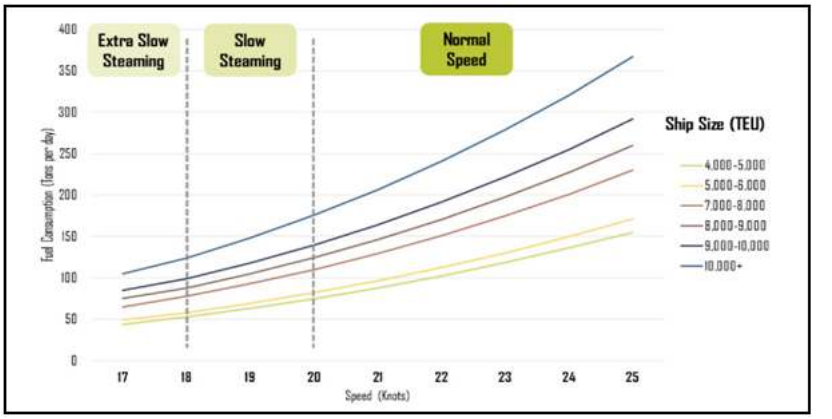
**ตารางที่ 1** ความเร็วเฉลี่ยของเรือคอนเทนเนอร์ (น็อต) ตามขนาดของเรือ

| ขนาดของเรือคอนเทนเนอร์ | ความเร็วเฉลี่ย (น็อต) |
|---|---|
| น้อยกว่า 500 TEU | 13 |
| 500 - 999 TEU | 16 |
| 1,000 - 1,999 TEU | 18 |
| 2,000 - 2,999 TEU | 21 |
| 3,000 - 5,099 TEU | 23 |
| มากกว่า 5,100 TEU | 24 |

ที่มา : จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการเดินเรือชายฝั่งและระหว่างประเทศ

อัตราการบริโภคน้ำมันของรถบรรทุกขนาด 22 ล้อกำหนดที่ 2.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่การบริโภคน้ำมันของการขนส่งทางเรือจะขึ้นอยู่กับขนาดและความเร็วของเรือที่ใช้ โดยในบทความนี้มีการใช้ขนาดของเรือที่หลากหลายเพราะต้องขึ้นอยู่กับปริมาณตู้คอนเทนเนอร์ที่จะทำการขนส่ง ขนาดของเรือที่ใช้ในการคำนวณในบทความนี้มีทั้งหมด 7 ขนาดได้แก่

(1) เรือขนาด 4,600 TEU (23 น็อต) (2) เรือขนาด 2,200 TEU (21 น็อต) (3) เรือขนาด 2,000 TEU (21 น็อต) (4) เรือขนาด 1,200 TEU (18 น็อต) (5) เรือขนาด 1,000 TEU (18 น็อต) (6) เรือขนาด 600 TEU (16 น็อต) และ (7) เรือขนาด 189 TEU (13 น็อต) ซึ่งขนาดและความเร็วของเรือดังกล่าวจะถูกนำไปหาอัตราการบริโภคน้ำมันดังแสดงภาพที่ 1 ซึ่งมาจากงานวิจัยของ Notteboom & Carriou (2009)




**ภาพที่ 1** แสดงอัตราการบริโภคน้ำมันตามขนาดและความเร็วของเรือที่แตกต่างกัน

ที่มา : Notteboom & Carriou, 2009

เรือขนาดที่ต่ำกว่า 4,000 TEU จะใช้วิธีการ Interpolation เพื่อหาอัตราการบริโภคน้ำมันที่เหมาะสมในแต่ละขนาดของเรือที่แตกต่างกัน นอกจากนี้อัตราการใช้น้ำมันดีเซลในเรือจะถูกตั้งสมมติฐานในปริมาณที่ 5% ของน้ำมันเตา

