

การประเมินตำแหน่งท่าเรือศูนย์กลางการเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่เหมาะสมด้วยวิธีการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม  
: กรณีศึกษา ท่าเรือปากบาราและท่าเรือหลักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

Assessing the optimal location of a hub port by Mixed Integer Programming

: A case of Pakbara port and the major ports in Southeast Asia

ศักรธร บุญทวีวัฒน์

Sakaradhorn Boontaveeyuwat

วิทยาลัยพาณิชยการวิไลนาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 ถ.สุขุมวิท ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

โทร.038-352609 โทรสาร 038-352607

E-mail: sakaradhorn@gmail.com, imcskb@src.ku.ac.th

**บทคัดย่อ**

บทความวิจัยนี้มุ่งเป้าไปที่การประเมินศักยภาพด้านตำแหน่งของท่าเรือปากบารา ในการเป็นท่าเรือศูนย์กลางการเปลี่ยนถ่ายสินค้าแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ท่ามกลางการแข่งขันอย่างเข้มข้นกับท่าเรือหลักอื่นๆ ในภูมิภาคเดียวกัน โดยใช้วิธีการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสมในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดสำหรับการเคลื่อนที่ของสินค้าจากท่าเรือต้นทางไปยังท่าเรือปลายทางโดยผ่านท่าเรือศูนย์กลางฯ แบบจำลองประกอบด้วยจำนวนของตัวแปร 26,521 ตัวแปร และสมการข้อจำกัดจำนวน 36,104 สมการ ผลที่ได้จากแบบจำลองพบว่าตำแหน่งของท่าเรือปากบาราสามารถเป็นท่าเรือศูนย์กลางฯ แห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้ เมื่อมีปริมาณสินค้าผ่านท่าไม่น้อยกว่าท่าเรือกรุงเทพ ค่าภาระท่าเรืออยู่ในระดับเดียวกับท่าเรือแหลมฉบัง และประสิทธิภาพในการยกสินค้าหน้าท่าต้องไม่ด้อยกว่าท่าเรือหลักในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

**Abstract**

This research article aims to assess the location of Pakbara port expected to be the hub port in Southeast Asia among the serious competitive major ports in the same region by using the mixed integer programming in the developed mathematic

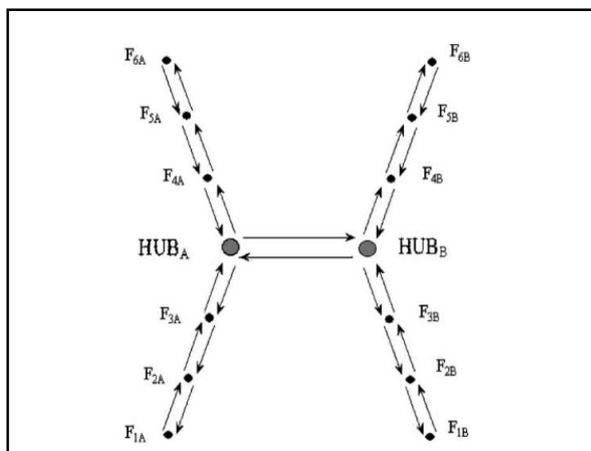
model. The total cost derived from the movement costs from origin to destination ports via the hub ports is minimized.

In total, the model consists of 26,521 decision variables and 36,104 constraints. The results derived from the model demonstrated that Pakbara port was the optimal solution when its amount of cargo flows was equaled to Bangkok port at least, the port costs are the same level as Laem Chabang port and the efficiency of cargo lifting rate was not worse than the major ports in Southeast Asia.

**1. บทนำ**

ธุรกิจการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศนั้นมีการขนส่งทางบก ทางเรือ และทางอากาศ การขนส่งทางเรือมีส่วนของการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 90 เมื่อคิดจากปริมาณการขนส่งเป็นเกณฑ์ [1] การขนส่งทางเรื่อนั้นสามารถขนถ่ายสินค้าปริมาณมากในระยะทางไกลได้ โดยมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าการขนส่งรูปแบบอื่น ท่าเรือจึงเปรียบเสมือนเป็นประตูการค้าระหว่างประเทศซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจและเป็นปัจจัยหนึ่งที่สนับสนุนการอุตสาหกรรมของประเทศในการนำเข้าหรือการส่งออกสินค้ากับประเทศที่มีระบบเศรษฐกิจแบบเปิด ซึ่งต้องติดต่อค้าขายแลกเปลี่ยนสินค้ากับต่างประเทศ ในปัจจุบันความต้องการของบริษัทเรือในการที่จะลดค่าใช้จ่ายเพื่อที่จะเสนอราคาการให้บริการที่พึงพอใจแก่

ลูกค้ำมีมากขึ้น การนำกลยุทธ์ Hub- and -Spoke มาใช้เพื่อลดระยะทางการเดินเรือและต้นทุนการขนส่ง โดยสินค้าจะถูกขนส่งโดยเรือขนาดใหญ่มาจากท่าเรือหลักให้กับท่าเรือศูนย์กลาง (hub port) ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากเรือขนาดใหญ่สู่เรือขนาดเล็กลง (feeder ship) เพื่อทำหน้าที่ส่งต่อไปยังท่าเรือย่อยในประเทศอื่นๆ ในภูมิภาคเดียวกัน (spoke) และในทางกลับกัน เรือขนาดเล็กเหล่านี้ก็จะนำสินค้าออกจากท่าเรือย่อยเหล่านั้นกลับมาส่งให้กับเรือใหญ่ที่ท่าเรือศูนย์กลางต่อไปแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงข่ายกลยุทธ์การขนส่งแบบ Hub and Spoke  
ที่มา : : Aversa et al. [2]

