การวางแผนจัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือบรรทุกสินค้า กรณีศึกษา บริษัทให้บริการขนส่งทางเรือแห่งหนึ่งในประเทศไทย

Container Planning Allocate to Vessels: A Case Study of the Shipping Services Company in Thailand

ปนัดดา สาระพิทักษ์[1]
คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (NIDA) 118 ถนนเสรีไทย เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
E-mail: [1]yuihot_water@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงกรณีศึกษาการวางแผนการจัดส่งสินค้าทางเรือด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละสัปดาห์ ที่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์เพื่อไปส่งท่าเรือในยุโรป 7 ท่าเรือ เส้นทางเดินเรือมีทั้งหมด 4 เส้นทางแบบเครือข่าย ปัญหาการจัดส่งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันส่วนมากเกิดจากตู้คอนเทนเนอร์บางส่วนไม่สามารถส่งไปยังท่าเรือในยุโรปภายในระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนด เนื่องจากเรือแม่ที่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือที่ลูกค้าต้องการนั้นบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์จนเต็มจำนวนที่บริษัทสามารถใช้ได้ ดังนั้นบริษัทจึงต้องจัดตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นไปยังเรือแม่ของเส้นทางอื่นที่ยังสามารถบรรทุกได้ และใช้วิธีการลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือหนึ่งเพื่อรอให้เรือแม่ที่จะวิ่งไปยังท่าเรือที่ลูกค้าต้องการมาขึ้นตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นไปส่ง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของบริษัทเพิ่มสูงขึ้นและก่อให้เกิดความไม่น่าเชื่อถือต่อบริษัทเมื่อเกิดการจัดส่งที่ล่าช้า นอกจากนี้อาจต้องจ่ายค่าเสียหายให้แก่ลูกค้าหรืออาจให้ส่วนลดเมื่อลูกค้ามาใช้บริการในครั้งต่อไป แต่ในระยะยาวอาจส่งผลให้เสียลูกค้ารายนั้นไป ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดสรรไปยังเรือแม่ที่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือที่ยุโรปในทั้ง 4 เส้นทาง เพื่อให้ได้กำไรที่สูงสุดและส่งตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดได้ตามเวลาที่ลูกค้าต้องการ ในการเดินเรือนั้นสามารถเปลี่ยนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ไปยังเรือแม่ลำอื่นที่ท่าเรือหนึ่งได้ โดยที่จำนวนตู้คอนเนอร์ที่บรรทุกไปในเรือทั้ง 4 ลำต้องไม่เกินข้อกำหนดที่บริษัทสามารถใช้ได้ และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าที่ท่าเรือสิงคโปร์ต้องถูกจัดส่งให้หมดภายในสัปดาห์นั้น

คำสำคัญ: เรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์, ตัวแบบทางคณิตศาสตร์, เครือข่ายเส้นทาง

Abstract

This paper discusses how to ship containers in each week from a port in Singapore to seven ports in Europe along four established routes in the network. Under the current shipping plan, some containers reach their final destination late, because the main vessel at Singapore needs to wait until it is full, causing the departure delays. To alleviate the problem, the company tries to send containers to the main vessels along the other routes. The containers would be offloaded and waited to be transfer to the main vessels at the transshipment port. If these containers wait too long, the company incurs additional costs from handling delays; this consequently reduces the reliability of the shipping company. In this study, we formulate a mathematical model, in which the number of containers to be shipped via each route is determined in order to maximize profit, while reaching the destination without any delays. In the model, we also determine the number of transferred containers at the transshipment port. Other constraints are the vessel capacity and delivery deadline.

Keywords: container vessel, mathematical model , routing network

1. ที่มาและความสำคัญ

การขนส่งสินค้าทางทะเล สามารถแบ่งประเภทของเรือที่ใช้ในการขนส่งตามลักษณะของสินค้าที่บรรทุกโดยแบ่งเป็นประเภทหลักๆ ดังนี้ เรือบรรทุกสินค้าแบบเทกอง(Bulk Carriers) เรือบรรทุกน้ำมัน (Tankers) และเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์(Container Vessel) ซึ่งถือเป็นธุรกิจเดินเรือที่มีมากกว่าธุรกิจเดินเรือแบบอื่นๆ การขนส่งประเภทนี้ดำเนินการโดยนำสินค้าบรรจุในตู้คอนเทนเนอร์เพื่อนำตู้คอนเทนเนอร์นั้นขึ้นเรือเพื่อไปส่งยังท่าเรือปลายทาง ในประเทศไทยการขนส่งสินค้าทั้งนำเข้าและส่งออกส่วนใหญ่ใช้การขนส่งทางทะเล จากสถิติของกรมศุลกากร กระทรวงการคลัง ณ ปี พ.ศ. 2556 มีสินค้าเข้าประเทศไทยประมาณ 100,404 พันตัน ซึ่งทำการขนส่งทางเรือในปริมาณ 87,391 พันตัน คิดเป็น 87.04% ของปริมาณสินค้าขาเข้าทั้งหมด รองลงมาเป็นการขนส่งทางรถยนต์ 12,723 พันตันและเป็นการขนส่งอื่นๆ 290 พันตัน มีสินค้าออกประเทศไทยประมาณ 112,603 พันตัน ซึ่งทำการขนส่งทางเรือในปริมาณ 98,696 พันตัน คิดเป็น 87.65% ของปริมาณสินค้าขาออกทั้งหมด รองลงมาเป็นการขนส่งทางรถยนต์ 13,419 พันตัน และการขนส่งอื่นๆ 487 พันตัน[4]

การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศด้วยเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์จัดว่าเป็นการขนส่งที่ผู้ส่งนิยมใช้มากที่สุด ทั้งนี้เพราะสามารถขนส่งสินค้าได้หลายประเภทภายในเรือหนึ่งลำโดยจะเลือกใช้ตู้คอนเทนเนอร์ให้เหมาะกับสินค้าที่ต้องการส่ง สามารถแบ่งประเภทของสินค้าหลักๆ ที่ขนส่งด้วยเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ได้ดังนี้

* Corresponding author: E-mail: yuihot_water@hotmail.com
[1] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์

1. สินค้าทั่วไป เป็นสินค้าที่มีลักษณะแห้งไม่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษ เช่น น้ำตาลบรรจุถุง เครื่องนุ่งห่ม อุปกรณ์เครื่องจักร เป็นต้น โดยจะเลือกใช้ตู้คอนเทนเนอร์ทึบแบบมาตรฐานทั่วไปไม่มีแผ่นฉนวนอยู่ด้านใน
2. สินค้าที่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษ เช่น ผักสด ผลไม้สด อาหารแช่แข็ง สารเคมี เป็นต้น ตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้มีลักษณะเป็น ตู้ห้องเย็นที่จะมีเครื่องทำความเย็นในตู้ภายในระบุฉนวนทุกด้านเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู้ด้านใน หรือ ตู้ระบายอากาศที่มีพัดลมเพื่อดูดก๊าซออกจากตู้คอนเทนเนอร์
3. สินค้าที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้มีลักษณะเป็นตู้แท็งก์เกอร์ที่ใช้สำหรับบรรจุของเหลวโดยเฉพาะ
4. สินค้าที่มีขนาดใหญ่ เช่น เครื่องจักร แท่งหิน ประติมากรรม รถยนต์ ตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้มักเป็นตู้เปิดหลังคา ตู้เปิดข้าง หรือตู้แพลตฟอร์มที่พื้นตู้ถูกสร้างให้มีลักษณะพิเศษให้เหมาะกับสินค้าที่บรรทุก

