การจัดเส้นทางการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้าและรถหลายขนาดด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง : กรณีศึกษาบริษัทขนส่งเครื่องดื่ม

อกนิษฐ์ สันธินาค[1] และ ศิรวดี อรัญนารถ[2*]
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

** Corresponding Author: sirawadee@kku.ac.th*
[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
[2] อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 27 สิงหาคม 2561
แก้ไข : 30 เมษายน 2562
ตอบรับ : 3 พฤษภาคม 2562

คำสำคัญ :
ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง / แบ่งส่งสินค้า / รถขนส่งหลายขนาด / วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ประกอบการขนส่งต้องเผชิญกับการแข่งขันที่สูงขึ้นเนื่องจากธุรกิจด้านโลจิสติกส์มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกลยุทธ์ต่างๆเพื่อลดต้นทุนให้ต่ำลง ซึ่งการลดต้นทุนด้านการขนส่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ประกอบการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้ การศึกษานี้เสนอการจัดเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งมีรถขนส่งบรรทุกสินค้าหลายขนาดและปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าบางรายมีมากกว่าความสามารถบรรทุกสินค้าของรถขนาดใหญ่สุด ทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าได้ครบด้วยรถบรรทุกเพียงคันเดียว จึงต้องแบ่งส่งสินค้าให้ลูกค้าด้วยรถขนส่งมากกว่าหนึ่งคัน ปัญหานี้เรียกได้ว่าเป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้าและรถขนส่งมีหลายขนาด ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน การลดต้นทุนการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษากระทำโดยการหาคำตอบจากตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จาก Baron Solver ด้วยวิธี Branch-and-reduce เปรียบเทียบกับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบแบบเมตะฮิวริสติกส์ โดยทดลองกับขนาดปัญหาที่บริษัทกรณีศึกษาพบในปัจจุบัน ผลจากการจัดเส้นทางที่ได้สามารถลดต้นทุนการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาลงจากเดิมร้อยละ 11.01 และ 10.66 ตามลำดับ จึงถือเป็นวิธีที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการขนส่งได้

Vehicle Routing Problem with Split Delivery and Heterogeneous Fleet Using Differential Evolution Method: A Case Study of Beverage Logistics Company

Aganis Suntinac[1] and Sirawadee Arunyanart[2*]

Khon Kaen University, Nai-Muang, Muang District, Khon Kaen 40002

* *Corresponding Author: sirawadee@kku.ac.th*

[1] *Graduate Student, Industrial and Logistics Engineering Management Program, Faculty of Engineering.*

[2] *Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.*

Article Info

Article History:
Received: August 27, 2018
Revised: April 30, 2019
Accepted: May 3, 2019

Keywords:
Vehicle Routing Problem /
Split Delivery /
Heterogeneous Fleet /
Differential Evolution

Abstract

In recent years, logistics companies have been facing high competition due to progressive growth of the logistics business. Therefore, strategies need to be developed in order to reduce logistics costs. The reduction of transportation cost is one of the key factors to increase company's competitiveness. This paper reports the examination of a vehicle routing problem of a company, which has heterogeneous fleet and demand of some customers exceeding the capacity of the largest truck. This so-called vehicle routing problem with split delivery and heterogeneous fleet (VRPSDHF) is considered a complex problem. Minimization of the transportation cost of the studied company was conducted by applying the Branch-and-reduce method; the results were compared with those of the differential evolution (DE) method, which is one of the meta-heuristic algorithms. The results showed that the tested methods can reduce the transportation cost of the company by 11.01% and 10.66%, respectively. Both methods are therefore considered the efficiency methods for transportation planning.

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้ประกอบการขนส่งต้องเผชิญกับการแข่งขันที่สูง อันเนื่องมาจากการเติบโตของธุรกิจด้านโลจิสติกส์ หนึ่งในสิ่งสำคัญในการนำองค์กรไปสู่การแข่งขันได้คือการลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ จากรายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยปี 2559 ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของต้นทุนด้านโลจิสติกส์ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนคลังสินค้า และต้นทุนการดำเนินงาน โดยต้นทุนด้านการขนส่งมีสัดส่วนสูงสุดคือร้อยละ 53.5 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด [1] ดังนั้น หากสามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ จะเป็นการช่วยสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจขององค์กร ซึ่งการจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพเป็นหนึ่งในกลยุทธ์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อลดต้นทุนการขนส่งของยานพาหนะให้ส่งมอบสินค้าแก่ลูกค้าได้ตามกำหนดด้วยต้นทุนการขนส่งที่เหมาะสม