ท่าเรือศูนย์กลาง จึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ท่าเรือในหลายประเทศในภูมิภาคเดียวกัน จึงมีการแข่งขันเพื่อให้ท่าเรือของตนเป็นท่าเรือศูนย์กลาง ในระดับภูมิภาคหรือทวีป ปัจจัยสำคัญในการเป็นท่าเรือศูนย์กลาง ที่สามารถดึงดูดผู้ประกอบการเดินเรือได้ คือท่าเรือจะต้องอยู่ในตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่เหมาะสมใกล้เคียงกับเส้นทางเดินเรือสากล และมีค่าใช้จ่ายทั้งระบบ (Total System Costs) ในราคาที่ถูกเมื่อเปรียบเทียบกับท่าเรือศูนย์กลาง ที่เป็นทางเลือกอื่นๆ ซึ่งนอกจากค่าใช้จ่ายสิ้นเปลืองน้ำมันในการขนส่งที่สัมพันธ์กับขนาดของเรือ และระยะทางการเดินเรือแล้ว ยังมีค่าภาระท่าเรือซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยของการเลือกเข้ามาใช้บริการที่ท่าเรือ สำหรับประเทศไทยมีท่าเรือแหลมฉบังซึ่งตั้งอยู่บริเวณภาคตะวันออกของ

ประเทศในจังหวัดชลบุรี เป็นท่าเรือน้ำลึกหลักในการนำเข้าและส่งออกสินค้าของประเทศ ในขณะที่ท่าเรือปากบาราตั้งอยู่ในจังหวัดสตูลนั้นเป็น โครงการท่าเรือน้ำลึกที่มีแผนจะดำเนินการก่อสร้างในอนาคต ซึ่งถ้าสามารถก่อสร้างได้ประสบความสำเร็จตามแผนที่วางไว้ เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของท่าเรือน้ำลึกดังกล่าวนี้สามารถเป็นท่าเรือศูนย์กลาง สำหรับเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หรือเอเชียได้ โดยมีแนวคิดหลักคือท่าเรือปากบาราจะเข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่มาจกภายในประเทศโดยเฉพาะทางภาคกลาง และภาคเหนือเพื่อขนส่งต่อไปยังพื้นที่ในแถบยุโรป ตะวันออกกลาง และเอเชียใต้ที่ปัจจุบันต้องไปถ่ายสินค้าลงเรือขนาดใหญ่ที่ท่าเรือสิงคโปร์ ซึ่งหากท่าเรือปากบาราเกิดขึ้นมาจริงตามแนวคิดที่ศึกษากันมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 สินค้าต่างๆก็จะไม่จำเป็นต้องไปถ่ายที่ท่าเรือสิงคโปร์อีกต่อไป เมื่อมองภาพรวมในเชิงเศรษฐกิจ ท่าเรือปากบาราจะเข้ามาแย่งส่วนแบ่งการตลาด และเป็นคู่แข่งกับกับท่าเรือในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยตรง ได้แก่ ท่าเรือคลัง (Port Klang) ท่าเรือตันหยงปีราพลัส (Tanjung Pelepas) ซึ่งเป็นท่าเรือของประเทศมาเลเซีย ท่าเรือสิงคโปร์ และท่าเรือจาการ์ตาของประเทศอินโดนีเซีย จากการศึกษาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าท่าเรือปากบารา จะเป็นท่าเรือแห่งใหม่ของประเทศไทยที่มีตำแหน่งเหมาะสมเป็นท่าเรือศูนย์กลาง ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้ [3] โดยบทบาทหลักของท่าเรือหลักของท่าเรือปากบาราที่คาดว่าจะเกิดขึ้น คือ การเป็นประตูการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศของไทยที่เชื่อมโยงกับประเทศคู่ค้า ทั้งนี้ประโยชน์เศรษฐกิจหลักที่เพิ่มขึ้นที่ท่าเรือแห่งนี้สามารถอำนวยความสะดวกให้ คือ การเปลี่ยนช่องทางการขนส่งสินค้าทั้งทางบกและการเปลี่ยนถ่ายเรือจากประเทศสิงคโปร์ และมาเลเซีย ให้มาใช้บริการผ่านท่าเรือแห่งนี้ โดยในเรื่องปัจจัยต้นทุนค่าระวางเรือเป็นปัจจัยหลักที่ท่าเรือน้ำลึกหากตั้งอยู่ที่จังหวัดสตูล น่าจะเป็นอัตราที่แข่งขันกับท่าเรือของประเทศเพื่อนบ้านได้ เนื่องจากสถานที่ตั้งไม่ได้ห่างจากเส้นทางเดินเรือสากลมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2 และหากเทียบกับต้นทุนค่าระวางเรือที่เพิ่มขึ้นจากการขนส่งสินค้าเพื่อเปลี่ยนถ่ายระหว่างท่าเรือแหลมฉบังและท่าเรือสิงคโปร์หรือมาเลเซีย เมื่อเทียบกับ

