การจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ

Multi-Compartment Inventory Routing Problem

หมายเลขบทความ: YRF13-022

นวคุณ พิมพ์ทิมานนท์[1], มาโนช โลหเตปานนท์[2]

Navakoon Pimtimanon, Manoj Lohatepanont

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0-2218-6463 โทรสาร 0-2251-7304

E-mail: [1]navakoonp@hotmail.com, [2]lmanoj@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังสำหรับเรือแบบหลายช่องบรรจุ ซึ่งเป็นการนำเอาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินเรือและปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังมาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน และพิจารณาเพิ่มเติมในข้อจำกัดของเรือแบบหลายช่องบรรจุโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาเส้นทางการเดินทาง เวลาในการขนส่งสินค้า และปริมาณสินค้าที่ขนส่ง ที่ก่อให้เกิดต้นทุนในการขนส่งและจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุดซึ่งผู้วิจัยได้พิจารณาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบสมการเส้นทางในการจำลองปัญหา และทำการหาผลเฉลยโดยวิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางที่นำเสนอสามารถจำลองรูปแบบของปัญหาได้อย่างใกล้เคียง และได้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่น้อยกว่า

คำสำคัญ:ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง,หลายช่องบรรจุ,สมการเส้นทาง, วิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ

Abstract

In this paper, we focus on multi-compartments ship inventory routing problem. This problem combines two main problems together, inventory management and routing, with the additional multi-compartments constraint of the vessel. The objective is to find the way to analyze this problem for the minimization transportation and inventory holding cost. We consider to use mathematical model as path-based formulation to simulate this problem and solve it by Dantzig-Wolfe Decompositionapproach. The result of this paper show that the path-based formulation model that we formulate can represent the problem almost similarly and give the solution almost optimal with less time for this problem.

Keywords: Inventory Routing Problem, Multi-Compartment, Path-based formulation, Dantzig-Wolfe Decomposition

1. บทนำ

ปัจจุบันพบว่า “โลจิสติกส์” เข้ามามีบทบาทที่สำคัญต่อการบริหารจัดการธุรกิจต่างๆ เป็นอย่างมาก เนื่องจากการบริหารจัดการแบบโลจิสติกส์นั้นสามารถช่วยในการลดต้นทุนหรือสร้างผลกำไรที่สูงขึ้นซึ่ง“โลจิสติกส์” คือการบริหารจัดการการขนย้ายและจัดเก็บวัตถุดิบหรือสินค้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างเพียงพอ ซึ่งต้นทุนที่สำคัญในด้านโลจิสติกส์ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ต้นทุนด้านการขนส่งและต้นทุนการจัดเก็บสินค้า[2]

รูปแบบการขนส่งสินค้าทางน้ำถือเป็นรูปแบบการขนส่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากรูปแบบหนึ่ง เนื่องจากการขนส่งสินค้าทางน้ำมีต้นทุนในการขนส่งต่อหน่วยต่อระยะทางที่ต่ำ กล่าวคือ การขนส่งทางน้ำสามารถขนส่งได้ปริมาณมากต่อเที่ยว ซึ่งเมื่อเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่งกับปริมาณการขนส่งต่อเที่ยวของการขนส่งแต่ละรูปแบบ จะพบว่าการขนส่งทางน้ำมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่ารูปแบบการขนส่งอื่นๆ แต่ในทาง

กลับกัน การขนส่งทางน้ำจะมีข้อเสียในด้านเวลาในการขนส่ง คือ มีความเร็วในการขนส่งที่ช้า มีความไม่แน่นอนในเรื่องเวลาการขนส่งที่สูง เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งยากที่จะคาดการณ์ และมีความสามารถในการเข้าถึงต่ำ ไม่สามารถที่จะขนส่งสินค้าจากต้นทางไปถึงยังปลายทางได้ในรูปแบบเดียว จะต้องมีการอาศัยรูปแบบการขนส่งรูปแบบอื่นมาช่วย [3]

รูปแบบการขนส่งสินค้าทางน้ำสามารถขนส่งสินค้าได้ทุกประเภท โดยลักษณะของสินค้าที่นิยมขนส่งทางน้ำคือ สินค้าที่มีน้ำหนักหรือปริมาตรที่มาก และมีปริมาณการขนส่งที่สูง ส่วนสินค้าที่ไม่นิยมขนส่งทางน้ำคือ สินค้าที่มีมูลค่าสูงแต่น้ำหนักเบา และสินค้าที่เน่าเสียง่าย เนื่องจากการขนส่งสินค้าทางน้ำจะเน้นที่ปริมาณสินค้าในการขนส่งมากกว่ามูลค่าของสินค้าที่ขนส่ง จึงทำให้คุณภาพในการดูแลรักษาสินค้าค่อนข้างต่ำ และการขนส่งสินค้าทางน้ำใช้เวลาค่อนข้างนาน ทำให้การขนส่งทางน้ำไม่เหมาะกับสินค้าที่เน่าเสียง่าย โดยสินค้าที่ขนส่งทางน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท[1] ได้แก่