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ให้บริการโลจิสติกส์เกี่ยวกับการจัดเก็บและกระจายสินค้าประเภทเครื่องดื่มให้กับลูกค้ารายต่างๆซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่ายสินค้า บริษัทมีรถบรรทุกขนส่งหลายขนาดซึ่งสามารถบรรจุสินค้าได้ในปริมาณที่ต่างกัน ในแต่ละวันรถขนส่งจะทำหน้าที่ส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆตามปริมาณความต้องการรายวันของลูกค้าโดยมีเจ้าหน้าที่เป็นผู้จัดเส้นทางการขนส่งให้แก่รถบรรทุกสินค้าคันต่างๆ จากแนวโน้มที่ลูกค้ามีความต้องการสินค้าในปริมาณที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความต้องการของลูกค้าบางรายมีมากเกินกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งเพียงหนึ่งคัน จึงจำเป็นต้องแยกส่งสินค้าให้ลูกค้ารายนั้น สำหรับงานวิจัยทางด้านโลจิสติกส์ ปัญหาดังกล่าวเรียกได้ว่าเป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้าและรถขนส่งมีหลายขนาด (Vehicle Routing Problem with Split Delivery and Heterogeneous Fleet: VRPSDHF) ซึ่งถือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน จึงต้องมีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการแก้ปัญหานี้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนากลยุทธ์ในการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อลดต้นทุนการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีรถขนส่งหลายประเภท โดยแต่ละประเภทมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่แตกต่างกัน (Heterogeneous Fleet Vehicles) และสามารถแยกส่งสินค้าให้ลูกค้าได้เมื่อความต้องการสินค้าของลูกค้ามีมากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันหนึ่งๆ (Split Demand Delivery) โดยงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการนำเสนอตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของปัญหาและแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดต่างๆที่ถูกกำหนดขึ้น จากนั้นจึงพัฒนาวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) ซึ่งเป็นวิธีทางเมตะฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับปัญหานี้ที่เป็น Mixed-Integer Nonlinear Programing (MINLP)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ได้รับความสนใจและมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน ทั้งยังมีการขยายขอบเขตการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยได้มีการเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดจากปัญหา VRP แบบดั้งเดิมเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในภาคอุตสาหกรรม เช่น Solomon [2] ได้เสนอปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า (Time Windows) Nagy และ Salhi [3] จัดเส้นทางการขนส่งที่มีการรับและส่งสินค้าในเวลาเดียวกัน กรณีมีจุดเริ่มต้นทั้งแบบเดียวและแบบหลายจุด (Single and Multiple Depot with Pickups and Deliveries) Nueangnitnaraporn และ Karoonsoontawong [4] จัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยกรอบเวลาในการรับส่งสินค้าเป็นแบบไม่เคร่งครัดและมีการใช้พาหนะหลายเที่ยว (Soft Time Windows and Multiple Use of Vehicles) นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆอีกมากมาย เช่น ความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน (Stochastic Demand) [5] การวางแผนการเดินทางแบบหลายคาบเวลา (Multi Period) [6] ซึ่งเงื่อนไขที่เพิ่มเข้ามาในปัญหา VRP นั้นมีผลให้ปัญหาการตัดสินใจมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จึงทำให้มีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจในการพัฒนาวิธีการเพื่อแก้ปัญหา

จากสภาพธุรกิจปัจจุบันของบางกิจการที่ลูกค้ามีความต้องการสินค้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องพิจารณาถึงการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้า ซึ่งถือเป็นอีกเงื่อนไขที่เพิ่มเข้ามาในปัญหา VRP