**3. แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น**

แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นที่พัฒนาขึ้นในบทความนี้เพื่อประยุกต์ใช้ในการหาชุดเส้นทางการขนส่งภายในประเทศเพื่อการส่งออกมังคุดที่ใช้พลังงานในการขนส่งต่ำที่สุดภายใต้เวลาที่จำกัด ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมของแบบจำลองในการเลือกเส้นทางขนส่งที่ผ่านมานั้นแสดงให้เห็นว่ามีหลากหลายแบบจำลองซึ่งส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การลดต้นทุนการขนส่งให้ต่ำที่สุด ดังต่อไปนี้ ในยุคแรกเริ่มนั้น Hitchcock (1941) ได้เริ่มการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ไขปัญหาการขนส่งโดยการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าชนิดเดียวกันจากจุดต้นทางและจุดปลายทางของสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่ง ให้มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อมา Tzeng, Hwang & Ting (1995) ศึกษาการขนส่งถ่านหิน เพื่อการจัดตารางการขนส่งที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด และตรงต่อเวลาที่กำหนด โดยการสร้างสมการคณิตศาสตร์โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยประกอบด้วย 2 ตัวแปร (Variables) คือ ต้นทุนค่าขนส่งและปริมาณการขนส่งในขณะที่ข้อจำกัดคือ ปริมาณของถ่านหินที่รองรับและเป็นที่ต้องการ ขนาดของเรือ และสภาพสมดุลของเรือเพื่อใช้ในการจัดตารางเพื่อการจัดส่งถ่านหิน

Sinh (1997) เสนอแบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) สำหรับการวางแผนและจัดตารางการนำเข้าถ่านหินจากผู้จัดหาวัตถุดิบหลายแห่งเพื่อโรงงานผลิตของบริษัทมากกว่าหนึ่งแห่งเพื่อทำให้ต้นทุนเชิงโลจิสติกส์มีค่าน้อยที่สุดประกอบด้วย ต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนวัสดุคงคลังและต้นทุนการจัดเก็บสินค้า ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดนโยบายการจัดซื้อของบริษัท ความต้องการของโรงไฟฟ้า ความสามารถของท่าเทียบเรือ เป็นต้น ในปีต่อมา Bookbinder & Fox (1998) ได้ศึกษาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งระหว่างประเทศแคนาดาและเม็กซิโก โดยการวิเคราะห์หาเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดและคำนวณต้นทุนค่าขนส่ง และเวลาการเดินทางในแต่ละเส้นทางไว้เป็นฐานข้อมูล ทำการแจกแจงเส้นทางและรูปแบบการขนส่งเพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจในการวางแผนการขนส่งให้มีต้นทุนต่ำที่สุด ภายใต้ขอบเขตของเวลาที่กำหนด

Leung, Wu & Lai (2002) ศึกษาการวางแผนการขนส่งสินค้าจากฮ่องกงไปจีนเพื่อให้ต้นทุนรวมการขนส่งต่ำสุด โดยการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) กำหนดเครือข่ายการขนส่งเพื่อลดต้นทุนการขนส่งให้ต่ำที่สุดโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ถูกแก้ปัญหาโดยโปรแกรม LINDO เพื่อหารูปแบบการจัดการการขนส่งในแต่ละกลยุทธ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อให้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดในแต่ละกรณีการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ของการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถบรรทุก ต้นทุนสินค้าคงคลังและต้นทุนแรงงานเป็นต้น Logozar, Radonjic & Bastic (2006) ศึกษาวิธีการลดต้นทุนและหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งในกรณีการนำผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมไปรีไซเคิลในโรงงาน เป็นการศึกษาระบบโลจิสติกส์และกระบวนการผลิตโดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนการขนส่งรวมต่ำที่สุด โดยมีการกำหนดตัวแปรได้แก่ ต้นทุนการขนส่งแบบคงที่ (Fixed Transport Costs), ต้นทุนการขนส่งผันแปร (Variable Transport Costs), ระยะทาง (Distance), ปริมาณสินค้าที่ใช้ในการขนส่ง (Transported Quantity), พลังงานที่ใช้ในการขนส่ง (Energy Used for Transport) และ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานอื่นๆ (Other Operating Costs) เพื่อหาเส้นทางและปริมาณสินค้าที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด

สำหรับแบบจำลองการเลือกเส้นทางการขนส่งทางเรือนั้น ในยุคเริ่มแรกมีนักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาแบบจำลองในการแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าให้มากที่สุด เช่น มีการหาจำนวนของเรือที่เหมาะสมที่สุดที่จะดำเนินการในตารางการเดินเรือ (Dantzig and Fulkerson, 1954; Everett, Hax, Lewinson & Nudds, 1972) ต่อมา Lane, Heaver and Uyeno (1987) ได้พัฒนาแบบจำลองในการหาจำนวนและความจุของเรือที่เหมาะสมในกองเรือที่จะปฏิบัติการในชุดของเส้นทางที่กำหนด โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ระยะเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคนิคของกระบวนการคำนวณฮิวริสติกส์ และ แบบจำลอง A Set Partitioning (SP) งานวิจัยฉบับนี้ถือว่าเป็นงานวิจัยชิ้นแรกที่มีความพยายามในการนำแบบจำลอง Optimization มาใช้ในการแก้ปัญหา ต่อมา Rana & Vickson (1988, 1991) ได้พัฒนาแบบจำลองการจำนวนเต็มผสมไม่เชิงเส้น (A Mixed Non- Linear Programming) ในการหาเส้นทางการเดินเรือที่เหมาะสมโดยการทำกำไรให้มากที่สุดจากการเดินเรือ วิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นใช้วิธีของ Lagrangean Relaxation และ Decomposition ผลที่ได้รับนั้นเป็นการแนะนำเส้นทางเดินเรือที่เหมาะสมโดยเรียงลำดับท่าเรือที่เรือจะเข้าเทียบท่าทั้งขาไปและขากลับ รวมไปถึงปริมาณของสินค้าที่ถูกจัดสรรในแต่ละเรือเพื่อยกสินค้าขึ้น และยกสินค้าลงเพื่อส่งมอบสินค้าไปยังแต่ละท่าจุดหมายปลายทาง อย่างไรก็ตามในแบบจำลองนี้เรือลำหนึ่งไม่สามารถรับสินค้าในทิศขาไปและส่งกลับมายังท่าเรือในทิศขากลับได้ Cho & Perakis (1996) ได้ใช้แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming Model) ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อขนส่งสินค้าในเรือขนาดต่างๆ กัน แบบจำลองนี้จะง่ายกว่าแบบจำลองของ Rana & Vickson (1988, 1991) เนื่องจากมีการตั้งสมมติฐานให้มีความสมจริงมากขึ้นโดยมีการสมมติให้ความต้องการในการสินค้านั้นเป็นแบบ Deterministic เรือสามารถเดินเรือได้มากกว่า 1 เส้นทางเพื่อขนส่งสินค้า และเส้นทางที่ได้จากแบบจำลองไม่ควรจะแตกต่างจากเส้นทางแนะนำจากประสบการณ์ของผู้ประกอบการเดินเรือมากนัก Fagerholt (2004) ได้เสนอแบบจำลอง Optimization โดยแบ่งเป็น 2 ระยะในการหาเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าให้ได้ตามเป้าหมายตามพื้นที่ชายฝั่งของนอร์เวย์ ในระยะที่ 1 เส้นทางทุกเส้นทางจะถูกผลิตออกมาและเส้นทางที่มีความเป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขของเวลาและความจุของเรือจะถูกคัดเลือกออกมาด้วยวิธีการของฮิวริสติกส์ จากนั้นในระยะที่ 2 แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มซึ่งใช้วิธีของ Dynamic Programming จะคำนวณเส้นทางที่ถูกที่สุดภายใต้เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการวางแผน และการันตีว่าทุกสินค้าจะถูกบริการส่งมอบที่จุดหมายปลายทาง อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้มีการพิจารณาการยกสินค้าขึ้นเรือ ในระหว่างที่เรือจอดเทียบท่า

สำหรับแบบจำลองการเลือกเส้นทางการขนส่งภายในประเทศเพื่อการส่งออกมังคุดในบทความนี้นั้นจะแตกต่างไปจากแบบจำลองในวรรณกรรมที่ผ่านมา เพราะเป็นแบบจำลองที่เน้นการเลือกเส้นทางการขนส่งที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด ตั้งแต่แหล่งผลิตในประเทศไทยจนถึงจุดหมายปลายทางในต่างประเทศภายใต้ระยะเวลาการขนส่งที่จำกัด แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอในบทความนี้แสดงดังต่อไปนี้

$$Min \ \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R}\sum_{n=1}^{N} X_{ijr}^{n} E_{ijr}^{n} \quad (1)$$

Subject to

$$X_{ijr}^{n} \begin{cases} \geq 0 \ T_{ijr}^{n} \leq T_F & \forall\, i,j,r,n \\ = 0 \ T_{ijr}^{n} \geq T_F & \forall\, i,j,r,n \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R}\sum_{n=1}^{N} X_{ijr}^{n} \leq O_i \quad \forall\, i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{r=1}^{R}\sum_{n=1}^{N} X_{ijr}^{n} \geq D_j \quad \forall\, i \quad (4)$$