1) สินค้าเทกอง คือ สินค้าที่ไม่ต้องมีภาชนะบรรจุ ซึ่งมักจะเป็นสินค้าที่มีลักษณะคล้ายกันและสามารถนำมาเก็บรวมกันได้ โดยแบ่งออกเป็นสินค้าแห้งและสินค้าเหลว
2) สินค้าตู้ คือ สินค้าที่มีการบรรจุอยู่ในตู้สินค้า โดยการขนส่งสินค้าลักษณะนี้จะช่วยลดความเสียหายของตัวสินค้า เวลา และค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสินค้า และสะดวกในการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง
3) สินค้าทั่วไป คือ สินค้าที่มีการบรรจุอยู่ในลักษณะอื่นๆ ที่ไม่ใช่ตู้สินค้า เพื่อที่จะดูแลรักษาสินค้าและใช้พื้นที่ของเรือให้เกิดประโยชน์สูงสุด

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังสำหรับเรือแบบหลายช่องบรรจุสำหรับสินค้าเทกองประเภทของเหลว โดยพิจารณาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทางในการจำลองปัญหา และใช้วิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟในการแก้ปัญหา

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อันเดอร์สัน, ฮอฟฟ, คริสเตียนเซ่น, ฮาสสและโลเกแทนเกน [4] ได้ทำการศึกษารูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจากมุมมองด้านอุตสาหกรรม พบว่ารูปแบบของปัญหาจะสามารถแบ่งแยกได้ตามลักษณะต่างๆ ดังนี้ ช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา ลักษณะความต้องการสินค้า ปริมาณผู้ผลิตและผู้บริโภคลักษณะของเส้นทาง ลักษณะสินค้าคงคลัง ลักษณะยานพาหนะและปริมาณยานพาหนะ นอกจากนั้นจากการศึกษาของผู้วิจัยยังพบว่าปริมาณชนิดของสินค้าและปริมาณช่องบรรจุบนยานพาหนะ ก็เป็นลักษณะที่สามารถใช้ในการแบ่งแยกรูปแบบของปัญหาเช่นกัน

โดยการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจำลองได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบเส้นเชื่อม และรูปแบบเส้นทาง ซึ่งการจำลองปัญหาในแต่ละรูปแบบต่างมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป กล่าวคือ การจำลองด้วยรูปแบบเส้นเชื่อมจะมีปริมาณสดมภ์ (ตัวแปร) ที่น้อย แต่มีปริมาณแถว (สมการข้อจำกัด) ที่มาก ในทางกลับกัน การจำลองด้วยรูปแบบเส้นทางจะมีปริมาณสดมภ์ (ตัวแปร) ที่มาก แต่มีปริมาณแถว (สมการข้อจำกัด) ที่น้อย เนื่องจากสมการข้อจำกัดส่วนหนึ่งนั้นเป็นสมการข้อจำกัดในการสร้างเส้นทาง ซึ่งได้ถูกพิจารณาไปก่อนแล้วในการสร้างตัวแปร จึงทำให้ปริมาณสดมภ์มีมากขึ้นแต่ปริมาณแถวมีน้อยลง

คริสเตียนเซ่น และไนกรีน [8] ได้เสนอการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางในการวิเคราะห์ขนาดของช่วงเวลาในการเติมสินค้า โดยทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อย ได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือ และปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง และทำการผูกปัญหาทั้งสองด้วยปัญหาหลัก และทำการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์ร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์ และวิธีการแตกกิ่ง ซึ่งพบว่าวิธีการกำเนิดสดมภ์สามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลยลงได้เป็นอย่างมาก และสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี โดยอาเกซาฟ, ราห์ และแลนเดอเกม [6]ได้เสนอการประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยโดยการประหยัดในการสร้างสดมภ์โดยการรวมเส้นทางระหว่างเส้นทางย่อยด้วยกัน ซึ่งให้ผลเฉลยที่ดีกว่าการสร้างสดมภ์โดยเส้นทางย่อยเพียงอย่างเดียว

คาแยล และฮวาง [7] ได้เสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังสำหรับการขนส่งสินค้าที่มีมากกว่าหนึ่งชนิดโดยเรือหลายช่องบรรจุด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นเชื่อมพบว่าได้ผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในเวลาที่สามารถยอมรับได้ ต่อมาซิสวันโต้, เอสแซม และซาร์เกอร์ [9] ได้นำเอาแบบจำลองของฮวางไปทำการปรับแก้เล็กน้อยในส่วนของข้อจำกัดด้านช่องบรรจุ และทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหากับวิธีฮิวริสติกส์หลายขั้นตอน ซึ่งพบว่าวิธีฮิวริสติกส์หลายขั้นตอนสามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดในบางตัวอย่าง และโรเนน [5] ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยจากการแก้ปัญหารูปแบบเดียวกันนี้ในขนาดที่ใหญ่ขึ้นกับการหาผลเฉลยโดยวิธีฮิวริสติกส์การดึงและผลัก ซึ่งผลที่ได้พบว่าแบบจำลองให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเพียงเล็กน้อยแต่ใช้เวลาในการแก้ปัญหามากกว่าเป็นอย่างมาก โดยมีสาเหตุมาจากขนาดของปัญหาที่ใหญ่ดังนั้นจึงอาจบอกได้ว่าปัญหาที่มีขนาดใหญ่ วิธีการแก้ปัญหาโดยแบบจำลองอาจจะไม่เหมาะสม