การขนส่งสินค้าทางเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์มีข้อดีที่จะใช้ในการขนส่งระยะไกลดังนี้

1. อัตราค่าขนส่งถูกกว่าการขนส่งประเภทอื่นเนื่องจากการขนส่งทางเรือสามารถขนส่งสินค้าได้ในปริมาณมาก ทำให้มีต้นทุนด้านเชื้อเพลิงต่อหน่วยที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการขนส่งประเภทอื่น
2. ลดความเสียหายของสินค้า และ ป้องกันการโจรกรรมสินค้าภายในตู้คอนเทนเนอร์
3. ง่ายต่อการตรวจเช็คและขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ขึ้นลงเรือได้อย่างรวดเร็ว
4. สามารถส่งสินค้าได้ในระยะไกล

ประเทศไทยมีท่าเรือหลักที่ใช้สำหรับการนำเข้าและส่งออกสินค้าจำนวน 5 ท่าเรือ ได้แก่ ท่าเรือกรุงเทพ ท่าเรือแหลมฉบัง ท่าเรือสงขลา ท่าเรือน้ำลึกภูเก็ต และ ท่าเรือมาบตาพุด ซึ่งปริมาณสินค้าที่นำเข้าและส่งออกดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้าถือว่ามีปริมาณมากพอที่เรือสินค้าขนาดใหญ่จะคุ้มค่าที่เข้ามาเทียบท่าเป็นประจำ และด้วยโครงสร้างคมนาคมขนส่งของไทยทั้ง ทางถนน ทางน้ำ ทางอากาศ และทางราง ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างท่าเรือกับเมืองต่างๆภายในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน ทำให้ประเทศไทยจะได้ประโยชน์หากใช้การขนส่งทางทะเลให้เป็นศูนย์กลางขนส่งเชื่อมโยงเส้นทางขนส่งระยะทางไกลระหว่างประเทศ

ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศด้วยเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ จึงได้เขียนบทความเกี่ยวกับการศึกษาการจัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งมีเส้นทางเดินเรือแบบเครือข่าย(Routing Network) เดินเรือออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือในยุโรปจำนวน 7 ท่าเรือ ของบริษัทให้บริการการขนส่งสินค้าทางเรือแห่งหนึ่งในประเทศไทยเพื่อส่งสินค้าของลูกค้าในประเทศไทย ในทุกๆสัปดาห์การให้บริการส่งสินค้าของบริษัทแห่งนี้มีการขนส่งสินค้าออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกส่งตู้คอนเทนเนอร์ออกจากประเทศไทยโดยใช้เรือลูก(Feeder)บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์จากท่าเรือกรุงเทพ ท่าเรือแหลมฉบัง และท่าเรือสงขลา ไปยังท่าเรือสิงคโปร์และลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือสิงคโปร์ ช่วงที่สอง ส่งสินค้าออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือในยุโรปทั้ง 7 ท่าเรือโดยจะมีเรือแม่ 4 ลำมารับตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือสิงคโปร์ ซึ่งเรือแม่แต่ละลำจะมีเส้นทางเดินเรือที่แตกต่างกันออกไป และเส้นทางเดินเรือทั้ง 4 เส้นทางนี้มีลักษณะแบบเครือข่าย นอกจากนี้เรือแม่แต่ละลำจะมาถึงท่าเรือสิงคโปร์และ ท่าเรือในยุโรปทั้ง 7 ท่าเรือในเวลาต่างกันออกไป

การดำเนินการในปัจจุบันของบริษัทพบว่า ตู้คอนเทนเนอร์บางส่วนไม่สามารถส่งไปยังท่าเรือปลายทางภายในระยะเวลาที่ลูกค้าต้องการ เพื่อให้สามารถจัดส่งได้เร็วขึ้นบริษัทจึงแก้ปัญหาโดยการจัดตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นไปในเรือแม่ที่ยังสามารถบรรทุกได้ และลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือหนึ่งเพื่อรอให้เรือแม่ลำที่จะแล่นเข้าท่าเรือปลายทางที่ต้องการส่ง เมื่อเรือแม่ลำนั้นมาถึงแล้วจึงทำการขึ้นตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นเพื่อไปส่งยังท่าเรือที่ต้องการส่ง ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เรือแม่แต่ละลำสามารถบรรทุกได้ด้วย ในบางครั้งเรือแม่ที่เข้ามาภายหลังก็ไม่สามารถรับตู้คอนเทนเนอร์ขึ้นมาเพิ่มได้เพราะจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกในเรือแม่ลำนั้นเต็มจำนวนที่บริษัทสามารถใช้ได้ ทำให้การจัดส่งล่าช้าออกไปอีก ด้วยสาเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกไปในเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง ที่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือในยุโรป เพื่อให้สามารถส่งตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดภายในระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนดและมีกำไรสูงสุด โดยจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกในเรือแม่ทั้ง 4 ลำต้องไม่เกินจำนวนที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกได้ และสามารถย้ายตู้คอนเทนเนอร์ไปเส้นทางอื่นได้ โดยลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือหนึ่งเพื่อรอเรือแม่ที่จะแล่นไปท่าเรือที่ต้องการส่งมาถึง และขึ้นตู้คอนเทนเนอร์เพื่อไปส่งยังปลายทางที่ต้องการ นอกจากนี้ตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าที่ท่าเรือสิงคโปร์ต้องถูกส่งขึ้นเรือแม่ภายในสัปดาห์นั้น

2. ทบทวนวรรณกรรม

ปัญหาการขนส่งสินค้าทางทะเลโดยภาพรวมแล้วงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดเส้นทางเดินเรือและการจัดเรือไปในเส้นทางเดินเรือต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น Christiansen นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือและการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าประเภทเดียวในธุรกิจการขนส่งในปี ค.ศ. 1999 ต่อมาในปี ค.ศ. 2007 Al-Khayal and Hwang ได้ศึกษาต่อในปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือและการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าหลายประเภทในธุรกิจการขนส่ง นอกจากนี้ในปีค.ศ. 2009 Fagerholt ได้ศึกษาปัญหาของเรือเดินสมุทรเพื่อวางแผนการจัดสรรเรือไปในเส้นทางเดินเรือที่เหมาะสมเพื่อกำหนดเส้นทางเดินเรือ และกำหนดตารางการเดินเรือโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรสูงสุดหรือค่าใช้จ่ายต่ำสุด