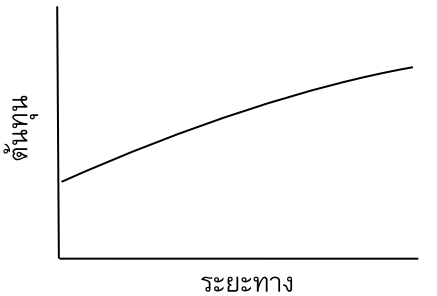
ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้า เช่น Archetti และคณะ [7, 8] เสนอวิธีการแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut) และวิธีการแตกกิ่งพิจารณาค่าตัวแปรและตัด (Branch-Price and Cut) โดยแบ่งส่งสินค้ากรณีเมื่อลูกค้ามีความต้องการสินค้าหลายชนิด Silva และคณะ [9] ประยุกต์วิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search: ILS) และ Wilck IV และ Cavalier [10] ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ในการแก้ปัญหา Bolduc และคณะ [11] ลดต้นทุนการขนส่งและจัดเก็บสินค้าคงคลังโดยรวมโดยใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search: TS) Waehayee [12] จัดเส้นทางการขนส่งของบริษัทขนส่งน้ำผลไม้โดยใช้วิธีแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward Insertion Heuristics) แบบแทรกใกล้สุด (Nearest Insertion)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยด้านการจัดเส้นทางการขนส่งโดยพิจารณาการแบ่งส่งสินค้าและรถหลายขนาดยังมีไม่มากนัก Belfiore และ Yoshizaki [13] จัดเส้นทางเดินรถแบบแบ่งส่งสินค้าและมีรถหลายขนาดให้กับบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศบราซิลโดยใช้วิธีสืบค้นแบบกระจาย (Scatter Search) โดยวิธีสืบค้นแบบกระจายสามารถทำการค้นหาสมาชิกคำตอบแบบหลายจุดได้พร้อมกัน ซึ่งทำให้เกิดคำตอบที่เป็นไปได้ Moshref-Javadi และ Lee [14] ผสมผสานวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) กับการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search) ในการกระจายสินค้าโภคภัณฑ์หลายประเภทด้วยยานพาหนะหลายประเภท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลารอคอยของลูกค้า ซึ่งวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนมีความยืดหยุ่นและทนทานในการค้นหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง สามารถใช้งานกับปัญหาที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง แต่จะต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบค่อนข้างมากหากต้องการคุณภาพของคำตอบที่ดี Mungwattana และ Manisri [15] ประยุกต์ขั้นตอนการหาผลเฉลยโดยใช้วิธีการค้นหาแบบทาบูกับกรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่มและบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร ซึ่งวิธีทาบูสามารถยอมรับคำตอบที่ยังไม่มีการพัฒนา เหมาะกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน แต่มีจำนวนรอบที่ใช้ในการหาคำตอบมาก

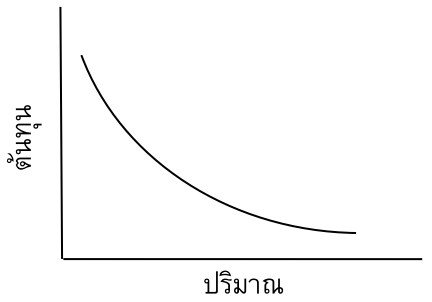
สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การแบ่งประเภทของปัญหาที่นำเสนอโดย Toth และ Vigo [16] ที่ได้ทำการแบ่งประเภทของปัญหาโดยใช้หลักเกณฑ์ 6 แบบคือ การสร้างเส้นทาง ชนิดของรูปแบบการขนส่ง การปรับข้อจำกัดภายใน ลักษณะของยานพาหนะ สมการเป้าหมาย และขอบเขตขยายอื่นๆ ซึ่งงานวิจัยนี้มีลักษณะตามประเภทดังกล่าวคือ รูปแบบการขนส่งเป็นแบบแบ่งส่งสินค้าและลักษณะของยานพาหนะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้สมการข้อจำกัดด้านการแบ่งส่งสินค้าของ Dror และคณะ [17] ที่ได้นำเสนอสมการ $\sum x_{ij}^{k} \geq 1$ โดยที่ x_{ij}^{k} เป็นตัวแปรการตัดสินใจแบบ binary โดยใช้รถคันที่ k จากจุด i ไปจุด j ซึ่งเป็นการทำให้ลูกค้าสามารถรับสินค้าจากรถบรรทุกมากกว่าหนึ่งคันได้