ในการใช้งานจริง ควรใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาหรือเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเพื่อลดระยะเวลาในการแก้ปัญหาลง

3. รูปแบบปัญหาและสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะเสนอรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังที่พิจารณาในงานวิจัย พร้อมกับข้อสมมติและรายละเอียดของแบบจำลอง

3.1 รูปแบบปัญหา

งานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าเทกองประเภทของเหลว โดยห้ามไม่ให้สินค้ามีปริมาณต่ำกว่าปริมาณขั้นต่ำที่กำหนด งานวิจัยนี้ได้พิจารณาสินค้าหลายชนิด ซึ่งสินค้าประเภทนี้จะไม่สามารถนำมาเก็บปะปนกันได้ ดังนั้นในการขนส่งจึงต้องใช้เรือที่มีหลายช่องบรรจุ ซึ่งเรือแต่ละลำจะมีปริมาณและขนาดของช่องบรรจุที่แตกต่างกัน โดยในการขนส่งจะสามารถขนส่งเป็นปริมาณเท่าไรก็ได้แต่ต้องไม่เกินขนาดความจุของช่องบรรจุและไม่น้อยกว่าปริมาณการขนส่งขั้นต่ำ และเมื่อมีการขนส่งสินค้าจะต้องส่งสินค้าที่มีทั้งหมดในช่องบรรจุที่ทำการขนส่ง โดยในช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา เรือจะสามารถกลับเข้ามาเติมสินค้าที่ท่าเรือผู้ผลิตและขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือผู้บริโภคเป็นจำนวนกี่เที่ยวก็ได้

3.2 ข้อสมมติ

- อัตราการผลิตสินค้าและความจุของท่าเรือผู้ผลิตไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา โดยถือว่ามีอัตราการผลิตที่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ และมีความจุที่เพียงพอเช่นกัน
- อัตราการใช้สินค้าในท่าเรือผู้บริโภคมีอัตราคงที่ในทุกช่วงเวลา
- ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าจะพิจารณาเฉพาะที่ท่าเรือผู้บริโภคเท่านั้น
- ปริมาณสินค้าคงคลังจะถูกพิจารณาในช่วงจบของแต่ละช่วงเวลา
- ระยะทางระหว่างท่าเรือมีลักษณะสมมาตร
- ค่าขนส่งขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างท่าเรือต้นทางกับท่าเรือปลายทาง แต่ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเรือและปริมาณสินค้าที่บรรทุก
- เวลาในการเดินทางมีค่าคงที่ โดยขึ้นอยู่กับระยะทางเท่านั้น
- ค่าใช้จ่ายและเวลาในการขนถ่ายสินค้าขึ้น/ลงจะไม่ถูกนำมาพิจารณา
- เรือสามารถขนถ่ายสินค้าได้มากกว่า 1 ชนิดในหนึ่งช่วงเวลา
- เรือไม่สามารถเข้าท่าเรือผู้บริโภคได้หากไม่มีการขนส่งสินค้า
- เรือไม่สามารถจอดนิ่งอยู่ที่ท่าเรือผู้บริโภค

3.3สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.1 เซต

S	เซตของท่าเรือผู้ผลิต
D	เซตของท่าเรือผู้บริโภค
M^v	เซตของช่องบรรจุสินค้าบนเรือลำที่ v
K	เซตของสินค้า
T	เซตของช่วงเวลา
V	เซตของเรือ
P^v	เซตของเส้นทางการเดินทางย่อยของเรือลำที่ v
G^v	เซตของเส้นทางการจอดย่อยของเรือลำที่ v