ต้นทุนค่าระวางเรือที่เพิ่มขึ้น หากเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่เข้ามาเทียบท่าที่จังหวัดสตูลโดยตรง ส่วนต่างของค่าระวางสินค้าของสายการเดินเรือหลักที่เพิ่มขึ้นจากการเดินเรือมารับสินค้าที่สตูลที่ใช้เวลาออกนอกเส้นทางไปและกลับมาจากเส้นทางหลักคือ 12 ชม. ย่อมจะถูกกว่าการเดินเรือสินค้าไปและกลับระหว่างท่าเรือแหลมฉบังและสิงคโปร์อย่างแน่นอนจากการทบทวนการศึกษาความเป็นไปได้ของการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกปากบารา จ.สตูล นั้นได้มีการวิเคราะห์เรื่องค่าใช้จ่ายในการขนส่งเปรียบเทียบระหว่างท่าเรือน้ำลึกปากบาราและท่าเรืออื่นๆ เป็นกรณีไปเมื่อจุดหมายปลายทางของการขนส่งอยู่ในแถบเอเชีย ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังไม่ได้มีการวิเคราะห์ท่าเรือปากบาราในฐานะจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าเมื่อมีปริมาณผู้สินค้าจากทั่วโลกไหลผ่านมายังแถบพื้นที่ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งจะเกิดการแข่งขันกันระหว่างท่าเรือหลักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในการศึกษาครั้งนี้จะตอบ โจทย์ดังกล่าวโดยพิจารณาปริมาณผู้สินค้าไหลผ่านจากทั่วโลกมายังพื้นที่บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นี้ เพื่อทำการประเมินผลว่าท่าเรือปากบารานั้นจะสามารถเป็นท่าเรือศูนย์กลางๆ ที่เหมาะสมสำหรับเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้หรือไม่ โดยจะทำการประเมินผลด้วยวิธีการ โปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสมจากแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 2 ตำแหน่งของท่าเรือปากบาราบนชายฝั่งภาคใต้ของไทย และท่าเรือหลักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

## 2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ท่าเรือศูนย์กลางๆ นั้นทำหน้าที่ทั้งเป็นจุดเปลี่ยนถ่ายและเป็นจุดกระจายสินค้า ซึ่งเชื่อมต่อกับจุดต้นทางและจุดหมายปลายทางในหลายแห่ง การเคลื่อนย้ายสินค้านี้ระหว่างจุดต้นทางและจุดหมายปลายทางจะเกี่ยวข้องกับ ระยะทาง เวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง สำหรับผลงานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลท่าเรือศูนย์กลางๆ นั้นมีหลายวิธีการที่ผ่านมา เช่น Campbell [4] ได้ใช้แบบจำลองโปรแกรมการจำนวนเต็มในการแก้ปัญหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเปลี่ยนถ่ายสินค้า (hub) โดยแบ่งเป็น 5 ชนิดสำหรับปัญหาที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete problem) ได้แก่

1. *P*-hub median problem (P-HM)
2. Uncapacitated hub location problems (UHLP)
3. Capacitated hub location problem (CHLP)
4. *P*-hub centre problems (P-HC1, P-HC2)
5. Hub covering problems (HCV)

ในแบบจำลองทั้ง 5 นี้มีข้อกำหนดว่าทุกการเคลื่อนย้ายของสินค้าจากจุดต้นทางไปปลายทางจะต้องผ่านจุดศูนย์กลางๆ อย่างน้อย 1 จุดเพื่อทดสอบตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพของจุดศูนย์กลางได้ชัดเจนมากขึ้น ในส่วนนี้จะอธิบายข้อแตกต่างในแต่ละปัญหาของ Campbell [4] นี้โดยตั้งสมมติฐานว่าเป็นปัญหาจุดศูนย์กลางๆ ของท่าเรือเพื่อความชัดเจนและง่ายต่อความเข้าใจมากขึ้น ปัญหา UHLP แตกต่างจากปัญหาของ P-HM อยู่ 2 ด้านคือ ปัญหาของ UHLP ไม่มีการวิเคราะห์ผลกระทบเมื่อจำนวนของจุดศูนย์กลางท่าเรือเพิ่มมากขึ้น เช่น ค่าใช้จ่ายทั้งระบบจะเป็นอย่างไรเมื่อจุดศูนย์กลางท่าเรือเพิ่มขึ้นเป็น 2 จุด และมีการคิดค่าก่อสร้างที่จุดศูนย์กลางท่าเรือแห่งใหม่ด้วย ในขณะที่ปัญหาของ P-HM จะเป็นปัญหาที่ลดค่าใช้จ่ายของการขนส่งทั้งระบบ มีการวิเคราะห์ผลกระทบเมื่อจำนวนของจุดศูนย์กลางท่าเรือเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเหมาะกับปัญหาทางด้านการขนส่งและวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของท่าเรือโดยตรง แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินในบทความวิจัยนี้อยู่ในข่ายของปัญหา P-HM เพราะมีวัตถุประสงค์หลักของสมการในการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มากที่สุด ซึ่งในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านนำแนวคิดดังกล่าวไปใช้เพื่อ

หาตำแหน่งจุดศูนย์กลาง เช่น O'Kelly [5] และ Klineciewicz [6] ในความเป็นจริงแล้วปัญหาต้นแบบของ P-HM ถูกใช้ครั้งแรกโดย Hakimi [7-8] ในขณะที่ปัญหาของ CHLP จะมีลักษณะเหมือนกับปัญหาของ UHLP แต่จะมีการจำกัดความจุของท่าเรือที่เรือจะเข้าเทียบจอด ปัญหาของ P-HC และ HCV จะเหมาะสมสำหรับปัญหาของการหาตำแหน่งของสถานีบริการถูกเงินต่างๆ เช่น การหาตำแหน่งที่ตั้งของสถานีดับเพลิง หรือ สถานีตำรวจ หรือตำแหน่งที่จอดของรถพยาบาลถูกเงินต่างๆ ในส่วนประกอบของแบบจำลองการหาตำแหน่งศูนย์กลางการเปลี่ยนถ่ายสินค้านั้นนอกจากทุกการเคลื่อนย้ายของสินค้าจากจุดต้นทางไปปลายทางจะต้องผ่านจุดศูนย์กลางหรือจุดเปลี่ยนถ่ายอย่างน้อย 1 จุดเพื่อทดสอบตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพของจุดศูนย์กลาง ยังมีเงื่อนไขอีกประการคือจะไม่มียุติของสินค้าที่ไหลผ่านมากกว่า 2 จุดเพราะตราบเท่าที่ยังมีการเคลื่อนย้ายสินค้านั้นๆ (ผ่านจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าหลายจุด) ก็จะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น ระบบเครือข่ายการขนส่งสินค้าที่สมบูรณ์ย่อมสามารถเชื่อมต่อระหว่างจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าขนาดใหญ่ (Hub) 2 จุดได้นอกจากนั้นในเชิงเทคนิคการเคลื่อนย้ายสินค้านั้นระหว่าง Hub ในเส้นทางหลักของการขนส่ง (Trunk Route) ย่อมมีปริมาณสินค้ามากกว่าเส้นทางรองซึ่งเป็นเส้นทางของการขนส่งระหว่างท่าเรือศูนย์กลางและท่าเรือย่อยอื่นๆ (Feeder Line) ดังนั้นราคาค่าขนส่งของเส้นทางหลัก (Trunk Line) ระหว่างจุดเปลี่ยนถ่ายการขนส่ง 2 จุดย่อมจะต้องมีการคูณด้วยตัวแปรปรับแก้ให้มีค่าลดลงตามแนวคิดของต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยลดลง เนื่องจากมีการขนส่งสินค้าขนาดประหยัดในปริมาณมาก (Economy of scale) ซึ่งโดยปกติจะสมมติที่ 0.8