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

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

โดยกำหนดให้

$i$ = จุดเริ่มต้นของเส้นทางการขนส่งซึ่งในที่นี้คือแหล่งผลิตของมังคุด (จังหวัด)

$I$ = จำนวนแหล่งผลิตของมังคุดทั้งหมดซึ่งในกรณีศึกษานี้มี 5 แห่ง (จังหวัด)

$j$ = จุดปลายทางของเส้นทางการขนส่งซึ่งในที่นี้คือจุดหมายปลายทางในต่างประเทศของมังคุด (ประเทศ)

$J$ = จำนวนแหล่งผลิตของมังคุดทั้งหมดซึ่งในกรณีศึกษานี้มี 5 แห่ง (จังหวัด)

$r$ = เส้นทางการขนส่ง $r$ ของมังคุด (เส้นทาง)

$R$ = จำนวนของเส้นทางการขนส่ง $r$ ทั้งหมดของมังคุด (เส้นทาง)

$n$ = กลุ่มรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศและเรือ 1 ลำที่ใช้ในการขนส่งระหว่างประเทศ (คัน)

$N$ = กลุ่มรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศและเรือทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งระหว่างประเทศจนกระทั่งครบจำนวนตามที่กำหนด (คัน)

$X_{ijr}^{n}$ = ปริมาณการขนส่งมังคุดจากจุดเริ่มต้น $i$ ไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศ $j$ โดยเส้นทางการขนส่ง $r$ โดยใช้ขนาดของรถบรรทุกและเรือขนาด $n$ (ตู้ยาว; FEU)

$T_{ijr}^{n}$ = เวลาที่ใช้ในการขนส่งมังคุดจากจุดเริ่มต้น $i$ ไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศ $j$ โดยเส้นทางการขนส่ง $r$ โดยใช้ขนาดของกลุ่มรถบรรทุกและเรือขนาด $n$ (วัน)

$E_{ijr}^{n}$ = พลังงานที่ใช้ในการขนส่งมังคุดจากจุดเริ่มต้น $i$ ไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศ $j$ โดยเส้นทางการขนส่ง $r$ โดยใช้ขนาดของกลุ่มรถบรรทุกและเรือขนาด $n$ (BTU)

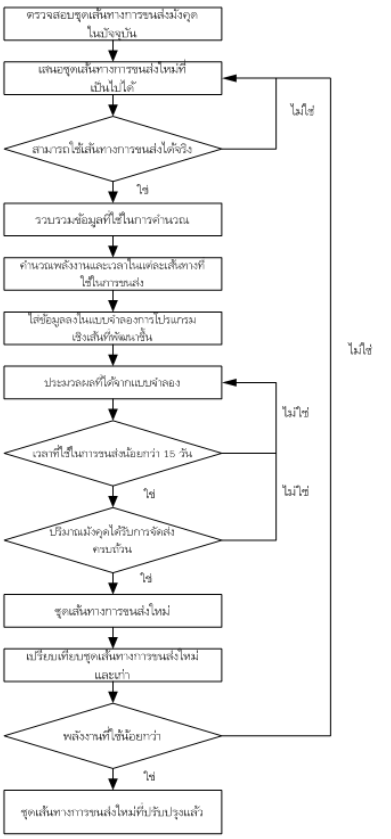
$T_F$ = อายุในการเก็บรักษาของมังคุดจากผู้ส่งออกไปจนถึงผู้บริโภคในต่างประเทศ (วัน)

$O_i$ = จุดเริ่มต้นของแหล่งผลิตมังคุด (จังหวัด)

$D_j$ = จุดหมายปลายทางในต่างประเทศของมังคุด (จังหวัด)