3.3.2 พารามิเตอร์

C_p	ค่าขนส่งของเส้นทางย่อย p(บาท)
I_{ik}	ค่าจัดเก็บสินค้า k ที่ท่าเรือi(บาท/ลิตร/ช่วงเวลา)
H_{mik}^{pt}	ค่าใช้จ่ายในการใช้ช่องบรรจุสินค้าmของเส้นทางย่อย pของเรือลำที่vขนส่งสินค้าkไปยังท่าเรือiณ ช่วงเวลาt(บาท)
CP_{ik}	ขนาดความจุของสินค้าkที่ท่าเรือi(ลิตร)
IS_{ik}	ปริมาณสินค้าตั้งต้นของสินค้าkที่ท่าเรือi(ลิตร)
SS_{ik}	ปริมาณสินค้าขั้นต่ำของสินค้าkที่ท่าเรือi(ลิตร)
CR_{ik}	อัตราการใช้สินค้าkที่ท่าเรือi(ลิตร/ช่วงเวลา)
CM_v	ปริมาณช่องบรรจุสินค้าของเรือลำที่ v(ช่อง)
CC_m	ขนาดของช่องบรรจุสินค้าm(ลิตร)
AS_i	ความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้น/ลง ณ ท่าเรือ i(ลำ/ช่วงเวลา)
ML	ปริมาณการขนถ่ายสินค้าขึ้น/ลงขั้นต่ำ (ลิตร)
δ^{pt}	เท่ากับ 1 ก็ต่อเมื่อเส้นทางย่อย pเดินทางอยู่ในช่วงเวลา tหรือเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ
α_i^{pt}	เท่ากับ 1 ก็ต่อเมื่อเส้นทางย่อยpเดินทางไปยังท่าเรือiณ ช่วงเวลาt หรือเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ
γ_i^{pt}	เท่ากับ 1 ก็ต่อเมื่อเส้นทางย่อยpออกจากท่าเรือiณช่วงเวลาtหรือเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

3.3.3 ตัวแปรตัดสินใจ

x_p	เท่ากับ 1 ก็ต่อเมื่อเลือกใช้เส้นทางย่อยpหรือเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ
y_{mik}^{pt}	ปริมาณสินค้าkที่ขนส่งโดยช่องบรรจุสินค้าmบนเส้นทางย่อยpไปยังท่าเรือiณ ช่วงเวลาt(ลิตร)

l_{mik}^{pt} เท่ากับ 1 ก็ต่อเมื่อช่องบรรจุสินค้า mบนเส้นทางย่อย pถูกใช้ขนส่งสินค้า kไปยังท่าเรือ iณ ช่วงเวลา t หรือเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

3.3.4 สมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัด

$$min \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v} C_p x_p + \sum_{t\in T}\sum_{i\in D}\sum_{k\in K}(T-t+1)\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{m\in M^v} I_{ik} y_{mik}^{pt} + \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{m\in M^v}\sum_{t\in T}\sum_{i\in D}\sum_{k\in K} H_{mik}^{pt} l_{mik}^{pt} \quad (1)$$

Subject to:

$$y_{mik}^{pt} \le CC_m l_{mik}^{pt} \quad \forall m\in M^v, \forall i\in D, \forall k\in K, \forall t\in T, \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (2)$$

$$y_{mik}^{pt} \ge ML\, l_{mik}^{pt} \quad \forall m\in M^v, \forall i\in D, \forall k\in K, \forall t\in T, \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (3)$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{i\in D}\sum_{k\in K} l_{mik}^{pt} \le 1 \quad \forall m\in M^v, \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (4)$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{i\in D}\sum_{k\in K}\sum_{m\in M^v} l_{mik}^{pt} \le CM_v x_p \quad \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^{n}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{m\in M^v} y_{mik}^{pt} \le CP_{ik} - IS_{ik} + nCR_{ik} \quad \forall i\in D, \forall k\in K, \forall n\in\{1,\dots,T\} \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^{n}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{m\in M^v} y_{mik}^{pt} \ge SS_{ik} - IS_{ik} + nCR_{ik} \quad \forall i\in D, \forall k\in K, \forall n\in\{1,\dots,T\} \quad (7)$$

$$\sum_{p\in P^v\cup G^v} \delta^{pt} x_p \le 1 \quad \forall t\in T, \forall v\in V \quad (8)$$

$$\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v} \alpha_i^{pt} x_p \le AS_i \quad \forall i\in S\cup D, \forall t\in T \quad (9)$$

$$\sum_{p\in P^v\cup G^v} \alpha_i^{pt} x_p - \sum_{p\in P^v\cup G^v} \gamma_i^{pt} x_p \ge 0 \quad \forall i\in S, \forall t\in T, \forall v\in V \quad (10)$$

$$y_{mik}^{pt} \ge 0 \quad \forall m\in M^v, \forall i\in D, \forall k\in K, \forall t\in T, \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (11)$$

$$l_{mik}^{pt} \in \{0,1\} \quad \forall m\in M^v, \forall i\in D, \forall k\in K, \forall t\in T, \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (12)$$

$$x_p \in \{0,1\} \quad \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (13)$$