Aversa et al. [2] ได้ใช้แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Programming Model) โดยพัฒนาจากปัญหาของ P-HM ในการเลือกตำแหน่งท่าเรือในแถบฝั่งทะเลตะวันออกของทวีปอเมริกาใต้ แบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วยตัวแปร (Decision Variable) 3,883 ตัวแปร และ 4,225 สมการข้อจำกัด (Constraints) ผลการวิเคราะห์แสดงจำนวนท่าเรือศูนย์กลางที่เหมาะสมจุดเดียวหรือหลายจุดขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่ตั้งสมมติฐานขึ้น (Scenario)

### 3. กระบวนการวิจัยของการศึกษา

ในขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาเส้นทางเดินเรือหลักจากทั่วโลกจำนวน 6 ทวีป ซึ่งเฉพาะในทวีปเอเชียจะเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ตำแหน่งศูนย์กลางของท่าเรือ ดังนั้นเฉพาะทวีปเอเชียจะแบ่งออกเป็น 5 พื้นที่ย่อย ในขั้นตอนต่อมาศึกษาภาพของท่าเรือหลักใน 6 ทวีปจะถูกศึกษาเพื่อคัดเลือกตัวแทนของท่าเรือในแต่ละเขตพื้นที่นั้น ซึ่งท่าเรือที่เป็นตัวแทนในแต่ละพื้นที่จะต้องเป็นท่าเรือขนาดใหญ่ มีร่อนน้ำลึกเพียงพอที่จะรับเรือขนาดไม่ต่ำกว่า 4,000 ตู้ (TEU) หรือ Post-Panamax Containership ได้ ในขั้นตอนต่อมาจะเป็นการเก็บข้อมูลจริงที่เป็นค่าใช้จ่ายของการเดินเรือในมหาสมุทร ค่าภาระของท่าเรือในแต่ละเส้นทาง ต้นทุนค่าน้ำมัน ค่าเช่าเรือ จากนั้นก็จะเป็นการอธิบายแบบจำลองการเลือกตำแหน่งของท่าเรือศูนย์กลางที่เหมาะสมด้วยการโปรแกรมจำนวนเต็มผสม เพื่อทำการประเมินผลของตำแหน่งท่าเรือปากบาราว่าจะสามารถเป็นท่าเรือศูนย์กลางที่เหมาะสมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้หรือไม่ ภายใต้เงื่อนไขอะไร รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองฯ เพื่อประเมินผลมีดังต่อไปนี้

#### 3.1 เส้นทางเดินเรือและปริมาณสินค้าผ่านท่า

เส้นทางหลักจะเป็นเส้นทางจากท่าเรือต้นทางหลัก (ท่าเรือขนาดใหญ่ เช่น ท่าเรือร็อตเตอร์ดัม และ ท่าเรือลอสแอนเจลิส) ผ่านท่าเรือศูนย์กลางฯ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปสู่ท่าเรือหลักในต่างเขตพื้นที่หรืออีกทวีปหนึ่ง เช่น ท่าเรือปูซาน หรือ ท่าเรือเซเชน โดยบทความนี้จะศึกษาจากเส้นทางเดินเรือทั่วโลกที่มีเส้นทางผ่านเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งการประเมินผลตำแหน่งท่าเรือศูนย์กลางฯ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ให้มีความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องวิเคราะห์จากเส้นทางที่มีการเดินเรือทั่วโลก โดยจะแบ่งออกเป็นเขตพื้นที่หรือทวีปไปสู่เขตพื้นที่อื่นหรืออีกทวีปหนึ่ง โดยเขตพื้นที่ที่ทำการพิจารณาในงานวิจัยนี้ได้แก่ เอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ (ท่าเรือปูซาน) จีนตะวันออก (ท่าเรือเซี่ยงไฮ้) จีนตอนใต้ (ท่าเรือฮ่องกง) เอเชียใต้ (ท่าเรือโคลอมโบ) ตะวันออกกลาง (ท่าเรือดูไบ) ทวีปอเมริกาเหนือ (ท่าเรือลอสแอนเจลิส) อเมริกาใต้ (ท่าเรือซานโตส) แอฟริกา (ท่าเรือเดอบัน) โอเชียเนีย