2.2 ต้นทุนการขนส่ง

ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าในปัจจุบันบริษัทไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนในการขนส่งสินค้าเที่ยวเปล่า หมายความว่าเมื่อรถบรรทุกแต่ละคันได้ส่งสินค้าให้ลูกค้าแล้วจะวิ่งกลับคลังสินค้าโดยไม่มีการบรรทุกสินค้าใดๆ การบรรทุกเที่ยวเปล่านี้ควรนำมาคิดเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการขนส่งตามที่ Bowersox และ Closs [18] ได้นำเสนอมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์ของการขนส่ง คือ ระยะทาง ปริมาณ ความหนาแน่น และการจัดเก็บ รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่อเที่ยว ระยะทางการขนส่งที่ไกลขึ้น จะมีผลทำให้ต้นทุนสูงขึ้นตามลำดับ ในทางกลับกัน ปริมาณการขนส่งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นทุนการขนส่งเฉลี่ยต่อเที่ยวต่อพาเลทต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและต้นทุน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและต้นทุน

2.3 ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นตัวแทนของปัญหาซึ่งต้องมีการกำหนดข้อจำกัดต่างๆ ของปัญหา ในปัจจุบันมีการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่หลากหลายโดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง Pitakaso [19] ได้นำเสนอตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้โปรแกรม LINGO ซึ่งเป็นตัวแบบขั้นพื้นฐานของการพัฒนาตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามลักษณะของปัญหาอื่น Maheo และคณะ [20] ได้เสนอการใช้สมการขอบข่ายที่กำจัดทัวร์ย่อยของปัญหาแบบแบ่งส่งสินค้าโดยใช้การไหลของสินค้าแทนการนับจำนวนเมืองและมียานพาหนะที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีดังนี้

$$\sum_{j=1}^{N}\left(f_{kcji-}f_{kcij}\right)=y_{kic} \quad \forall k,\forall i,\forall c \qquad (1)$$

$$\sum_{c=1}^{C} f_{kcij}=x_{kij}\,cap_k \quad \forall k,\forall i,\forall j \qquad (2)$$

เมื่อ f = ปริมาณสินค้าที่บรรทุกบนรถ v
i = ตำแหน่งของจุด i
j = ตำแหน่งของจุด j
c = ชนิดสินค้า
k = รถบรรทุกคันที่ k
X = ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกเส้นทาง มีค่า [0,1]
Y = จำนวนสินค้าที่ถูกส่งไปยังลูกค้า i ด้วยรถ k

สมการที่ (1) เป็นจำนวนของสินค้าที่บริการลูกค้า i โดยรถ k และจำนวนสินค้าที่อยู่บนรถ k หลังจากให้บริการแล้ว สมการที่ (2) เป็นการจำกัดการบรรทุกสินค้าที่ใช้ในเส้นทางนั้นต้องไม่เกินปริมาณความจุของรถ

2.4 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและต้องใช้เวลานานในการแก้ปัญหา ซึ่งขัดกับการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันที่ต้องการความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุนในการดำเนินงานและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า การแก้ปัญหาโดยการหาผลเฉลยที่เป็นคำตอบจากวิธีการแม่นตรง (Exact Method) เช่น วิธีการตัดแบบระนาบ (Cutting Plane) วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) อาจไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบันเนื่องจากต้องใช้เวลานานในการแก้ปัญหา นักวิจัยจึงได้มีการพัฒนาวิธีการเมตะฮิวริสติกส์ซึ่งใช้เวลาสั้นในการคำนวณหาคำตอบ โดยคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่เป็นค่าที่ดีและสามารถยอมรับได้

วิธีเมตะฮิวริสติกส์เป็นที่นิยมและได้ถูกนำมาใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น Gendreau และคณะ [21] ได้ใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการบรรทุกและระยะทางในการขนส่ง Mazzeo และ Loiseau [22] ใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony) จัดเส้นทางการเดินรถเมื่อความสามารถบรรทุกเท่ากันทุกคันและความต้องการของลูกค้าน้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถ Baker และ Ayechew [23] ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการจัดเส้นทางการขนส่งเมื่อยานพาหนะมีข้อจำกัดด้านน้ำหนักบรรทุกและระยะทางการขนส่ง และลูกค้าแต่ละรายรับสินค้าจากยานพาหนะได้เพียงคันเดียว Kuo [24] ใช้วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) ในการจัดเส้นทางการเดินรถที่เวลาในการเดินทางขึ้นอยู่กับความเร็ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงโดยรวมต่ำสุด

นอกจากวิธีเมตะฮิวริสติกส์ที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีเมตะฮิวริสติกส์ที่ได้รับการยอมรับว่านำมาใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย Price และคณะ