สมการที่ (1) คือสมการเป้าหมาย กล่าวคือ เป็นสมการการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งและจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายในการขนส่งจะคำนวณจากค่าใช้จ่ายของเส้นทางย่อยของเรือแต่ละลำ รวมกับค่าใช้จ่ายในการใช้ช่องบรรจุสินค้าบนเส้นทางย่อยแต่ละเส้นทางของเรือแต่ละลำ ส่วนค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าจะคำนวณจากปริมาณสินค้าที่ทำการเติมเข้าไปในแต่ละท่าเรือในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะพิจารณาค่าจัดเก็บสินค้าเฉพาะในส่วนของท่าเรือผู้บริโภคเท่านั้น ต่อมาในส่วนของสมการเงื่อนไข สมการที่ (2) และ (3) เป็นสมการตรวจสอบการใช้ช่องบรรจุสินค้าแต่ละช่องบนเรือแต่ละลำและกำหนดปริมาณความสามารถในการขนส่งสินค้า ซึ่งหากมีการขนส่งสินค้าโดยช่องบรรจุสินค้านั้นๆ จะต้องบรรจุสินค้าไม่เกินขนาดความจุของช่องบรรจุสินค้าและไม่น้อยกว่าปริมาณการขนถ่ายสินค้าขั้นต่ำ ตามลำดับ สมการที่ (4) คือสมการความสามารถในการใช้ช่องบรรจุสินค้า โดยจะสามารถใช้ช่องบรรจุสินค้าแต่ละช่องได้แค่เพียงหนึ่งครั้งต่อเส้นทางย่อยของเรือแต่ละลำ สมการที่ (5) เป็นสมการตรวจสอบการใช้เส้นทางย่อยของเรือแต่ละลำ กล่าวคือ เรือจะสามารถใช้ช่องบรรจุสินค้าบนเส้นทางย่อยนั้นๆ ได้ก็ต่อเมื่อเรือได้เลือกเดินทางบนเส้นทางย่อยนั้นเท่านั้น ต่อมาสมการที่ (6) และ (7) คือสมการกำหนดปริมาณสินค้าที่สามารถทำการเติมเข้าไปยังท่าเรือนั้นๆ โดยจะสามารถเติมได้ไม่เกินปริมาณที่ว่างอยู่ของความจุในแต่ละช่วงเวลา และทำให้ปริมาณสินค้าคงคลังไม่ต่ำกว่าปริมาณสินค้าขั้นต่ำ ตามลำดับ สมการที่ (8) เป็นสมการข้อจำกัดในการเลือกเส้นทางย่อยของเรือแต่ละลำ โดยในแต่ละช่วงเวลาเรือแต่ละลำจะสามารถเลือกเดินทางบนเส้นทางย่อยได้แค่เพียงหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการที่ (9) เป็นสมการความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้น/ลงของแต่ละท่าเรือ ซึ่งจำนวนเรือที่ทำการขนถ่ายสินค้าขึ้น/ลงในแต่ละท่าเรือของแต่ละช่วงเวลาจะต้องไม่เกินค่าความสามารถนี้ สมการที่ (10) คือสมการการไหลของเรือแต่ละลำ กล่าวคือ ในแต่ละช่วงเวลา เรือจะสามารถเลือกเส้นทางย่อยได้ก็ต่อเมื่อเรือลำนั้นอยู่ที่ท่าเรือผู้ผลิตนั้นๆ และสมการที่ (11) – (13) คือสมการกำหนดรูปแบบของตัวแปรตัดสินใจ

4. วิธีการหาผลเฉลย

ในหัวข้อนี้จะเสนอลำดับขั้นตอนในการหาผลเฉลย โดยเริ่มแรกจะทำการสร้างเส้นทางย่อยของเรือแต่ละลำ และนำเส้นทางย่อยที่ได้มานี้ไปทำการจำลองเพิ่มโดยใช้ลักษณะเส้นทางเดิมที่มีอยู่แต่เปลี่ยนช่วงเวลาของเส้นทางนั้นๆ หลังจากนั้นจะนำเส้นทางย่อยทั้งหมดไปหาผลเฉลยในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางที่ได้จำลองปัญหาไว้โดยวิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ

4.1 สร้างเส้นทางย่อย

เส้นทางย่อยที่ทำการสร้างจะประกอบไปด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่ เส้นทางการเดินทางย่อย และเส้นทางการจอดย่อย โดยเรือแต่ละลำจะมีเส้นทางย่อยที่เหมือนกัน

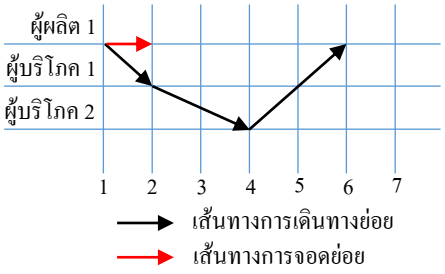
4.1.1 เส้นทางการเดินทางย่อย

เป็นเส้นทางแสดงลำดับการขนส่งสินค้า ซึ่งจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ท่าเรือผู้ผลิต โดยการสร้างเส้นทางการเดินทางย่อยจะมีข้อจำกัดในด้านระยะทางที่สามารถเดินทางได้ต่อเที่ยวและปริมาณท่าเรือผู้บริโภค