ปัจจุบันการขนส่งสินค้าทางทะเลส่วนใหญ่ใช้เรือบรรทุกตู้คอนเนอร์ในการขนส่ง มีงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการเรือเดินสมุทรที่จัดส่งสินค้าด้วยระบบคอนเทนเนอร์ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Powell and Perakis ในปีค.ศ. 1997, Gelareh and Meng ในปีค.ศ. 2010, Meng and Wang ในปีค.ศ. 2010, Wang ในปีค.ศ. 2011 และ Zacharioudakis ในปีค.ศ. 2011 ทั้งนี้การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศทั้งขาเข้าและขาออกของประเทศไทยใช้การขนส่งทางทะเลเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นถือเป็นโอกาสสำหรับผู้ประกอบการให้บริการขนส่งทางเรือในการเติบโตของธุรกิจ และพัฒนาศักยภาพการดำเนินงานควบคู่ไปกับการลดต้นทุนเพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งขันได้ ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการจัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ จึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดสินค้าลงเรือดังนี้ งานวิจัยของ[3] ศึกษาปัญหาของเรือบรรทุกสินค้า โดยกำหนดปริมาณของสินค้าที่จะจัดลงเรือที่ท่าเรือต่างๆให้สอดคล้องกันระหว่างท่าเรือเริ่มต้นและท่าเรือปลายทาง กำหนดเส้นทางเดินเรือและกำหนดเรือที่จะให้เดินเรือในเส้นทางนั้นๆ กำหนดเวลาการเดินเรือ โดยการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นตรง

ผสมจำนวนเต็ม เพื่อให้ต้นทุนต่ำสุด โดยพิจารณาข้อจำกัดของสินค้าคงคลังที่อยู่ที่ท่าเรือไม่เกินที่กำหนด และต้องไม่เกิดสิ้นค้าค้างส่งที่ท่าเรือต่างๆ ทั้งนี้จะพิจารณาค่าเฉลี่ยของเวลาการแล่นเรือแต่ละลำในระหว่างสองท่าเรือ และการเดินเรือจะต้องอยู่ภายในเวลาที่กำหนด งานวิจัยของ [2] ศึกษาปัญหาการเดินเรือเช่าเหมาลำแสดงการหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ถูกขนส่งระหว่างท่าเรือ และจำนวนครั้งของการเดินเรือในช่วงเวลาที่เช่าเหมาลำ โดยสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดของเรือบรรทุกสินค้าตู้คอนเทนเนอร์ที่เช่าเหมาลำ นั่นหมายถึงการหาลำดับการเข้าจอดในท่าเรือ นอกจากนี้ตัวแบบนี้ได้ใช้ในการประเมินว่าควรจะเช่าเรือบรรทุกสินค้าตู้คอนเทนเนอร์เหมาลำหรือไม่

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาและได้ทราบว่าปัญหาของการขนส่งมีดังนี้ ข้อกำหนดเกี่ยวกับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจัดไปในเรือแม่ของแต่ละเส้นทาง ข้อกำหนดเกี่ยวกับเวลาที่บริษัทต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด และตู้คอนเนอร์ที่ท่าเรือเริ่มต้นทั้งหมดต้องถูกจัดขึ้นเรือออกจากท่าเรือเริ่มต้นภายในสัปดาห์นั้น เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ดีที่สุดที่จะจัดไปในแต่ละเส้นทาง จึงสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบไม่เชิงเส้น มาใช้ในปัญหาการขนส่งนี้ เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด ทั้งนี้ยังสามารถทำการย้ายตู้คอนเทนเนอร์ไปเรือลำอื่นได้เมื่อตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นถูกบรรทุกออกจากท่าเรือเริ่มต้น ผลคำตอบที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สำหรับจัดส่งทั้ง 7 ท่าเรือที่ถูกบรรทุกไปในแต่ละเส้นทาง และจะทราบถึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ลงไว้ที่ทั้ง 7 ท่าเรือด้วย โดยคำตอบที่ได้นี้จะช่วยสนับสนุนการดำเนินงานของบริษัทเพื่อให้การจัดส่งตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดถูกส่งภายในระยะเวลาที่กำหนดในแต่ละสัปดาห์ และมีกำไรที่สูงสุด

3. กระบวนการส่งสินค้า

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทให้บริการขนส่งสินค้าทางเรือ ซึ่งกระบวนการส่งสินค้าจากประเทศไทยไปยังทวีปยุโรป โดยทำการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์และทำการส่งตู้คอนเทนเนอร์ไปยังท่าเรือที่ลูกค้าต้องการให้ไปส่ง มีทั้งหมด 7 ท่าเรือคือ ท่าเรือปิเรอุซ ท่าเรือรอตเทอร์ดาม ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว ท่าเรือฮัมบูร์ก ท่าเรือแอนต์เวิร์ป ท่าเรืออัลเจกีราส และท่าเรือเลออาฟวร์ การขนส่งของบริษัทนี้ทำการขนส่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วงหลักๆ ดังนี้

ช่วงแรก ใช้เรือลูกลำเลียงตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือกรุงเทพ ท่าเรือแหลมฉบัง และท่าเรือสงขลา แล่นเรือไปลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือสิงคโปร์ สำหรับการส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือทั้ง3 ท่าเรือนั้น ขึ้นอยู่กับการตกลงระหว่างลูกค้ากับบริษัท

ช่วงที่สอง บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์โดยใช้เรือแม่ขนาดใหญ่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือในยุโรปทั้ง 7 ท่าเรือ บริษัทเป็นผู้จัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง ภายใต้ข้อจำกัดด้านจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจะจัดลงเรือแม่ทั้ง 4 ลำได้ ในทุกสัปดาห์จะมีเรือแม่ 4 ลำเข้ามาที่ท่าเรือสิงคโปร์ เรือแม่ทั้ง 4 ลำนี้เดินเรือในเส้นทางที่ต่างกัน ซึ่งเส้นทางเหล่านี้ถูกกำหนดไว้เป็นแบบเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 1 โดยที่ 0, 1, ..., 7 แทนท่าเรือสิงคโปร์ ท่าเรือปิเรอุซ ท่าเรือรอตเทอร์ดาม ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว ท่าเรือฮัมบูร์ก ท่าเรือแอนต์เวิร์ป ท่าเรืออัลเจกีราส ท่าเรือเลออาฟวร์ ตามลำดับ การเดินเรือของทั้ง 4 เส้นทางมีรายละเอียดดังนี้

เส้นทางที่ 1 เรือแม่1 จะมาถึงท่าเรือสิงคโปร์เป็นลำดับแรก

$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

เส้นทางที่ 2 เรือแม่2 จะมาถึงท่าเรือสิงคโปร์เป็นลำดับที่สาม

$0 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

เส้นทางที่ 3 เรือแม่3 จะมาถึงท่าเรือสิงคโปร์เป็นลำดับที่สอง

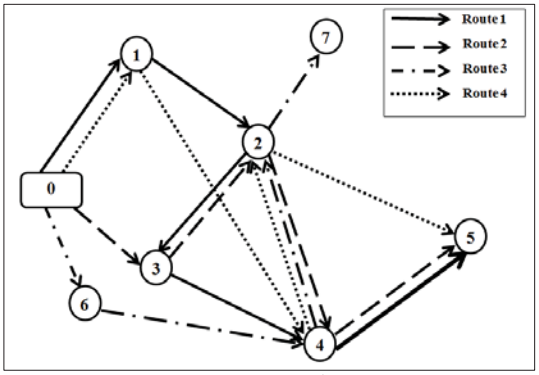
$0 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 7$