[25] ได้อธิบายกระบวนการหาคำตอบของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างไว้ดังนี้

(1) กำหนดจำนวนประชากรและลักษณะประชากร

(2) สร้างเวกเตอร์ประชากรเริ่มต้นหรือเวกเตอร์เป้าหมายตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

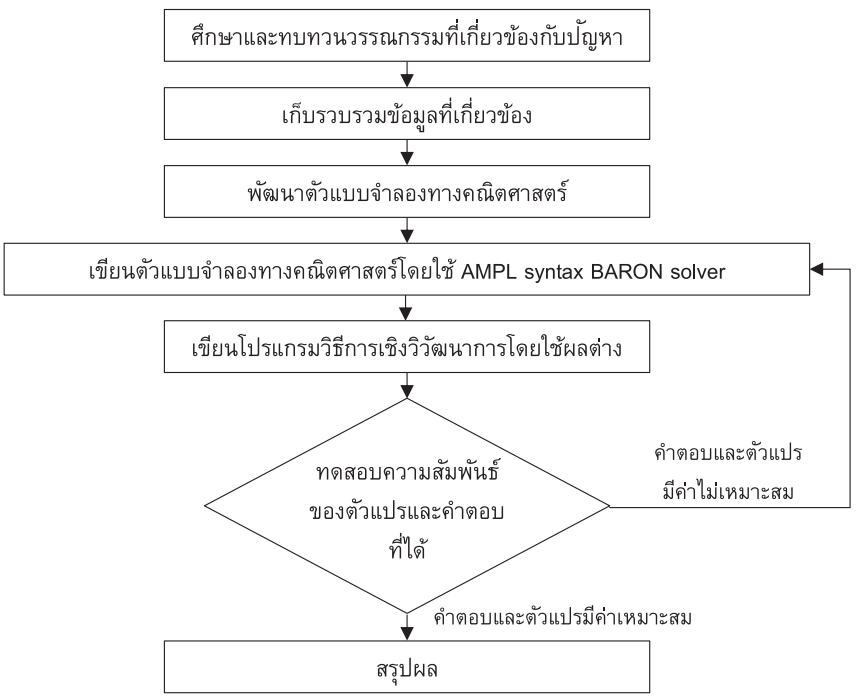
(3) สร้างเวกเตอร์กลายพันธุ์โดยมีพารามิเตอร์ (Factor, F) มีค่าเป็นจำนวนจริงทำหน้าที่ควบคุมเปลี่ยนแปลงค่าในพิกัดของเวกเตอร์ประชากรเริ่มต้น

(4) สร้างเวกเตอร์จำลองโดยมีพารามิเตอร์ค่าการข้ามสายพันธุ์ (Cross over rate, CR) เป็นตัวกำหนดการข้ามพันธุ์ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งหากค่าสุ่มตำแหน่งในพิกัดของตารางมีค่ามากกว่าค่า CR จะทำการเปลี่ยนค่าตำแหน่งในพิกัดนั้นเป็นค่าของเวกเตอร์ข้ามสายพันธุ์

(5) ทำการคัดเลือกเวกเตอร์เพื่อเป็นประชากรในรุ่นถัดไป โดยเปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายกับเวกเตอร์จำลอง หากเวกเตอร์ใดให้ค่าที่ดีกว่าก็จะเลือกเวกเตอร์นั้นเป็นประชากรในรุ่นถัดไป

จากกระบวนการหาคำตอบของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าเป็นวิธีที่มีอัลกอริทึมไม่ซับซ้อน สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง อย่างไรก็ตามวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นวิธีที่ค่อนข้างใหม่และถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยังไม่มากนัก ในปี 2009 Erbao และ Mingyong [26] ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเมื่อความต้องการสินค้ามีความคลุมเครือ และในปีถัดมาพวกเขาได้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลากรณีมีการส่งมอบและเก็บสินค้าเกิดขึ้นพร้อมกัน [27] Xu และ Wen [28] แก้ปัญหาการกระจายสินค้าเพื่อให้ระยะทางรวมสั้นที่สุด โดยยานพาหนะมีข้อจำกัดด้านความจุและระยะทางเดินรถ Sethanan และ Pitakaso [29] กำหนดเส้นทางการเก็บน้ำนมดิบจากศูนย์เก็บรวบรวมไปยังโรงงานผลิตนม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมซึ่งประกอบด้วยต้นทุนเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อถังนมดิบในยานพาหนะ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ยังไม่พบงานวิจัยที่นำวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างไปใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบแบ่งสินค้าและรถหลายขนาด