(ท่าเรือโอเชียเนีย) ทวีปยุโรป (ท่าเรือรีอตเตอร์ดัม) ซึ่งตำแหน่งของท่าเรือหลักที่ระบุในวงเล็บถูกเลือกมาเพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละกลุ่มพื้นที่เพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายของสินค้าจากจุดต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะสามารถจัดกลุ่มของเส้นทางที่จะทำการวิเคราะห์เป็นจำนวน 35 กลุ่มโดยประกอบด้วยเส้นทางรวมมากกว่า 25,000 เส้นทางที่จะทำการคำนวณค่าใช้จ่ายยกตัวอย่างเช่น กลุ่มเส้นทางที่ 1 ได้แก่ ท่าเรือรีอตเตอร์ดัม - ท่าเรือศูนย์กลาง 1 - ท่าเรือศูนย์กลาง 2 - ท่าเรือปูซาน ในส่วนของท่าเรือในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นอกจาก 6 ท่าเรือหลักที่จะได้กล่าวถึงต่อไปเพื่อแข่งขันกันเป็นท่าเรือศูนย์กลางๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แล้ว จำนวนของท่าเรือย่อยในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จำนวน 16 ท่าถูกพิจารณาในการศึกษานี้ด้วยในแต่ละกลุ่มเส้นทางทั้ง 35 กลุ่มนั้น จะมีท่าเรือที่มีการเปลี่ยนถ่ายอยู่ 2 ท่า ได้แก่ ท่าเรือศูนย์กลาง 1 และท่าเรือศูนย์กลาง 2 ซึ่งท่าเรือที่อยู่ในข่ายของการเป็นท่าเรือศูนย์กลางที่จะทำการวิเคราะห์ นั้นจะประกอบไปด้วยการแข่งขันกันระหว่าง 6 ท่าเรือหลัก ได้แก่ ท่าเรือปากบารา และแหลมฉบัง (ไทย) ท่าเรือสิงคโปร์ (สิงคโปร์) ท่าเรือคลัง ท่าเรือคันหยง ปิราปัส (มาเลเซีย) และท่าเรือจาการ์ตา (อินโดนีเซีย) ดังนั้น ท่าเรือศูนย์กลาง 1 และท่าเรือศูนย์กลาง 2 จะเป็นการเลือกท่าเรือระหว่าง 6 ท่าเรือหลัก ซึ่งตรงกับธรรมชาติของเรือเดินมหาสมุทรมักจะไม่จอดท่าเรือหลักแค่ท่าเดียว แต่จะจอดท่าเรือหลักอื่นๆ ด้วยมากกว่า 1 ครั้ง ดังนั้นในแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่จะใช้ประเมินตำแหน่งของท่าเรือศูนย์กลางในการศึกษานี้จะมีความซับซ้อนของตัวแปรมากกว่าแบบจำลองที่ใช้แนวคิดของสินค้าผ่านท่าเรือศูนย์กลางท่าเดียวดังแสดงใน [11] สำหรับข้อมูลปริมาณสินค้าผ่านท่าทั่วโลกถูกรวบรวมจากแหล่งข้อมูลจากหลายแห่งจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทาง (O/D) ระหว่างทวีป ข้อมูลดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Mitsui O.S.K. Lines ในขณะที่ข้อมูลสินค้าผ่านท่าระหว่างทวีปเอเชียด้วยกันได้มาจาก กระทรวงที่ดิน โครงสร้างและการคมนาคมของประเทศญี่ปุ่น บางข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บได้ วิธีการต่างๆถูกนำมาใช้ในการคำนวณโดยหลักการพื้นฐานแล้วจะใช้แบบจำลอง Gravity และ Fratar

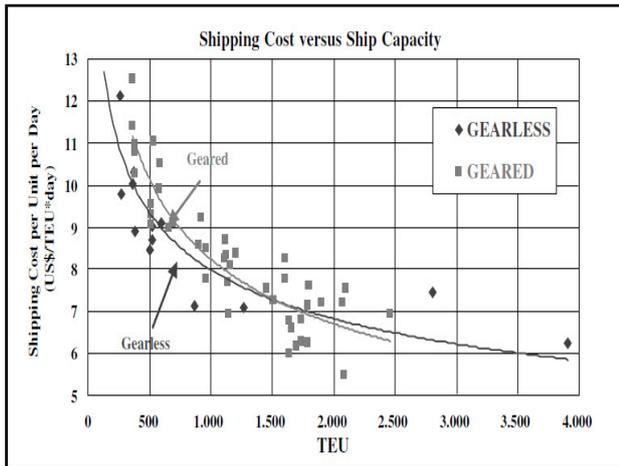
รวมไปถึงวิธีการเฉพาะที่อุกอิบายใน Shibasaki [9]

### 3.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายการเดินเรือ

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินเรือจะทำการคิดจากต้นทุนที่เกิดจากการสิ้นเปลืองของน้ำมันในการเดินเรือที่เกิดจากระยะทางและขนาดของเรือที่ใช้ ค่าเช่าเรือซึ่งขึ้นกับขนาดของเรือที่ใช้ในการบรรทุกสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ซึ่งจะรวมถึงเวลาที่รอคอยในการขนถ่ายสินค้าลงที่ท่าด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการจัดการสินค้าในแต่ละท่าเรือและค่าภาระต่างๆ ในการดำเนินงานที่ท่าเรือที่ต้นทางและปลายทาง รวมทั้งท่าเรือศูนย์กลาง ข้อมูลของค่าภาระท่าเรือที่ปากบารา จะประมาณข้อมูลค่าธรรมเนียมเท่ากับข้อมูลของท่าเรือแหลมฉบังในเบื้องต้น เนื่องจากท่าเรืออยู่ในระหว่างแผนการก่อสร้าง ในส่วนของปริมาณของสินค้า (O/D Cargo Flows) จะพิจารณาปริมาณสินค้าที่เท่ากับปริมาณสินค้าของท่าเรือกรุงเทพ เนื่องจากมีการคาดการณ์ว่าเมื่อท่าเรือปากบาราก่อสร้างแล้ว สินค้าที่เข้ามาจากประเทศจีนที่ต้องการจะส่งออกไปทางชายฝั่งอันดามัน ยุโรป และตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งถูกคาดหมายว่าจะถูกส่งไปขนถ่ายที่ท่าเรือปากบาราแทนท่าเรือสิงคโปร์ สำหรับค่าใช้จ่ายในการเดินเรือในบทความนี้จะใช้ค่าใช้จ่ายในการเช่าเรือ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานสากลที่ถูกใช้อย่างชัดเจน และสามารถถูกใช้เป็นตัวแทนของค่าใช้จ่ายในการเดินเรือได้อย่างเหมาะสม [10] ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเรือที่ใช้ในการวิเคราะห์ในบทความนี้ถูกแสดงในรูปที่ 3 โดยใช้เรือแบบไม่มีเกียร์ในตัวเรือ (Gearless) ในการคำนวณ