เส้นทางที 4 เรือแม่4 จะมาถึงท่าเรือสิงคโปร์เป็นลำดับที่สี่

$0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5$

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่า ท่าเรือ 0 มีเพียงการเดินเรือที่บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือเพียงอย่างเดียว ท่าเรือ 1, 2, 3, 4 และ6 มีการเดินเรือที่บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์เข้ามายังท่าเรือ และมีการเดินเรือที่บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือ ท่าเรือ 5 และ7 มีเพียงการเดินเรือที่บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์เข้ามายังท่าเรือเพียงอย่างเดียว

การส่งตู้คอนเทนเนอร์ไปยังท่าเรือปลายทาง บริษัทจะจัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือแม่ที่มีเส้นทางเดินเรือไปยังท่าเรือที่ต้องการส่ง เช่น มีตู้คอนเทนเนอร์ที่จะต้องส่งท่าเรือเลออาฟวร์จำนวน 10 TEU บริษัทจะจัดตู้คอนเทนเนอร์จำนวน 10 TEU นี้ไปยังเรือแม่ของเส้นทางที่ 3 (เส้นทางที่มีการเดินเรือเข้าท่าเรือเลออาฟวร์) แต่ในบางครั้งตู้คอนเทนเนอร์เหล่านี้ไม่สามารถจัดขึ้นไปในเรือแม่ในเส้นทางที่ 3 ได้ อันเนื่องมาจากเรือแม่ของเส้นทางที่ 3 ถูกจัดให้บรรทุกตู้คอนเทนเนอร์เต็มจำนวนที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกได้ ส่งผลให้ต้องจัดตู้คอนเทนเนอร์เหล่า นั้นไปอยู่ในเรือแม่ของเส้นทางที่ 1(เส้นทางที่ไม่มีการเดินเรือเข้าท่าเรือเลออาฟวร์) แล้วลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือรอตเทอร์ดาม เมื่อเรือแม่ของเส้นทางที่ 3 มาถึงก็ทำการขึ้นตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นเพื่อไปส่งยังท่าเรือเลออาฟวร์



รูปที่ 1 เครือข่ายเส้นทางเดินเรือของเรือแม่ทั้ง 4 เส้นทาง

4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การสร้างตัวแบบเพื่อกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกในเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง เพื่อลดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จัดส่งล่าช้า กรณีศึกษาบริษัทให้บริการขนส่งสินค้าทางเรือแห่งหนึ่งในประเทศไทยประกอบด้วยขั้นตอนงานวิจัยดังนี้

4.1 ศึกษาปัญหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นของบริษัทกรณีศึกษานี้ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมีปัญหาด้านจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ออกจากท่าเรือในประเทศไทย และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะส่งยังท่าเรือปลายทางในยุโรปในแต่ละสัปดาห์มีจำนวนที่ไม่คงที่ บริษัทจึงต้องทำการวางแผนจัดตู้

คอนเทนเนอร์ลงเรือในทุกสัปดาห์ นอกจากนี้การส่งตู้คอนเทนเนอร์ไปยังท่าเรือต่างๆ ภายในระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนดก็ถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญของกรณีศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้ ศึกษากระบวนการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ตั้งแต่การรับตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าเข้ามา จนถึงการส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือปลายทาง ศึกษารายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ศึกษาถึงปัจจัยทั้งด้านต้นทุน ระยะเวลาในการเดินเรือไปยังแต่ละท่าเรือ ความสามารถในการลงตู้คอนเทนเนอร์เพื่อส่งตู้ให้ลูกค้าที่ท่าเรือต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนด รวมไปถึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เรือแต่ละลำสามารถบรรทุกได้

ตารางที่ 1 แสดงค่าใช้จ่ายด้านเอกสาร(a) ค่าใช้จ่ายผันแปรสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ที่ส่งออกไปยังยุโรป(c) สัดส่วนของbookingต่อจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมด(f) และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่ท่าเรือสิงคโปร์

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลอัตราค่าบริการที่คิดกับลูกค้าโดยพิจารณาจากท่าเรือที่ลูกค้าต้องการให้ไปส่ง(p_i) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการลงตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือในยุโรปทั้ง 7 ท่าเรือ(b_i) จำนวนตู้คอนเทนเนอร์โดยเฉลี่ยต่อสัปดาห์ที่ต้องส่งให้ลูกค้าในแต่ละท่าเรือ(d_i) และเวลาโดยเฉลี่ยที่ลูกค้ากำหนดให้ไปส่งสำหรับแต่ละท่าเรือ(t_i)

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สูงสุดที่บริษัทสามารถจัดลงเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง(s_k เมื่อ k = 1, 2, 3, 4 แทนเส้นทาง 1 ,2, 3, 4) และแสดงระยะเวลาของการเดินเรือจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังทั้ง 7 ท่าเรือของ 4 เส้นทาง ซึ่งจะเห็นถึงลำดับการเข้าจอดในท่าเรือต่างๆ ของทั้ง 4 เส้นทางดังนี้ ที่ท่าเรือ1 เรือแม่ของ

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ สัดส่วนของbooking และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือสิงคโปร์

a ($/booking)	72.55
c ($/TEU)	801.03
f (booking/TEU)	0.48
e (TEU)	261

ตารางที่ 2 ค่าบริการ ค่าใช้จ่าย จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ และเวลาที่ต้องส่งสำหรับแต่ละท่าเรือ

i	p_i ($/TEU)	b_i ($/TEU)	d_i (TEU)	t_i (วัน)
1	5003	208.14	1	30
2	1943	252.72	83	35
3	1784	264.73	76	25
4	1610	274.58	50	30
5	2042	202	31	40
6	1362	207.81	1	30
7	2661	233.3	19	40

ตารางที่ 3 จำนวนตู้ที่บรรทุกได้ในแต่ละเส้นทาง และระยะเวลาที่เรือแม่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์มาถึงท่าเรือในยุโรป

	s_k (TEU)	ท่าเรือ(วัน)						
		1	2	3	4	5	6	7
k = 1	200	13	20	22	25	28	-	-
k = 2	145	-	31	29	34	37	-	-
k = 3	25	-	32	-	29	-	24	35
k = 4	88	24	36	-	33	39	-	-