สมการวัตถุประสงค์ (1) จุดมุ่งหมายเพื่อการวางแผนการเลือกเส้นทางการขนส่งที่มีการใช้พลังงานในการขนส่งต่ำที่สุด โดยพลังงานรวมของการขนส่งเท่ากับผลรวมของปริมาณการขนส่งหรือจำนวนตู้สินค้า (X) จาก ***i*** ไป ***j*** โดยใช้เส้นทางการขนส่ง ***r*** และกลุ่มของรถบรรทุกและเรือเดินทะเลที่ ***n*** ที่มีความจุของรถบรรทุกและเรือที่กำหนดไว้ ซึ่งจำนวนยานพาหนะของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศจะถูกคำนวณค่าการใช้พลังงานในการขนส่งเรียบร้อยแล้วเพื่อให้การขนส่งมังคุดครบจำนวน ตั้งแต่สมการที่ (2) – (6) นั้นเป็นข้อจำกัด (Constraint) ของแบบจำลอง โดยสมการที่ 2 เป็นการกำหนดขอบเขตของระยะเวลารวมในการขนส่ง (Operation Time Constraint) ซึ่งผลรวมในแต่ละเส้นทางการขนส่งต้องมีค่าไม่เกินระยะเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ในการเดินทางที่สามารถยอมรับได้ซึ่งไม่ทำให้มังคุดเน่าเสีย จากการสัมภาษณ์ผู้ส่งออกมังคุด พบว่าไม่ควรจะใช้เวลาเกิน 15 วันจากผู้ส่งออกไปถึงผู้บริโภคในต่างประเทศในกรณีที่อุณหภูมิขณะการขนย้ายไม่คงที่ สมการที่ 3 เป็นการกำหนดค่าของปริมาณการขนส่งในแต่ละเส้นทางของมังคุดที่ออกจากจุดเริ่มต้นเดียวกันแต่มีจุดหมายปลายทางต่างกัน ผลรวมของปริมาณการขนส่งทั้งหมดจะต้องไม่เกินกว่าปริมาณของสินค้าที่ปล่อยออกมา ณ จุดเริ่มต้น ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันในสมการที่ 4 ที่ปริมาณการขนส่งในแต่ละเส้นทางที่ออกจากจุดเริ่มต้นต่างกัน แต่ขนส่งไปที่จุดหมายปลายทางเดียวกัน ผลรวมของปริมาณการขนส่งมังคุดต้องไม่น้อยกว่าความต้องการของสินค้าที่จุดหมายปลายทางในต่างประเทศ ในขณะที่สมการที่ 5 แสดงปริมาณการขนส่งในแต่ละเส้นทางจะมีค่าไม่เกินความสามารถในการขนส่งสินค้าของกลุ่มรถบรรทุกและเรือ 1 ลำของบริษัทขนส่ง และสมการที่ 6 แสดงปริมาณการขนส่งของมังคุดที่ถูกเลือกมาจะต้องมีค่าไม่ติดลบเสมอ

แนวคิดของระเบียบวิธีวิจัยทั้งหมดสรุปดังแสดงในภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** ผังแนวคิดของระเบียบวิธีวิจัย

**ผลการวิจัย**

ผลการวิจัยจากการคำนวณพลังงานและเวลาที่ใช้ในการขนส่งของชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดเพื่อการส่งออกในปัจจุบันแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งทุกเส้นทางนั้นใช้ท่าเรือแหลมฉบังเป็นท่าเรือส่งออก ในขณะที่ผลการคำนวณพลังงานและเวลาที่ใช้ในการขนส่งของชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดปรับใหม่ที่ได้จากแบบจำลองฯ ที่ทำให้พลังงานรวมที่ใช้ในการขนส่งต่ำที่สุดแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 2** ผลการคำนวณพลังงานและเวลาที่ใช้ในการขนส่งสำหรับชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดในปัจจุบัน

| เส้นทาง | พลังงาน (ล้าน BTU) | เวลา (วัน) | ปริมาณตู้บรรจุมังคุด (FEU) |
|---|---|---|---|
| ระยอง-แหลมฉบัง-ฮ่องกง | 1,187.03 | 3.25 | 86 |
| ระยอง-แหลมฉบัง-เวียดนาม | 833.92 | 2.42 | 72 |
| ระยอง-แหลมฉบัง-เกาหลีใต้ | 28.31 | 5.84 | 1 |
| ระยอง-แหลมฉบัง-จีน | 2,983.16 | 4.94 | 173 |
| ระยอง-แหลมฉบัง-ญี่ปุ่น | 32.60 | 6.82 | 1 |
| จันทบุรี-แหลมฉบัง-ฮ่องกง | 8,558.73 | 6.81 | 532 |
| จันทบุรี-แหลมฉบัง-เวียดนาม | 6.115.49 | 5.29 | 441 |
| จันทบุรี-แหลมฉบัง-เกาหลีใต้ | 122.37 | 5.90 | 4 |
| จันทบุรี-แหลมฉบัง-จีน | 20,837.34 | 12.11 | 1067 |
| จันทบุรี-แหลมฉบัง-ญี่ปุ่น | 104.66 | 6.87 | 3 |
| ตราด-แหลมฉบัง-ฮ่องกง | 2,435.78 | 3.91 | 143 |
| ตราด-แหลมฉบัง-เวียดนาม | 1,762.74 | 3.06 | 119 |
| ตราด-แหลมฉบัง-เกาหลีใต้ | 31.54 | 5.91 | 1 |
| ตราด-แหลมฉบัง-จีน | 5,876.18 | 6.34 | 287 |
| ตราด-แหลมฉบัง-ญี่ปุ่น | 35.83 | 6.90 | 1 |
| นราธิวาส-แหลมฉบัง-ฮ่องกง | 2,451.26 | 5.20 | 56 |
| นราธิวาส-แหลมฉบัง-เวียดนาม | 1,994.50 | 2.90 | 48 |
| นราธิวาส-แหลมฉบัง-เกาหลีใต้ | 58.28 | 6.52 | 1 |
| นราธิวาส-แหลมฉบัง-จีน | 5,476.78 | 8.04 | 116 |
| นราธิวาส-แหลมฉบัง-ญี่ปุ่น | 62.57 | 7.50 | 1 |
| นครศรีธรรมราช-แหลมฉบัง-ฮ่องกง | 1,997.18 | 4.47 | 61 |
| นครศรีธรรมราช-แหลมฉบัง-เวียดนาม | 1,556.53 | 3.66 | 51 |
| นครศรีธรรมราช-แหลมฉบัง-เกาหลีใต้ | 47.25 | 6.27 | 1 |
| นครศรีธรรมราช-แหลมฉบัง-จีน | 4,450.36 | 6.81 | 123 |
| นครศรีธรรมราช-แหลมฉบัง-ญี่ปุ่น | 51.54 | 7.25 | 1 |
| **รวม** | **69,091.93** | **145** | **3,390** |

**ตารางที่ 3** ผลการคำนวณพลังงานและเวลาที่ใช้ในการขนส่งสำหรับชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดที่ทำให้พลังงานในการขนส่งต่ำที่สุด

| เส้นทาง | พลังงาน (ล้าน BTU) | เวลา (วัน) | ปริมาณตู้บรรจุมังคุด (FEU) |
|---|---|---|---|
| ระยอง-มาบตาพุด-จีน | 5,144.40 | 5.35 | 326 |
| ระยอง-มาบตาพุด-ญี่ปุ่น | 216.69 | 6.71 | 7 |
| จันทบุรี-มาบตาพุด-ฮ่องกง | 12,776.19 | 8.41 | 878 |
| จันทบุรี-มาบตาพุด-เวียดนาม | 3,443.48 | 3.74 | 280 |
| จันทบุรี-มาบตาพุด-จีน | 16,062.60 | 9.63 | 889 |
| ตราด-มาบตาพุด-จีน | 10,476.58 | 8.07 | 551 |
| นราธิวาส-พระประแดง-เวียดนาม | 8,335.12 | 9.16 | 214 |
| นราธิวาส-พระประแดง-เกาหลีใต้ | 445.26 | 6.54 | 8 |
| นครศรีธรรมราช-กรุงเทพ-เวียดนาม | 6,644.47 | 7.00 | 237 |
| **รวม** | **63,544.78** | **64.59** | **3,390** |