ในงานวิจัยนี้เรือขนาดใหญ่ที่สามารถบรรจุได้ 4,000 ตู้ จะถูกใช้ในการเดินเรือที่ระยะทางยาวบนเส้นทางหลักสำหรับการเดินเรือระหว่างทวีปและขนาดของเรือที่บรรจุได้ 1,000 ตู้ จะถูกใช้ในการเดินเรือสำหรับระหว่างท่าเรือหลักและท่าเรือย่อยบนเส้นทางรองในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ค่าของน้ำหนักที่ใช้ในการขนส่ง (Load Factor) บนเส้นทางเดินเรือหลักเท่ากับ 0.8 ความเร็วของเรือที่ใช้วิ่งได้แก่ 20 นอต ขณะที่ความเร็วของเรือบนเส้นทางรองที่ใช้วิ่งเท่ากับ 18 นอต สำหรับค่าใช้จ่ายการขนส่งทางถนนสำหรับการขนส่งต่อเนื่องจากท่าเรือไปสู่จุดหมายปลายทางในกรณีที่สามารถขนส่งทางถนน

ได้จะถูกคิดที่ US\$ 1 (ประมาณ 31 บาท) ต่อกิโลเมตร ในการศึกษานี้ ในส่วนของค่าภาระท่าเรือหลักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าธรรมเนียมในการจัดการสินค้า (Cargo Handling Charge) การผ่านท่าเรือ (Port Entry Charge) และค่าเช่าท่าเทียบเรือคอนเทนเนอร์ (Container Terminal Charge)



รูปที่ 3 ค่าใช้จ่ายสำหรับเรือคอนเทนเนอร์แบบไม่มีเครื่อง (Gearless) และแบบมีเครื่อง (Geared) (US\$/ตู้/วัน)

ที่มา : Aversa et al. [2]

### 3.3 แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลแบบจำลองการหาตำแหน่งศูนย์กลางท่าเรือฯ เพื่อประเมินตำแหน่งของท่าเรือปากบาราว่ามีศักยภาพในการเป็นท่าเรือศูนย์กลางในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้หรือไม่ แบบจำลองที่แสดงในหัวข้อนี้มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง P-HM ของ Campbell [4] เนื้อหาต่อไปนี้เป็น การอธิบายแบบจำลอง และสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งชื่อของตัวแปรต่างๆ เหล่านี้จะถูกใช้ตลอดของบทความนี้ ได้แก่

$I$  : ท่าเรือหลักต้นทาง ;  $J$  : ท่าเรือหลักปลายทาง

$i$  : ท่าเรือย่อยต้นทาง ;  $j$  : ท่าเรือย่อยปลายทาง

$K_i$  : ท่าเรือเปลี่ยนถ่ายที่ 1 ;  $K_j$  : ท่าเรือเปลี่ยนถ่ายที่ 2

$V$  : เรือขนาดใหญ่ ;  $v$  : เรือขนาดเล็ก

$$St_{IK_iK_jJ} = \frac{D_{IK_i} + D_{K_iK_j} + D_{K_jJ}}{Sp^V * 24} \quad (1)$$

$$St_{IK_iK_jJ} = \frac{D_{IK_i} + D_{K_iK_j}}{Sp^V * 24} + \frac{D_{K_jJ}}{Sp^v * 24} \quad (2)$$

$St_{IK_iK_jJ}$  : เวลาการขนส่งสินค้าทางทะเลจาก  $I$  ไปสู่  $J$  โดยผ่าน  $K_i$  และ  $K_j$  (วัน);

$D_{IK_i}$  : ระยะทางระหว่าง  $I$  และ  $K_i$  (ไมล์ทะเล);

$Sp^{V,v}$  : ความเร็วของ  $V$  (20 นอต) และ  $v$  (18 นอต);

$$SC_{IK_iK_jJ} = CV_{IK_iK_jJ}^V * St_{IK_iK_jJ} \quad (3)$$

$SC_{IK_iK_jJ}$  : ค่าขนส่งทางทะเลจาก  $I$  ไปสู่  $J$  โดยผ่าน  $K_i$  และ  $K_j$  (US\$);

$CV_{IK_iK_jJ}^V$  : ค่าขนส่งทางทะเลจาก  $I$  ไปสู่  $J$  โดยผ่าน  $K_i$  และ  $K_j$  (US\$/ตู้/วัน);

$$PC_{IK_iK_jJ} = E_{K_iK_j}^V + H_{K_iK_j} + CM_{K_iK_j} \quad (4)$$

$PC_{IK_iK_jJ}$  : ค่าภาระท่าเรือที่  $K_i$  และ  $K_j$  (US\$/ตู้);

$E_{K_iK_j}^V$  : ค่าผ่านทางที่  $K_i$  และ  $K_j$  โดย  $V$  (US\$/ตู้);