เส้นทาง 1 เดินเรือมาถึงก่อนเรือแม่ของเส้นทาง 4 และเรือแม่ของเส้นทาง 2, 3 ไม่เดินเรือเข้ามายังท่าเรือ 1 สำหรับท่าเรือ 2 ,3 , ..., 7 ก็พิจารณาในแบบเดียวกัน นอกจากนี้จะเห็นว่าท่าเรือใดที่มีเรือแม่เข้ามากกว่า 1 ลำ และมีทั้งการเดินเรือเข้ามายังท่าเรืออีกทั้งยังมีการเดินเรือออกจากท่าเรือ จะได้ว่าตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกมาจากเรือแม่ลำที่มาถึงท่าเรือก่อนสามารถย้ายตู้ไปเรือแม่ของเส้นทางอื่นที่เข้ามาถึงในภายหลังเพื่อเปลี่ยนเส้นทางได้ ยกตัวอย่างเช่น ตู้คอนเทนเนอร์จากเรือแม่ของเส้นทาง 1 สามารถลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือ 1 เมื่อเรือแม่ของเส้นทาง 4 มาถึงก็นำตู้คอนเทนเนอร์เหล่านั้นขึ้นเรือแม่เพื่อนำไปส่งยังท่าเรือปลายทาง ดังนั้นการบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ของเรือแม่เส้นทาง1 จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกออกจากท่าเรือ1 ต้องมีจำนวนอย่างมากที่สุดเท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกเข้ามายังท่าเรือ 1 (อาจลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือ 1 เพื่อรอขึ้นเรือแม่ของเส้นทาง 4) สำหรับการบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์เรือแม่เส้นทาง 4 จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกออกจากท่าเรือ 1 ต้องมีจำนวนอย่างน้อยที่สุดเท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกเข้า(อาจรับตู้คอนเทนเนอร์ที่เรือแม่เส้นทาง 1 ลงไว้ที่ท่าเรือ 1) ที่ท่าเรือ 2, 3, 4 ก็พิจารณาในแบบเดียวกันกัน โดยจะพิจารณาเฉพาะเรือลำแรกและลำสุดท้ายที่มาถึงท่าเรือนั้น เนื่องจากเรือแม่ที่เข้ามาถึงท่าเรือเป็นลำดับที่สองหรือสาม อาจมีทั้งการลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือนั้นหรือรับตู้คอนเทนเนอร์ของเรือแม่ลำก่อนหน้าเพิ่มก็ได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่ลูกค้าต้องการให้ตู้คอนเทนเนอร์ไปถึงท่าเรือปลายทางพบว่าเรือแม่ในเส้นทาง 2 ไม่สามารถลงตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งให้ท่าเรือ 3 และ 4 ได้ เนื่องจากระยะเวลาที่เรือแม่มาถึงท่าเรือนั้นมากกว่าระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนด เช่นเดียวกับเรือแม่ของเส้นทาง 4 ไม่สามารถลงตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งให้ที่ท่าเรือ 2 และ 4 ได้

4.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ดีที่สุดสำหรับจัดไปในแต่ละเส้นทาง

ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกลงเรือในแต่ละเส้นทาง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี (Index)

i, j ดัชนีของท่าเรือ $i, j = 0, 1, ..., 7$ แทนท่าเรือ สิงคโปร์ ปิเรอุซ รอตเทอร์ดาม เฟลิกซ์สโตว์ ฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป อัลเจกีราส และ เลออาฟวร์

m ดัชนีของตู้คอนเทนเนอร์ที่จะส่งที่ท่าเรือ $m = 0, 1, ..., 7$ แทนท่าเรือปิเรอุซ รอตเทอร์ดาม เฟลิกซ์สโตว์ ฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป อัลเจกีราส และ เลออาฟวร์

k ดัชนีของเส้นทางเดินเรือ $k = 1, 2, 3, 4$ แทนเส้นทาง1 ,2, 3, 4

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$x^k_{m,ij}$ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์(TEU) สำหรับส่งที่ท่าเรือ m ที่บรรทุกจากท่าเรือ i ไปยังท่าเรือ j โดยใช้เส้นทาง k

พารามิเตอร์ (Parameter)

s_k จำนวนตู้คอนเทนเนอร์สูงสุดที่บริษัทสามารถจัดลงเรือแม่ของเส้นทาง k (TEU)

d_i จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องส่งที่ท่าเรือ i (TEU)

p_i ค่าบริการที่คิดกับลูกค้าสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ที่ไปส่งที่ท่าเรือ i ($/TEU)

b_i ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการลงตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือ i ($/TEU)

e จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือสิงคโปร์ (TEU)

a ค่าใช้จ่ายด้านเอกสาร ($/booking)

c ค่าใช้จ่ายผันแปรสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องส่งออกไปยังยุโรป ($/TEU)

f สัดส่วนของ booking ต่อจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมด (booking/TEU)

ค่าพารามิเตอร์ได้ระบุในตารางที่ 1, 2 และ 3

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\begin{aligned}Max\ Profit\ =&\{(p_1-b_1)d_1+(p_2-b_2)d_2+\\&(p_3-b_3)d_3+(p_4-b_4)d_4+(p_5-b_5)d_5+\\&(p_6-b_6)d_6+(p_7-b_7)d_7\ \}\\&-\{c\sum_{m=1}^{7}(x_{m,01}^{1}+x_{m,03}^{2}+x_{m,06}^{3}+x_{m,01}^{4})\ \}\\&-\{a(f)\sum_{m=1}^{7}(x_{m,01}^{1}+x_{m,03}^{2}+x_{m,06}^{3}+x_{m,01}^{4})\ \}\\&-\{b_1\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,14}^{4}-x_{m,01}^{4})\ +\\&\quad b_2[\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,24}^{2}-x_{m,32}^{2})\ +\\&\qquad\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,27}^{3}-x_{m,42}^{3})\ +\\&\qquad\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,25}^{4}-x_{m,42}^{4})]+\\&\quad b_3\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,32}^{2}-x_{m,03}^{2})+\\&\quad b_4[\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,42}^{3}-x_{m,64}^{3})\ +\\&\qquad\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,42}^{4}-x_{m,14}^{4})\ +\\&\qquad\sum_{m=1}^{7}Max(0,x_{m,45}^{2}-x_{m,24}^{2})]\}\end{aligned}\quad (1)$$

ข้อจำกัด (Constraint)