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานโดยสังเขปดังแสดงในรูปที่ 3

3.1 การสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษากระบวนการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาและทบทวนวรรณกรรม สามารถสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ดัชนี

i = คลังสินค้าหรือลูกค้ารายที่ i; i = 1, 2, 3,..., N; 1 คือ คลังสินค้า

j = คลังสินค้าหรือลูกค้ารายที่ j; j = 1, 2, 3,..., N; 1 คือ คลังสินค้า

p = คลังสินค้าหรือลูกค้ารายที่ p; p = 1, 2, 3,..., N; 1 คือ คลังสินค้า

k = รถบรรทุกคันที่ k; k = 1, 2, 3,..., K

N = จำนวนลูกค้าทั้งหมดรวมถึงคลังสินค้า

K = จำนวนรถบรรทุกที่ใช้งานทั้งหมด

พารามิเตอร์

TC_k = ต้นทุนการขนส่งของรถคันที่ k ต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร มีหน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร

ds_{ij} = ระยะทางระหว่างเมือง i และเมือง j โดยใช้ระยะทางจริงที่ได้จาก google maps มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

dm_i = ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า i มีหน่วยเป็นพาเลท

CAP_k = ความสามารถในการบรรทุกของรถคันที่ k มีหน่วยเป็นพาเลท

OC_k = ต้นทุนการบรรทุกเปล่าของรถคันที่ k มีหน่วยเป็นบาทต่อพาเลท-กิโลเมตร

ตัวแปรการตัดสินใจ

$$X_{kij} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้ารถคันที่ } k \text{ เดินทางจากเมือง } i \text{ ไปยังเมือง } j \\ 0 \text{ กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

Y_{ki} = ปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า i โดยรถบรรทุกคันที่ k มีหน่วยเป็นพาเลท

F_{kij} = ปริมาณสินค้าที่บรรทุกโดยรถคันที่ k จากจุด i ไปยังจุด j มีหน่วยเป็นพาเลท

สมการเป้าหมาย

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} X_{kij}\, ds_{ij} TC_k + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}(CAP_k - F_{kij})\, X_{kij} OC_k\, ds_{ij} \quad (3)$$

สมการขอบข่าย

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{N} X_{kij} \geq 1 \qquad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{kip} - \sum_{j=1}^{N} X_{kpj} = 0 \qquad \forall k, \forall p \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_{ki} = dm_i \qquad \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} Y_{ki} \leq CAP_k \qquad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{N}(F_{kji} - F_{kij}) = Y_{ki} \qquad \forall k, \forall i; i > 1 \quad (8)$$

$$F_{kij} \leq X_{kij}\, CAP_k \qquad \forall k, \forall i, \forall j\ ; i \neq j \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{N}(F_{kji} - F_{kij}) > 0 \qquad \forall k, \forall i; i > 1 \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{kij} \leq 1 \qquad \forall k, \forall i; i > 1 \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{kji} \leq 1 \qquad \forall k, \forall i; i > 1 \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{k1j} \leq 1 \qquad \forall k \quad (13)$$

$$\sum_{j=2}^{N} F_{k1j} \leq CAP_k \qquad \forall k, j > 1 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{kij} \leq Y_{kj} \qquad \forall k, \forall j; j > 1 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{N} F_{ki1} = 0 \qquad \forall k \quad (16)$$