$H_{K_iK_j}$  : ค่าธรรมเนียมในการจัดการสินค้าที่  $K_i$  และ  $K_j$  (US\$/ตู้);

$CM_{K_iK_j}$  : ค่าธรรมเนียมในการเทียบท่าที่  $K_i$  และ  $K_j$  (US\$/ตู้);

$$SC_{K_jJ} = CV_{K_jJ}^v * St_{K_jJ} \quad (5)$$

$$RC_{K_jJ} = CR_{K_jJ} * D_{K_jJ} \quad (6)$$

$$FC_{K_jJ} = \text{Min}(SI_{K_jJ}, RI_{K_jJ}) \quad (7)$$

$$TC_{IK_iK_jJ} = (FC_{IK_iK_jJ} + PC_{IK_iK_jJ}) * Q_{IJ} \quad (8)$$

$RC_{K_jJ}$  : ค่าขนส่งทางถนนจาก  $K_j$  ไปสู่  $J$  (US\$/ตู้);

$FC_{K_jJ}$  : ค่าขนส่งที่ต่ำที่สุดระหว่างการขนส่งทางถนนและทางทะเลจาก  $K_j$  ไปสู่  $J$  (US\$/ตู้);

$Q_{IJ}$ : ปริมาณผู้สินค้าจาก  $I$  ไปสู่  $J$  (ตู้);  
 $TC_{IK_iK_jJ}$ : ค่าใช้จ่ายรวมจากท่าเรือ  $I$  ไปสู่  $J$  โดยผ่าน  $K_i$  และ  $K_j$  (US\$);

สมการวัตถุประสงค์คือ

**Minimization**

$$\sum_{I,i}^{N_{I,i}} \sum_{K_i}^{N_{K_i}} \sum_{K_j}^{N_{K_j}} \sum_{J,j}^{N_{J,j}} TC_{IK_iK_jJ} * X_{IK_iK_jJ} \quad (9)$$

**Subject to :**

$$\sum_{K_i,K_j}^{N_{K_i,K_j}} Y_{K_i,K_j} = N_{K_i,K_j} \quad (10)$$

$$\sum_{K_i,K_j}^{N_{K_i,K_j}} X_{IK_iK_jJ} = 1 \quad (11)$$

$\forall I, i \in N_I, N_i, \forall J, j \in N_J, N_j$

$$\sum_{K_i,K_j}^{N_{K_i,K_j}} X_{IK_iK_jJ} \leq Y_{K_i,K_j} \quad (12)$$

$\forall I, i \in N_I, N_i, \forall J, j \in N_J, N_j$

$$Y_{K_i,K_j} \in \{0,1\} \quad (13)$$

$\forall K_i, K_j \in N_{K_i,K_j}$

$Y_{K_i,K_j}$ : ตัวแปรไบนารีจะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าตำแหน่งของ  $K_i$  และ  $K_j$  ถูกเลือก และเป็น 0 ถ้าไม่ได้ถูกเลือก

$X_{IK_iK_jJ}$ : สัดส่วนปริมาณการไหลของผู้สินค้าจาก  $I$  ไปสู่  $J$  ผ่านท่าเรือศูนย์กลาง  $K_i$  และ  $K_j$

$N_{K_i,K_j}$ : จำนวนของท่าเรือเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่เปิดบริการ

$N_I, N_i$ : จำนวนของท่าเรือ  $I$  และ  $i$

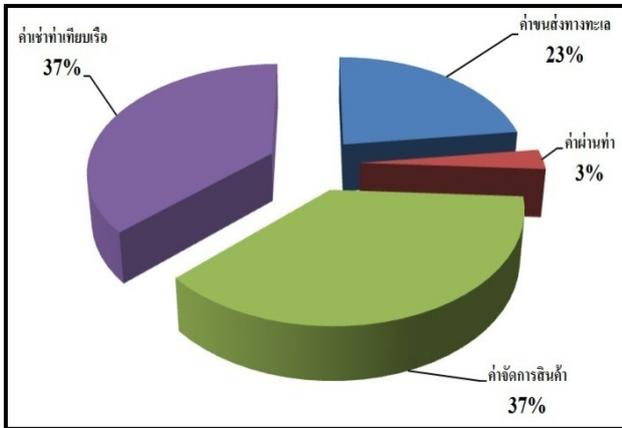
$N_J, N_j$ : จำนวนของท่าเรือ  $J$  และ  $j$

**4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล**

ผลที่ได้จากการประมวลในแบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสมได้แยกประเภทผลที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อออกเป็น 3 ประเภทหลัก ซึ่งในส่วนแรกจะเป็น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งบนเส้นทางหลักและเส้นทางรองระหว่างท่าเรือเปลี่ยนถ่ายสินค้าทั้ง 6 ท่าที่จะแข่งขันกันเพื่อเป็นท่าเรือศูนย์กลางในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และท่าเรือหลักและย่อยอื่นๆ ทั่วโลกที่สามารถรับเรือขนาด 4,000 และ 1,000 ตู้ได้ตามลำดับ ส่วนที่ 2 จะเป็นค่าธรรมเนียมของค่าภาระท่าเรือซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ ค่าภาระท่าเรือที่เกิดจากค่าใช้จ่ายในการผ่านท่า ค่าจัดการสินค้า ค่าเทียบท่าเรือ ซึ่งจากการประมวลผลที่ได้จากแบบจำลองในหัวข้อ 3.3 พบว่าแบบจำลองประกอบด้วยตัวแปรทั้งหมด 26,521 ตัวแปร (Decision Variable) และมีสมการข้อจำกัด (Constraints) เท่ากับ 36,104 สมการ ท่าเรือปากบาราภิรมสมมติฐานของปริมาณสินค้าผ่านท่าในปริมาณเดียวกับท่าเรือกรุงเทพเป็นทางเลือกที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในบรรดาท่าเรือเปลี่ยนถ่ายสินค้าทั้ง 6 ท่ากับค่าใช้จ่ายรวมในการเคลื่อนย้ายสินค้าจากท่าเรือต้นทางไปยังปลายทางเท่ากับ 12,886.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (Million US\$) ท่าเรือแหลมฉบังถูกเลือกเป็นทางเลือกในลำดับที่ 2 ปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมให้ทั้งท่าเรือปากบาราและท่าเรือแหลมฉบังสามารถเป็นท่าเรือศูนย์กลางในภูมิภาคได้คือค่าผ่านท่า ค่าจัดการสินค้าและค่าเช่าท่าเทียบเรือ ซึ่งมีราคาต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของท่าเรือหลักในภูมิภาคประมาณร้อยละ 23, 10.8 และ 64.9 ตามลำดับ มีเฉพาะเพียงค่าจัดการสินค้าของท่าเรือคลังเท่านั้นที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับท่าเรือไทย สำหรับท่าเรือที่ถูกเลือกมาเป็นลำดับที่ 3 - 6 ได้แก่ ท่าเรือสิงคโปร์ ท่าเรือจาการ์ตา ท่าเรือคลัง และท่าเรือตันหยงปิราบัส ตามมาเป็นลำดับสุดท้าย