ที่สามารถขนส่งได้ต่อเที่ยว และเมื่อมีการขนส่งสินค้าที่ท่าเรือผู้บริโภคในช่วงเวลาต่อไปจะต้องออกจากท่าเรือนั้นทันที ไม่สามารถจอดนิ่งอยู่ที่ท่าเรือผู้บริโภคได้

4.1.2 เส้นทางการจอดย่อย

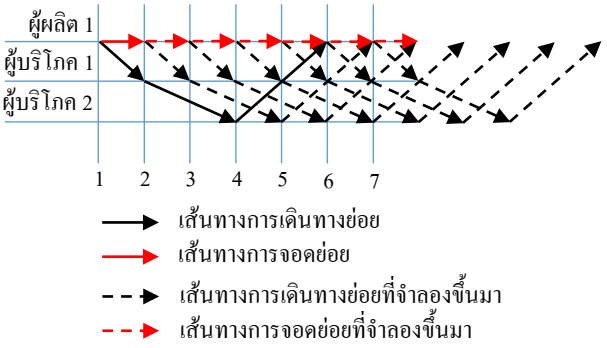
เป็นเส้นทางแสดงการจอดนิ่งอยู่ที่ท่าเรือ ซึ่งเรือจะสามารถจอดนิ่งได้เฉพาะที่ท่าเรือผู้ผลิตเท่านั้น ดังนั้นจึงสร้างเส้นทางการจอดย่อยเฉพาะที่ท่าเรือผู้ผลิตเท่านั้น โดยจะพิจารณาการจอดทีละหนึ่งช่วงเวลา ซึ่งเส้นทางการจอดย่อยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการไหลของเรือ กล่าวคือ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดินทางระหว่างท่าเรือผู้ผลิตด้วยกัน ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนโดยไม่จำเป็น



รูปที่ 1 ตัวอย่างการสร้างเส้นทางย่อย

4.2 จำลองเส้นทางย่อย

เป็นขั้นตอนการสร้างเส้นทางย่อยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยการจำลองเส้นทางย่อยจากเส้นทางย่อยทั้งหมดที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการสร้างเส้นทางย่อย โดยจะทำการจำลองเส้นทางย่อยแต่ละเส้นทางตามความยาวของช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา



รูปที่ 2 ตัวอย่างการจำลองเส้นทางย่อย

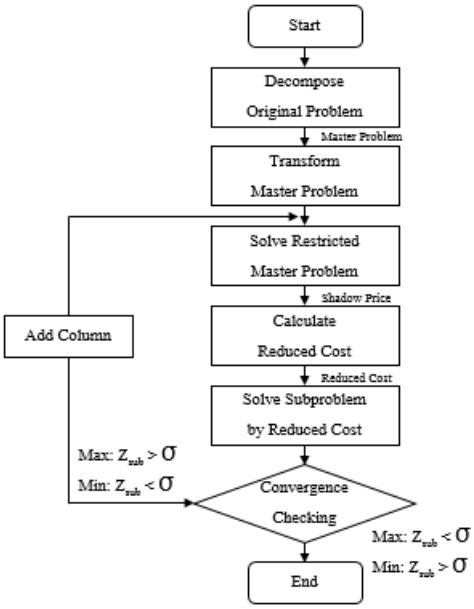
4.3 วิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทาง พบว่าปัญหามีขนาดใหญ่มาก ซึ่งหากพิจารณาแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยตรงอาจใช้เวลาในการแก้ปัญหาเป็นเวลานาน ซึ่งไม่สามารถที่จะนำมาใช้งานได้จริง ดังนั้นจึงได้นำวิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ เข้ามาช่วยในการหาผลเฉลย

วิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ เป็นการประยุกต์ใช้หลักการตัวแปรน้ำหนัก และวิธีการกำเนิดสดมภ์เข้าด้วยกัน โดยการแบ่งแยกปัญหาที่มีอยู่ออกเป็นปัญหาย่อยๆ ตามความอิสระของกลุ่มตัวแปรและสมการข้อจำกัด และทำการผูกปัญหาย่อยเข้าด้วยกันโดยปัญหาหลัก

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังนี้

1) แยกส่วนปัญหาออกเป็นปัญหาหลักและปัญหาย่อย
2) แปลงตัวแปรของปัญหาหลักเป็นตัวแปรน้ำหนัก
3) หาค่าผลเฉลยและค่าราคาเงาของสมการข้อจำกัดของปัญหาหลัก
4) คำนวณส่วนลดต้นทุนของตัวแปรในแต่ละปัญหาย่อย
5) หาค่าผลเฉลยของแต่ละปัญหาย่อยจากค่าส่วนลดต้นทุนที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 4
6) ตรวจสอบค่าผลเฉลยของปัญหาย่อยแต่ละปัญหา หากพบว่ามีค่าผลเฉลยของปัญหาย่อยที่สามารถพัฒนาค่าผลเฉลยของปัญหาหลักได้ก็จะย้อนกลับไปหาผลเฉลยใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 แต่ถ้าไม่มีค่าผลเฉลยของปัญหาย่อยที่สามารถพัฒนาค่าผลเฉลยของปัญหาหลักได้เลยก็จะถือว่าผลเฉลยของปัญหาหลักในขณะนี้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาคำตอบแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟ

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อย ได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง และปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง โดยปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเป็นปัญหาที่ใช้ในการพิจารณาหาผลเฉลยของตัวแปรตัดสินใจ x_p ซึ่งจะมี 1 ปัญหาย่อย ส่วนปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจะเป็นปัญหาที่ใช้ในการพิจารณาหาผลเฉลยของตัวแปรตัดสินใจ y_{mik}^{pt}และl_{mik}^{pt} โดยจะพิจารณาแยกปัญหาตามเส้นทางการเดินทางย่อยของเรือแต่ละลำ คือ มีจำนวนปัญหาย่อยทั้งหมดเท่ากับ จำนวนเรือคูณกับจำนวนเส้นทางการเดินทางย่อย

4.3.1ปัญหาหลัก

4.3.1.1 เซต

J	เซตของผลเฉลยที่ได้จากปัญหาย่อยกลุ่มที่ 1
R	เซตของผลเฉลยที่ได้จากปัญหาย่อยกลุ่มที่ 2

4.3.1.2 พารามิเตอร์

A_{pr}, A_{pj}	เมทริกซ์ของสมการที่(5)
B_{ikn}^{pr}	เมทริกซ์ของสมการที่(6)
E_{ikn}^{pr}	เมทริกซ์ของสมการที่(7)
X^j	ผลเฉลย j ที่ได้จากปัญหาย่อยกลุ่มที่ 1
Y^{pr}	ผลเฉลย rของเส้นทางย่อย p ที่ได้จากปัญหาย่อยกลุ่มที่ 2
TC_j	ค่าใช้จ่ายของผลเฉลยj
TI_{pr}	ค่าใช้จ่ายของผลเฉลยrของเส้นทางย่อยp

4.3.1.3 ตัวแปรตัดสินใจ

λ_j	ตัวแปรน้ำหนักของX^j
μ_{pr}	ตัวแปรน้ำหนักของY^{pr}

4.3.1.4สมการปัญหา

$$min \sum_{j\in J} TC_j\lambda_j + \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{r\in R} TI_{pr}\mu_{pr} \quad (14)$$

Subject to:

$$\sum_{r\in R} A_{pr}Y^{pr}\mu_{pr} \le CM_v \sum_{j\in J} A_{pj}X^j\lambda_j \quad \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (15)$$

$$\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{r\in R} B_{ikn}^{pr}Y^{pr}\mu_{pr} \le CP_{ik} - IS_{ik} + nCR_{ik} \quad \forall i\in D, \forall k\in K, \forall n\in\{1,\dots,T\} \quad (16)$$

$$\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\sum_{r\in R} E_{ikn}^{pr}Y^{pr}\mu_{pr} \ge SS_{ik} - IS_{ik} + nCR_{ik} \quad \forall i\in D, \forall k\in K, \forall n\in\{1,\dots,T\} \quad (17)$$

$$\sum_{j\in J}\lambda_j = 1 \quad (18)$$

$$\sum_{r\in R}\mu_{pr} = 1 \quad \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (19)$$

$$\lambda_j \ge 0 \quad \forall j\in J \quad (20)$$

$$\mu_{pr} \ge 0 \quad \forall r\in R, \forall p\in P^v, \forall v\in V \quad (21)$$

สมการที่ (14) เป็นสมการเป้าหมายในการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดจากผลเฉลยที่ได้จากปัญหาย่อยกลุ่มที่ 1 และ 2 ส่วนสมการที่(15)เป็นสมการข้อจำกัดปริมาณช่องบรรจุ โดยปริมาณช่องบรรจุที่ใช้ในผลเฉลยกลุ่มปัญหาย่อยที่ 2 จะต้องไม่เกินปริมาณที่สามารถใช้ได้จากผลเฉลยของกลุ่มปัญหาย่อยที่ 1 ต่อมาสมการที่ (16) และ (17) คือสมการปริมาณสินค้าที่สามารถเติมได้ โดยปริมาณสินค้าที่มีการเติมจากผลเฉลยของกลุ่มปัญหาย่อยที่ 2 จะต้องไม่เกินความจุสินค้าของท่าเรือนั้นๆ และจะต้องไม่ทำให้ปริมาณสินค้าต่ำกว่าระดับปริมาณสินค้าขั้นต่ำที่กำหนด สมการที่ (18) และ (19) เป็นสมการน้ำหนัก โดยน้ำหนักของแต่ละปัญหาย่อยจะต้องมีค่ารวมกันเท่ากับ 1 และสมการที่ (20) – (21) คือสมการกำหนดรูปแบบของตัวแปรน้ำหนัก