**อภิปรายผล**

จากการคำนวณพลังงานและเวลาที่ใช้ในการขนส่งชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดเพื่อการส่งออกในปัจจุบันที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าพลังงานรวมที่ใช้ในการขนส่งอยู่ที่ 69,091.93 ล้าน BTU เวลาที่ใช้ในการขนส่งรวมทั้ง 25 เส้นทางเท่ากับ 145 วัน โดยในแต่ละเส้นทางนั้นไม่มีเส้นทางใดที่มีระยะเวลาในการขนส่งเกิน 15 วันตามข้อจำกัดเวลาที่ได้กำหนดไว้ในการเก็บรักษาความสดของมังคุด จากการปรับชุดเส้นทางการขนส่งใหม่จากแบบจำลองฯดังแสดงในตารางที่ 3 พลังงานในการขนส่งรวมทั้งหมดเท่ากับ 63,544.78 ล้าน BTU และเวลาที่ใช้ในการขนส่งรวมอยู่ที่ 64.59 วัน โดยในแต่ละเส้นทางของชุดเส้นทางการขนส่งที่ปรับใหม่ไม่มีเส้นทางใดเลยที่มีระยะเวลาในการขนส่งเกิน 15 วันซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของข้อจำกัดและสามารถขนส่งปริมาณของมังคุดไปยังจุดหมายปลายทางที่กำหนดไว้ได้อย่างครบถ้วน จากการสังเกตชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ที่ปรากฏนี้ไม่มีเส้นทางใดเลยที่มีการพักสินค้ามังคุดที่ท่าเรือเปลี่ยนถ่ายตามแนวคิดของการขนส่งหลากหลายรูปแบบหรือการขนส่งแบบผสมผสาน ซึ่งเหตุผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยของการขนถ่ายสินค้าซ้ำซ้อนและศักยภาพของท่าเรือเปลี่ยนถ่ายที่สามารถรับขนาดของเรือที่จำกัดมีผลกระทบให้เส้นทางที่ใช้การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบหรือการขนส่งแบบผสมผสานไม่สามารถตอบโจทย์ของการประหยัดพลังงานได้เท่ากับการขนส่งทางถนนโดยตรงไปยังท่าเรือส่งออก อย่างไรก็ตามชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ที่นำเสนอในบทความนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 8.03% เมื่อเทียบกับชุดเส้นทางการขนส่งในปัจจุบัน

**สรุป**

แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นที่ได้พัฒนาขึ้นนี้เพื่อประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจแก่ผู้ประกอบการขนส่งหรือผู้ส่งออกมังคุดในการเลือกเส้นทางการขนส่งมังคุดเพื่อการส่งออกมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานในการขนส่งให้มากที่สุดภายในระยะเวลาที่จำกัด โดยชุดเส้นทางการขนส่งมังคุดที่ถูกเสนอขึ้นสามารถช่วยประหยัดพลังงานในการขนส่งจากชุดเส้นทางปัจจุบันได้มากถึง 8.03% ภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ 15 วันในทุกเส้นทาง ผลการศึกษาดังกล่าวนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาลต่อผู้ประกอบการขนส่งโดยตรง หรือเอเยนต์ที่ทำหน้าที่ในการจัดหารถหัวลากสามารถใช้ชุดเส้นทางการขนส่งที่ถูกเสนอขึ้นใหม่นี้ หรือใช้แนวคิด

ของแบบจำลองฯที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ในการวางแผนชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ ในกรณีที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างออกไป (Other Scenarios) เช่น จำนวนของรถบรรทุก หรือจำนวนของเครนที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าที่ท่าแตกต่างออกไป เพื่อหาชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละสถานการณ์ ชุดเส้นทางการขนส่งใหม่เพื่อการส่งออกมังคุดนี้นอกจากจะเป็นประโยชน์กับภาคเอกชนแล้ว ยังสามารถให้ประโยชน์แก่ประเทศชาติในทางอ้อมไม่ว่าจะในแง่ของเศรษฐกิจ หรือการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดการปล่อยมลภาวะทางอากาศซึ่งจะส่งผลดีต่อประเทศชาติทางด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมหาศาลต่อไปในอนาคต

**ข้อเสนอแนะ**

ข้อเสนอแนะในการนำผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผู้ส่งออกมังคุดควรจะทำสัญญาหรือเป็นพันธมิตรกับผู้ประกอบการขนส่งที่ไว้ใจได้ในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับโรงงานของผู้ส่งออกเพื่อสามารถลดต้นทุนและพลังงานที่ใช้ในการขนส่งโดยรวมได้

2. แบบจำลองฯที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณการเลือกชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ได้ในกรณีศึกษาอื่นๆ ในสถานการณ์ที่แตกต่างออกไปได้ เช่น กรณีที่ต้องการจะหาชุดเส้นทางการขนส่งใหม่ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างออกไปของความเร็วและจำนวนของรถบรรทุกที่ใช้ จำนวนของเครนที่ใช้ในขนถ่ายสินค้าที่หน้าท่า หรืออัตราการขนถ่ายสินค้าที่เครน เป็นต้น

3. หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรจะเข้ามามีบทบาทในการเสนอแนวทางสำหรับความร่วมมือกันระหว่างผู้ส่งออกผลไม้ในการที่จะรวบรวมผลไม้ในแหล่งผลิตและจุดหมายปลายทางในที่เดียวกันเพื่อส่งเสริมให้มีการส่งออกผลไม้ทางเรือให้มากขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันบางครั้งต้องเสียเวลาในการรอการบรรจุผลไม้ให้เต็มตู้ก่อนที่จะทำการส่งออก

4. หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาที่ได้มีการเสนอแนะทางเลือกของชุดเส้นทางการขนส่งใหม่นี้ที่สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด ซึ่งจากผลการศึกษาได้แสดงว่าตำแหน่งของท่าเรือมาบตาพุดนั้นเป็นท่าเรือที่สามารถมีบทบาทในการเป็นท่าเรือที่ใช้ในการส่งออกมังคุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรึกษาหารือกับผู้บริหารของท่าเรือมาบตาพุดถึงความเป็นไปได้ในแนวทางที่จะส่งเสริมให้ท่าเรือมาบตาพุดเป็นท่าเรือส่งออกมังคุดหรือผลไม้อื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยมีการส่งเสริมให้มีสายเรือระหว่างประเทศให้เข้ามาใช้บริการที่ท่าเรือให้มากขึ้นเพื่อรับมังคุดหรือผลไม้อื่นๆเพื่อขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางในต่างประเทศเป็นสิ่งที่ท้าทายและจะสามารถสร้างประโยชน์ให้กับประเทศชาติได้อย่างมหาศาลในอนาคตต่อไป

**รายการอ้างอิง**

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552). **สถิติพลังงานของประเทศไทย.** กระทรวงพลังงาน.

บุญทรัพย์ พาณิชการ. (2554). **ขนส่งสินค้าภายในประเทศด้วยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ.** เข้าถึงเมื่อ 21 เมษายน 2557, จาก http://www.freightmaxad.com/magazine/?p=1896UH.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2555). **สถานการณ์และแนวโน้มสินค้าเกษตรที่สำคัญ ปี พ.ศ.2555.** ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร.

Bookbinder,J.H. & Fox, N.S. (1998). Intermodal routing of Canada-Mexico shipments under NAFTA. Transport Research part E. **Logistics and Transportation Review, 34** (4),289-303.

Cho, S.C. & Perakis, A.N. (1996). Optimal liner fleet routing strategies. **Maritime Policy and Management, 23** (3),249-259.

Dantzig, G.B. & Fulkerson, D.R. (1954). Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule. **Naval Research Logistic Quarterly, 1**, 217-222.

Department of Energy. (1982). **Energy Efficiency in Transportation.** U.S.A.: Department of Energy.

Everett, J.L., Hax, A.C., Lewinson, V.A. & Nudds, D. (1972). Optimization of a fleet of large tankers and bulkers: A linear programming approach. **Marine Technology, October**, 430-438.

Fagerholt, K. (2004). Designing Optimal Routes in a Liner Shipping Problem. **Maritime Policy and Management, 31**(4), 259-268.

Hitchcock, F.L. (1941). The distribution of a product from several sources to numerous localities. **Journal of Mathematical Physics, 20**, 224-230.

Lane,D.E., Heaver,T.D. & Uyeno.D. (1987). Planning and Scheduling for Efficiency in Liner Shipping. **Maritime Policy and Management, 14**, 109-125.

Leung, S.C.H., Yue, W. & Lai, K.K. (2002). An optimization model for a cross-border logistics problem: a case in Hong Kong. **Computer & Industrial Engineering, 43**, 393-405.

Logozar K., Radonjic G. & Bastic M. (2006). Incorporation of reverse logistics model into in-plant recycling process: A case of aluminium industry. **Resources, Conservation and Recycling, 49**, 49-67.

Notteboom, T.& Carriou, P. (2009). Fuel surcharge practices of container shipping lines : Is it about cost recovery or revenue making? In : **Proceeding of the 2009 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference**, 24-26 June. 2009, Copenhagen, Denmark.

Rana, K. & Vickson, R.G. (1988). A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership. **Transportation Science, 22**, 83-95.

Rana, K. & Vickson, R.G. (1991). Routing containerships using Lagrangean Relaxation and Decomposition. **Transportation Science, 22**, 201-214.

Shih, L.H. (1997). Planning of fuel coal imports using a mixed integer programming method. **International Journal of Production Economic, 51**, 243-249.

Tzeng, G., Hwang, M. & Ting, S. (1995). Taipower's coal logistics system : allocation planning and bulk fleet deployment. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 25**, 24-46.