การแบ่งแยกประเภทของค่าใช้จ่ายรวมสำหรับการเลือกท่าเรือปากบาราเป็นท่าเรือศูนย์กลางของการเปลี่ยนถ่ายสามารถแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เป็นสัดส่วนมากที่สุดได้แก่ค่าใช้จ่ายด้านค่าเช่าท่าเทียบเรือ และค่าใช้จ่ายทางด้านการจัดการสินค้า (Cargo handling charges) มีสัดส่วนในปริมาณในระดับเดียวกันที่ร้อยละ 37 ซึ่งค่าใช้จ่ายประมาณ 4767.9 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ค่าใช้จ่ายในการเดินเรือมีส่วนที่

รองลงมาเท่ากับร้อยละ 23 ( 2,963.8 ล้านดอลลาร์สหรัฐ) และประเภทของค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดได้แก่ ค่าใช้จ่ายผ่านทางที่ร้อยละ 3 (386.6 ล้านดอลลาร์สหรัฐ)



รูปที่ 4 ค่าใช้จ่ายรวม (12,886.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐ) ของท่าเรือปากบาราเมื่อเป็นท่าเรือศูนย์กลางที่เหมาะสม

### 5. สรุปผลการวิจัย

จากผลที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสมแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของท่าเรือปากบาราที่มีความเหมาะสมที่จะเป็นท่าเรือศูนย์กลางการเปลี่ยนถ่ายในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยการตั้งท่าเรือให้มีความระดับเดียวกับท่าเรือแหลมฉบัง และถ้าเป็นไปได้หน่วยงานภาครัฐให้การสนับสนุนในด้านการพัฒนาประสิทธิภาพในการขนถ่ายสินค้าของท่าเรือให้อยู่ในระดับเดียวกับท่าเรือสิงคโปร์หรือท่าเรือคลังของประเทศมาเลเซีย โดยเฉพาะความเร็วในการจัดการสินค้าของครุภัณฑ์ท่าเรือรวมไปกับการพิจารณาปัจจัยในการเลือกใช้ท่าเรือของผู้ประกอบการเดินเรือในด้านอื่นๆ เช่น การมีโครงข่ายเส้นทางรถขนส่งภายในประเทศให้เชื่อมต่อกับท่าเรือปากบาราไปยังจุดหมายปลายทางของสินค้าส่วนใหญ่ก็จะสามารถเพิ่มโอกาสทำให้ท่าเรือปากบาราบรรลุการเป็นท่าเรือศูนย์กลางแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้อย่างประสบความสำเร็จ

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา สำหรับการให้ทุนสนับสนุนต่องานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กมลชนก สุทธิวัฒนฤพุดิ."การขนส่งสินค้าทางทะเล". บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด. กรุงเทพฯ, 574 หน้า. 2553.
- [2] Aversa, R., Botter, R. C., Haralambides , H. E. and Yoshizaki, H. T. V. "A Mixed Integer Programming Model on the Location of a Hub Port in the East Coast of South America" Maritime Economics & Logistics, Vol.7, 2005, pp.1-18.
- [3] SEATEC Consulting Engineering. "โครงการศึกษา ทบทวนความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อมเพื่อก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกบริเวณปากคลองปากบารา อำเภอลงู จังหวัดสตูล" กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี, 2548.
- [4] Campbell, J.F. "Integer Programming formulations of discrete hub location problems" European Journal of Operations Research, Vol. 72, 1994, pp.387-405.
- [5] O'Kelly, M.E. "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities", European Journal of Operational Research, Vol. 32, 1987, pp.393-404.
- [6] Klincewicz, J.G. "Heuristics for the p-hub location problem", European Journal of Operational Research, Vol. 53,1991, pp. 25-37.
- [7] Hakimi, S. "Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph", Operation Research, Vol.12, 1964, pp. 450-459.
- [8] Hakimi, S. "Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems", Operation Research, Vol. 13, 1965, pp. 462-475.
- [9] Shibasaki, R., Ma, L., Kannami, Y., Ieda, H. and Takashi, K. "Regional Based International Maritime Container Cargo Flow Estimation between East Asian Nations", Proceeding of 1<sup>st</sup> International Conference on Transportation and Logistics 2005, Singapore, CD-ROM, 2005.

[10] Drewry Shipping Consultants Ltd. “Salalah Port Container Market Study”, Report for Salalah Port Service Co., Drewry Shipping Consultants Ltd, Oman, London, 2001.