$$x_{m,01}^{1}+x_{m,03}^{2}+x_{m,06}^{3}+x_{m,01}^{4}=d_m \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (2)$$
$$x_{1,01}^{1}+x_{1,01}^{4} = d_1 \quad (3)$$
$$x_{2,12}^{1}+x_{2,32}^{2}+x_{2,42}^{3}+x_{2,42}^{4} = d_2 \quad (4)$$
$$x_{3,23}^{1}+x_{3,03}^{2} = d_3 \quad (5)$$
$$x_{4,34}^{1}+x_{4,24}^{2}+x_{4,64}^{3}+x_{4,14}^{4} = d_4 \quad (6)$$
$$x_{5,45}^{1}+x_{5,45}^{2}+x_{5,25}^{4} = d_5 \quad (7)$$
$$x_{6,06}^{3} = d_6 \quad (8)$$
$$x_{7,27}^{3} = d_7 \quad (9)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,01}^{1} \le s_1 \quad (10)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,12}^{1} \le s_1 \quad (11)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,23}^{1} \le s_1 \quad (12)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,34}^{1} \le s_1 \quad (13)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,45}^{1} \le s_1 \quad (14)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,03}^{2} \le s_2 \quad (15)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,32}^{2} \le s_2 \quad (16)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,24}^{2} \le s_2 \quad (17)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,45}^{2} \le s_2 \quad (18)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,06}^{3} \le s_3 \quad (19)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,64}^{3} \le s_3 \quad (20)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,42}^{3} \le s_3 \quad (21)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,27}^{3} \le s_3 \quad (22)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,01}^{4} \le s_4 \quad (23)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,14}^{4} \le s_4 \quad (24)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,42}^{4} \le s_4 \quad (25)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,25}^{4} \le s_4 \quad (26)$$
$$\sum_{m=1}^{7}[(x_{m,01}^{1}+x_{m,01}^{4})-(x_{m,12}^{1}+x_{m,14}^{4}+d_1)] = 0 \quad (27)$$
$$\sum_{m=1}^{7}[(x_{m,12}^{1}+x_{m,32}^{2}+x_{m,42}^{3}+x_{m,42}^{4})-(x_{m,23}^{1}+x_{m,24}^{2}+x_{m,27}^{3}+x_{m,25}^{4}+d_2)] = 0 \quad (28)$$
$$\sum_{m=1}^{7}[(x_{m,23}^{1}+x_{m,03}^{2})-(x_{m,34}^{1}+x_{m,32}^{4}+d_3)] = 0 \quad (29)$$
$$\sum_{m=1}^{7}[(x_{m,34}^{1}+x_{m,24}^{2}+x_{m,64}^{3}+x_{m,14}^{4})-(x_{m,45}^{1}+x_{m,45}^{2}+x_{m,42}^{3}+x_{m,42}^{4}+d_4)] = 0 \quad (30)$$
$$\sum_{m=1}^{7}[x_{m,06}^{3}-(x_{m,64}^{3}+d_6)] = 0 \quad (31)$$
$$x_{2,42}^{4} = 0 \quad (32)$$
$$x_{3,03}^{2} = 0 \quad (33)$$
$$x_{4,24}^{2} = 0 \quad (34)$$
$$x_{4,14}^{4} = 0 \quad (35)$$
$$x_{m,01}^{1}-x_{m,12}^{1} \ge 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (36)$$
$$x_{m,12}^{1}-x_{m,23}^{1} \ge 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (37)$$
$$x_{m,23}^{1}-x_{m,34}^{1} \ge 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (38)$$
$$x_{m,34}^{1}-x_{m,45}^{1} \ge 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (39)$$
$$x_{m,01}^{4}-x_{m,14}^{4} \le 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (40)$$
$$x_{m,42}^{4}-x_{m,25}^{4} \le 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (41)$$
$$x_{m,03}^{2}-x_{m,32}^{2} \le 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (42)$$
$$x_{m,24}^{2}-x_{m,45}^{2} \le 0 \quad \forall m=1,2,\ldots,7 \quad (43)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,01}^{1} \ge 1 \quad (44)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,03}^{2} \ge 1 \quad (45)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,06}^{3} \ge 1 \quad (46)$$
$$\sum_{m=1}^{7}x_{m,01}^{4} \ge 1 \quad (47)$$

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว สมการที่ (1) แสดงถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแบบซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบไม่เชิงเส้น เพื่อหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกในเรือของแต่ละเส้นทางเพื่อให้ได้กำไรสูงที่สุด ทั้งนี้ภายใต้ความต้องการเพื่อลดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ส่งไปถึงท่าเรือปลายทางล่าช้า สมการวัตถุประสงค์ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักดังนี้ ส่วนแรกคือรายได้หักด้วยค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่ทั้ง 7 ท่าเรือ ส่วนที่สอง คือค่าใช้จ่ายผันแปรในการส่งตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ ส่วนที่สาม คือค่าใช้จ่ายด้านเอกสาร และส่วนที่สี่ คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนเส้นทางที่ท่าเรือ 1, 2, 3 และ4 มีสมการข้อจำกัดดังนี้ สมการที่ (2) แสดง

จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่ท่าเรือเริ่มต้น(ท่าเรือสิงคโปร์) สมการที่ (3)-(9) แสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องส่งที่ท่าเรือ1,2,...,7 ตามลำดับ สมการที่ (10)-(14) แสดงข้อจำกัดด้านจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 1 สมการที่ (15)-(18) แสดงข้อจำกัดด้านจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 2 สมการที่ (19)-(22) แสดงข้อจำกัดด้านจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 3 สมการที่ (23)-(26) แสดงข้อจำกัดด้านจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 4 สมการที่ (27) แสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่บรรทุกเข้ามาท่าเรือ 1 หักด้วยตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องส่งท่าเรือที่ 1 มีจำนวนเท่ากับตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่บรรทุกออกจากท่าเรือ1 ในลักษณะเดียวกันสมการที่ (28)-(31) สำหรับการส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่

ท่าเรือ 2, 3, 4 และ6 ตามลำดับ สมการที่ (32) แสดงข้อจำกัดที่ไม่สามารถลงตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งท่าเรือ 2 ที่บรรทุกมาในเรือแม่เส้นทาง 4 อันเนื่องมาจากเวลาที่เรือมาถึงท่าเรือ2 มากกว่าเวลาที่ลูกค้ากำหนด ในลักษณะเดียวกันสมการ (33) สำหรับตู้ที่บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 2 เพื่อลงตู้ที่ท่าเรือ 3 สมการที่ (34) สำหรับตู้ที่บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 2 เพื่อลงตู้ที่ท่าเรือ 4 สมการที่ (35) สำหรับตู้ที่บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 4 เพื่อลงตู้ที่ท่าเรือ 4 สมการที่ (36)-(39) แสดงถึงการย้ายตู้คอนเทนเนอร์จากเรือแม่ของเส้นทาง1 ไปเรือลำอื่น โดยสมการที่ (36) แสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 1 จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกออกจากท่าเรือ 1 ต้องอย่างมากที่สุดเท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกเข้ามาท่าเรือ 1 อันเนื่องจากอาจมีการลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้ที่ท่าเรือ 1 เพื่อรอจัดให้ขึ้นเรือแม่ของเส้นทางอื่นที่มาถึงในภายหลัง ในลักษณะเดียวกันสมการที่(37)-(39) แสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกในเรือแม่เส้นทาง 1 สำหรับการลงตู้ไว้ที่ท่าเรือ 2, 3, 4 ตามลำดับ สมการที่ (40),(41) แสดงถึงการขึ้นตู้คอนเทนเนอร์มาเรือแม่ของเส้นทาง 4 ที่เรือลำอื่นมาลงไว้ที่ท่าเรือ 1, 2
โดยจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกออกต้องอย่างน้อยที่สุดเท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกเข้ามายังท่าเรือ อันเนื่องมาจากเรือแม่ของเส้นทาง 4 ไม่สามารถลงตู้คอนเทนเนอร์ไว้สำหรับส่งที่ท่าเรือ 1, 2 ได้ ทำได้เพียงการรับตู้คอนเทนเนอร์ของเส้นทางอื่นเข้ามา ในลักษณะเดียวกันสมการที่ (42), (43) แสดงถึงการขึ้นตู้คอนเทนเนอร์มาเรือแม่ของเส้นทาง 2 ที่เรือลำอื่นลงไว้ที่ท่าเรือที่ 3, 4 สมการที่ (44)-(47) แสดงข้อกำหนดว่าจะต้องจัดตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง

4.3 วิเคราะห์ผลการวิจัย

ผู้วิจัยศึกษาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกไปในเรือของทั้ง 4 เส้นทาง เพื่อส่งไปยังท่าเรือในยุโรปที่ลูกค้าต้องการให้ไปส่ง ขั้นตอนเริ่มจากการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบไม่เชิงเส้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้กำไรสูงที่สุดและส่งตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดได้ภายในระยะเวลาที่ลูกค้าต้องการ ทำการประมวลผลคำตอบด้วย Excel Solver โดยใช้ Solving Method: GRG Nonlinear

ผลคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากตัวแบบมีได้หลายคำตอบ ทั้งนี้จะยกมาแสดง 1 คำตอบ ดังตารางที่ 4 ซึ่งแสดงถึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งให้ทั้ง 7 ท่าเรือที่จะจัดให้บรรทุกในเรือของทั้ง 4 เส้นทางจากท่าเรือหนึ่งไปยังท่าเรือหนึ่ง

การจัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง

เรือแม่ของเส้นทาง 1 จัดตู้คอนเทนเนอร์เพื่อบรรทุกออกจากท่าเรือสิงคโปร์ เป็นตู้สำหรับส่งที่ท่าเรือรอตเทอร์ดาม เฟลิกซ์สโตว์ ฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป เลออาฟวร์ จำนวน 48, 76, 44, 31 และ 1 TEUตามลำดับ เรือแล่นออกจากท่าเรือสิงคโปร์ไปยังท่าเรือปิเรอุซ (ไม่มีการลงตู้หรือรับตู้เพิ่มที่ท่าเรือปิเรอุซ) จากนั้นเรือแล่นออกจากท่าเรือปิเรอุซไปยังท่าเรือรอตเทอร์ดาม โดยลงตู้สำหรับส่งที่ท่าเรือรอตเทอร์ดามจำนวน 48 TEU ดังนั้นเดินเรือจากท่าเรือรอตเทอร์ดามไปยังท่าเรือเฟลิกซ์สโตว์ โดยบรรทุกตู้สำหรับส่งที่ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว์ ฮัมบูร์ก แอนต์ เวิร์ป เลออาฟวร์ จำนวน 76, 44, 31และ 1 TEUตามลำดับ ที่ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว์ มีการลงตู้สำหรับส่งท่าเรือเฟลิกซ์สโตว์จำนวน 76 TEU จาก นั้นเดินเรือออกจากท่าเรือเฟลิกซ์สโตว์ไปยังท่าเรือฮัมบูร์ก

โดยบรรทุกตู้สำหรับส่งที่ท่าเรือฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป เลออาฟวร์ จำนวน 44, 31 และ 1 TEU ตามลำดับ ที่ท่าเรือฮัมบูร์ก มีการลงตู้สำหรับส่งท่าเรือฮัมบูร์ก จำนวน 44 TEU และลงตู้สำหรับส่งท่าเรือเลออาฟวร์จำนวน 1 TEUเพื่อรอขึ้นเรือของเส้นทาง 3 จากนั้นเดินเรือออกจากท่าเรือฮัมบูร์ก ไปยังท่าเรือแอนต์เวิร์ป โดยบรรทุกตู้สำหรับส่งที่ท่าเรือแอนต์เวิร์ป จำนวน 31 TEU และลงตู้จำนวน 31 TEU นี้ที่ท่าเรือแอนต์เวิร์ป เส้นทาง 2, 3และ 4 ก็พิจารณาในทำนองเดียวกัน

ตารางที่ 4 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งทั้ง 7 ท่าเรือที่บรรทุกจากท่าเรือหนึ่งไปยังท่าเรือหนึ่ง (หน่วย:TEU)

เส้นทาง (k)	เดินเรือจากท่าเรือ i ไปท่าเรือ j	$x^k_{1,ij}$	$x^k_{2,ij}$	$x^k_{3,ij}$	$x^k_{4,ij}$	$x^k_{5,ij}$	$x^k_{6,ij}$	$x^k_{7,ij}$
1	(0,1)	0	48	76	44	31	0	1
	(1,2)	0	48	76	44	31	0	1
	(2,3)	0	0	76	44	31	0	1
	(3,4)	0	0	0	44	31	0	1
	(4,5)	0	0	0	0	31	0	0
2	(0,3)	0	35	0	0	0	0	0
	(3,2)	0	35	0	0	0	0	0
	(2,4)	0	0	0	0	0	0	0
	(4,5)	0	0	0	0	0	0	0
3	(0,6)	0	0	0	6	0	1	18
	(6,4)	0	0	0	6	0	0	18
	(4,2)	0	0	0	0	0	0	19
	(2,7)	0	0	0	0	0	0	19
4	(0,1)	1	0	0	0	0	0	0
	(1,4)	0	0	0	0	0	0	0
	(4,2)	0	0	0	0	0	0	0
	(2,5)	0	0	0	0	0	0	0

การลงตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือในยุโรป

1. ท่าเรือปิเรอุซ ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือนี้จำนวน d_1 = 1 TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือปิเรอุซ ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 4 จำนวน 1 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือปิเรอุซ

2. ท่าเรือรอตเทอร์ดาม ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือ

นี้จำนวน d_2 = 83 TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือรอตเทอร์ดาม ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 1 จำนวน 48 TEU และถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 2 จำนวน 35 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือรอตเทอร์ดาม

3. ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือนี้จำนวน d_3 = 76TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 1 จำนวน 76 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือเฟลิกซ์สโตว

4. ท่าเรือฮัมบูร์ก ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือนี้จำนวน d_4 = 50 TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือฮัมบูร์ก ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 1 จำนวน 44 TEU และถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 3 จำนวน 6 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือฮัมบูร์ก

5. ท่าเรือแอนต์เวิร์ป ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือนี้จำนวน d_5 = 31 TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือแอนต์เวิร์ป ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 1 จำนวน 31 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือแอนต์เวิร์ป

6. ท่าเรืออัลเจกีราส ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือนี้จำนวน d_6 = 1 TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรืออัลเจกีราส ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 3 จำนวน 1 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรืออัลเจกีราส

7. ท่าเรือเลออาฟวร์ ต้องส่งตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้าที่ท่าเรือนี้จำนวน d_7 = 19 TEU ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือเลออาฟวร์ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 1 จำนวน 1 TEU เมื่อเรือแม่มาถึงท่าเรือฮัมบูร์กก็ลงตู้คอนเทนเนอร์จำนวน 1 TEU นี้ไว้ที่ท่าเรือฮัมบูร์ก เพื่อรอขึ้นเรือของเส้นทาง 4 ที่มาถึงในภายหลัง และตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือเลออาฟวร์ถูกจัดให้บรรทุกในเรือของเส้นทาง 4 จำนวน 18 TEU เมื่อเรือมาถึงท่าเรือฮัมบูร์ก ก็ทำการขึ้นตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือเลออาฟวร์ที่เรือของเส้นทาง 1 ลงไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้นเรือของเส้นทาง 4 จึงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งที่ท่าเรือเลออาฟวร์ ออกจากท่าเรือฮัมบูร์กจำนวน 19 TEU เพื่อส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือเลออาฟวร์

จากจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกไปในเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทางดังในตารางที่ 4 ทำให้บริษัทได้กำไรเท่ากับ 213,276.02 $/สัปดาห์ และตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดสามารถจัดส่งได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

4.4 การจัดตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือของบริษัทกรณีศึกษา

การดำเนินกิจการ ณ ปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา พบว่ามีการจัดตู้คอนเทนเนอร์ไปยังเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทาง ดังนี้

1. เรือแม่ของเส้นทาง 1 จัดตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือสิงคโปร์จำนวน 135 TEU เพื่อส่งที่ท่าเรือปิเรอุซ รอตเทอร์ดาม เฟลิกซ์สโตว ฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป จำนวน 1, 53, 42, 24, 15 TEU ตามลำดับ

2. เรือแม่ของเส้นทาง 2 จัดตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือสิงคโปร์จำนวน 48 TEU เพื่อส่งที่ท่าเรือรอตเทอร์ดาม เฟลิกซ์สโตว ท่าฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป เลออาฟวร์ จำนวน 8, 34, 1, 4, 1 TEU ตามลำดับ

3. เรือแม่ของเส้นทาง 3 จัดตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือสิงคโปร์จำนวน 24 TEU เพื่อส่งที่ท่าเรือฮัมบูร์ก เลออาฟวร์ อัลเจกีราส จำนวน 5, 18, 1 TEU ตามลำดับ

4. เรือแม่ของเส้นทาง 4 จัดตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่าเรือสิงคโปร์จำนวน 51 TEU เพื่อส่งที่ท่าเรือรอตเทอร์ดาม ฮัมบูร์ก แอนต์เวิร์ป จำนวน 22, 20, 12 TEUตามลำดับ

การดำเนินกิจการ ณ ปัจจุบันมีกำไร 213,550.6 $/สัปดาห์ ซึ่งมากกว่าผลกำไรที่ได้จากการผลคำตอบของตัวแบบ ทั้งนี้เพราะการดำเนินกิจการ ณ ปัจจุบันไม่ได้ย้ายตู้คอนเทนเนอร์เพื่อเปลี่ยนเส้นทาง ซึ่งทำให้เกิดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าที่ส่งล่าช้าเท่ากับ 66 TEU หรือคิดเป็น 25.29% ของปริมาณตู้คอนเทนเนอร์ที่ส่งทั้งหมด ซึ่งหากลูกค้าในส่วนนี้ทั้งหมดนี้มีความเร่งรีบและหากมีผู้ประกอบการรายอื่นที่สามารถส่งตู้คอนเทนเนอร์ได้ภายในระยะเวลาที่ลูกค้าต้องการ พวกเขาก็อาจเลือกไปใช้บริการผู้ให้บริการรายอื่น อาจส่งผลทำให้บริษัทเสียรายได้ไปถึง 118,872 $/สัปดาห์

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกในเรือแม่ของทั้ง 4 เส้นทางที่ออกจากท่าเรือสิงคโปร์ในทุกๆ สัปดาห์ มีเส้นทางเดินเรือ 4 เส้นทางแบบเครือข่าย การส่งตู้คอนเทนเทนเนอร์ทั้งหมดต้องไม่เกินระยะเวลาที่กำหนด นอกจากสามารถย้ายตู้คอนเทนเนอร์ไปยังเรือแม่ของเส้นทางอื่นได้ จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น หาคำตอบโดยใช้ Excel Solver ได้จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะจัดให้บรรทุกใน เรือแม่ของแต่ละเส้นทาง แสดงในตารางที่ 4 ได้กำไรสูงสุดเท่ากับ 213,276.02 $/สัปดาห์ ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยฉบับนี้บริษัทกรณีศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดส่งตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าจากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสัปดาห์ได้ โดยทำการปรับตัวแบบในด้านของข้อมูลจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าที่ท่าเรือสิงคโปร์ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการส่งทั้ง 7 ท่าเรือในยุโรป และเวลาที่ลูกค้ากำหนดให้ไปส่งสำหรับแต่ละท่าเรือเพื่อสร้างความสัมพันธ์ของเส้นทางกับท่าเรือในการลงตู้คอนเทนเนอร์ให้ลูกค้า นอกจากนี้สามารถนำข้อมูลของจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จัดให้บรรทุกในเรือแม่ของแต่ละเส้นทางในทุกๆ สัปดาห์ที่ได้จากตัวแบบที่ทำการ เก็บไว้มาวิเคราะห์หาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทสามารถจัดให้บรรทุกในเรือแม่ของแต่ละเส้นทางเหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าในอนาคต เพื่อทำการจองพื้นที่ในเรือของทั้ง 4 เส้นทางให้มีจำนวนที่เหมาะสม ทั้งนี้หากนำตัวแบบไปใช้กับปัญหางานใหญ่ขึ้น เช่น การพิจารณาถึงการจัดส่งตู้คอนเทนเนอร์ของลูกค้าในแถบเอเชียทั้งหมดของกลุ่มบริษัทนี้ ในส่วนของระยะเวลาในการจัดส่งตู้คอนเทนเนอร์ และการย้ายตู้คอนเทนเนอร์ไปเส้นทางอื่น อาจจะทำการพัฒนาการเขียนโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณเพื่อหาท่าเรือและเส้นทางที่ไม่สามารถลงตู้คอนเทนเนอร์สำหรับส่งให้ลูกค้าที่ท่าเรือได้ และเพื่อหาความสัมพันธ์ของจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรทุกเข้าและบรรทุกออกของเรือแม่ในแต่ละเส้นทางที่ท่าเรือนั้นๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Nasser, E. A. 2010. “Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods.” **Journal of King Saud University (Science)**. 22 : 123-13.

[2] Rana, K. and Vickson, R. G. 1988. “A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership.” **Transportation Science.** 22(2) : 83–9.

[3] Saurabh, C. Kjetil, F. and Marielle, C. 2015. “Maritime fleet deployment in ro-ro shipping under inventory constraints.” **Procedia-Social and Behavioral Sciences.** 189 : 362–375.

[4] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม. 2558. **การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ.** [Online]. Available : http://vigportal.mot.go.th/portal/site/PortalMOT/stat/index2URL/

ประวัติผู้เขียนบทความ

นางสาว ปนัดดา สาระพิทักษ์

2556 วทบ.(คณิตศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปัจจุบันกำลังศึกษาที่ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ คณะสถิติประยุกต์

งานวิจัยที่สนใจ

1. Routing, ship size, and sailing frequency decision-making for a maritime hub-and-spoke container network
2. A nonlinear programming model for optimizing size and speed of containerships