4.3.1.5 ตัวแปรราคาเงา

τ_p	ราคาเงาของสมการที่ (15)
ε_{ikn}	ราคาเงาของสมการที่ (16)
π_{ikn}	ราคาเงาของสมการที่ (17)
θ	ราคาเงาของสมการที่ (18)
φ_p	ราคาเงาของสมการที่ (19)

4.3.2 ปัญหาย่อย

4.3.2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง

ปัญหาย่อยกลุ่มนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลยสำหรับตัวแปร x_pซึ่งจะหาผลเฉลยจากการแก้สมการข้อจำกัด (8), (9), (10) และ (13)โดยค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมายจะใช้เป็นค่าต้นทุนส่วนลดแทนค่าต้นทุนเดิม ซึ่งค่าต้นทุนส่วนลดสามารถคำนวณได้จากสมการ (22)

$$\overline{C_p} = C_p + \tau_p CM_v \quad (22)$$

โดย $\overline{C_p}$คือต้นทุนส่วนลดของตัวแปร x_p

4.3.2.2 ปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

ปัญหาย่อยกลุ่มนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลยสำหรับตัวแปร y_{mik}^{pt}และl_{mik}^{pt} ซึ่งจะหาผลเฉลยจากการแก้สมการข้อจำกัด (2), (3), (4), (11) และ (12) โดยจะพิจารณาแก้ปัญหาแยกตามเส้นทางการเดินทางย่อยของเรือแต่ละลำ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมายจะใช้เป็นค่า

ต้นทุนส่วนลดแทนค่าต้นทุนเดิม ซึ่งค่าต้นทุนส่วนลดสามารถคำนวณได้จากสมการ (23)และ (24)

$$\overline{I_{ikt}} = (T - t + 1)I_{ik} - \sum_{t \le n \le T} (\varepsilon_{ikn} + \pi_{ikn}) \quad (23)$$

$$\overline{H_{mik}^{pt}} = H_{mik}^{pt} - \tau_p \quad (24)$$

โดย $\overline{I_{ikt}}$และ $\overline{H_{mik}^{pt}}$คือต้นทุนส่วนลดของตัวแปร y_{mik}^{pt} และ l_{mik}^{pt} ตามลำดับ

5. ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากข้อมูลที่มีลักษณะตรงกับรูปแบบของปัญหาในงานวิจัยนี้ค่อนข้างมีรายละเอียดสูงและสามารถเข้าถึงได้ยาก ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้มาทำการสร้างข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนที่จำเป็นต่องานวิจัย โดยอิงจากหลักความเป็นจริงที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษามา ซึ่งจะทำการสร้างข้อมูลขึ้นมาทั้งหมด 10 ชุด เรียงลำดับจากขนาดของปัญหาจากเล็กไปใหญ่

6. ผลที่ได้จากงานวิจัย

จากผลที่ได้พบว่าการหาผลเฉลยโดยวิธีการหาผลเฉลยแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟให้ผลเฉลยเดียวกันกับการแก้ปัญหาโดยการแก้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทาง แต่ใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยกว่าเป็นอย่างมาก โดยเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากระดับหนึ่ง การแก้ปัญหาโดยการแก้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานเกินกว่าจะยอมรับได้

ดังนั้นจึงบอกได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการหาผลเฉลยแบบแยกส่วนของแดนซิกส์-วูล์ฟที่ผู้วิจัยได้ทำการนำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานจริง โดยจะให้ผลเฉลยที่ดีในระดับที่ยอมรับได้ภายใต้ระยะเวลาในการหาผลเฉลยที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ, 2553. การขนส่งสินค้าทางทะเล(Sea Transport).บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด

[2] ชาคริยา ธาระรูป, 2552. การวิเคราะห์ต้นทุนและการลดต้นทุนโลจิสติกส์ในคลังสินค้า กรณีศึกษา:บริษัทกาวอุตสาหกรรม.

[3] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2533. เอกสารการสอนชุดวิชาการจัดการงานขนส่งสินค้า. จำนวน 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

[4] A., Lokketangen et al, Industrial aspects and literature survey: combined inventory management and routing, Computer and Operations Research, Vol.37, pp.1515-1536, 2010.

[5] D., Ronen, Marine inventory routing: shipments planning, The Journal of the Operational Research Society, Vol.53, pp.108-114, 2002.

[6] E., Aghezzaf et al, Modeling inventory routing problems in supply chains of high consumption products, European Journal of Operation Research, Vol.169, pp.1048-1063, 2006.

[7] F., Al-Khayyal, S.J., Hwang, Inventory constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and model, European Journal of Operation Research, Vol.176, pp.106-130, 2007.

[8] M., Christiansen, B., Nygreen, Modeling path flows for a combined ship routing and inventory management problem, Annals of Operations Research, Vol.82, pp.391-412, 1998.

[9] N., Siswanto et al, Solving the ship inventory routing and scheduling problem with undedicated compartments, Computer and Industrial Engineering, Vol.61, pp.289-299, 2011.