$$X_{kij} \in \{0,1\} \qquad \forall k, \forall i, \forall j \quad (17)$$

สมการที่ (3) เป็นสมการเป้าหมายเพื่อหาต้นทุนต่ำสุดในการขนส่งโดยคิดจากต้นทุนสองส่วนคือส่วนแรกเป็นต้นทุนในการขนส่งแปรตรงกับระยะทางคูณกับต้นทุนต่อกิโลเมตรซึ่งประกอบไปด้วยค่าน้ำมัน ค่าเสื่อมราคาและค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงาน ส่วนที่สองคือต้นทุนบรรทุกเปล่าซึ่งแปรตรงกับจำนวนพาเลทเปล่าและระยะทาง สมการที่ (4) ถึง (17) เป็นข้อจำกัด โดยสมการที่ (4) กำหนดให้ลูกค้าหรือคลังสินค้าถูกรถบรรทุกผ่านอย่างน้อย 1 ครั้ง สมการที่ (5) กำหนดให้ทุกจุดของ N เชื่อมต่อกันหรือกล่าวคือหากมีรถบรรทุกเข้าที่จุด p แล้ว ต้องออกจากจุด p ด้วย ยกเว้นจำนวนสินค้าที่บรรทุกบนรถหมดแล้วจะทำการเข้าสู่คลังสินค้าโดยไม่ออกจากคลังสินค้าอีก สมการที่ (6) กำหนดให้รถทุกคันส่งสินค้าให้ลูกค้า i เท่ากับปริมาณความต้องการของ

ลูกค้า i สมการที่ (7) กำหนดให้ปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า i โดยรถคันที่ k จะไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถคันที่ k สมการที่ (8) กำหนดให้ปริมาณสินค้าที่อยู่บนรถบรรทุกคันที่ k ออกจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j ด้วยปริมาณสินค้าที่บรรทุกมาก่อนจะเข้าลูกค้า i ลบด้วยปริมาณที่ส่งให้ลูกค้า i ซึ่งเป็นสมการกำจัดทัวร์ย่อย สมการที่ (9) เป็นสมการกำจัดทัวร์ย่อยที่กำหนดให้ปริมาณการบรรทุกสินค้าจากจุด i ไป j ไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ สมการที่ (10) กำหนดว่าเมื่อรถบรรทุกขนสินค้าจากจุด i ไปจุด j ต้องมีการส่งสินค้าในปริมาณที่มากกว่า 0 หรือหากรถบรรทุกผ่านเมืองใดต้องมีการส่งสินค้าด้วยตลอด ยกเว้นคลังสินค้า สมการที่ (11) กำหนดให้รถบรรทุกคันที่ k สามารถเดินทางจากจุด i มาจุด j ได้เพียงครั้งเดียว สมการที่ (12) กำหนดให้รถบรรทุกคันที่ k สามารถเดินทางจากจุด j มาจุด i ได้เพียงครั้งเดียว สมการที่ (13) กำหนดให้รถคันที่ k ออกจากคลังสินค้าได้ไม่เกิน 1 ครั้ง สมการที่ (14) กำหนดให้รถคันที่ k ออกจากคลังสินค้าด้วยปริมาณบรรทุกไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถชนิดนั้น สมการที่ (15) กำหนดให้รถบรรทุกเดินทางไปยังลูกค้าที่ต้องการจะส่งสินค้าเท่านั้น สมการที่ (16) กำหนดให้รถบรรทุกที่เดินทางเข้าคลังสินค้าต้องไม่มีสินค้าอยู่บนรถ สมการที่ (17) กำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจ X_{kij} เป็นแบบ Binary

เมื่อได้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการหาคำตอบด้วย BARON solver เนื่องจากรูปแบบของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแบบ Mixed-Integer Nonlinear Programing (MINLP) ซึ่ง solver ดังกล่าวสามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธี Branch-and-reduce

3.2 การหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

หลังจากที่ได้เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างซึ่งมีรหัสเทียม (Pseudocode) ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยในเริ่มแรกของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นต้องสร้างประชากรเริ่มต้นให้มีมิติเท่ากับ D และคำตอบที่เป็นไปได้หรือเวกเตอร์เท่ากับ NP โดยในปัญหาของบริษัทกรณีศึกษานี้จะกำหนดให้ประชากรเริ่มต้นมีมิติเท่ากับจำนวนลูกค้าบวกกับจำนวนรถบรรทุกที่ใช้งาน โดยแต่ละเวกเตอร์จะสร้างแบ่งระหว่างลูกค้าและรถบรรทุกค่าในพิกัดอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.99 และจำนวนเวกเตอร์เท่ากับ (จำนวนลูกค้า + จำนวนรถที่ใช้งาน)/2 ดังแสดงในรูปที่ 5

เมื่อทำการสร้างประชากรเริ่มต้นเสร็จสิ้นแล้วจึงทำการสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์และครอสโอเวอร์ตามขั้นตอนของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จากนั้นจึงทำการเข้ารหัสและถอดรหัสตามเงื่อนไขดังแสดงในรูปที่ 6

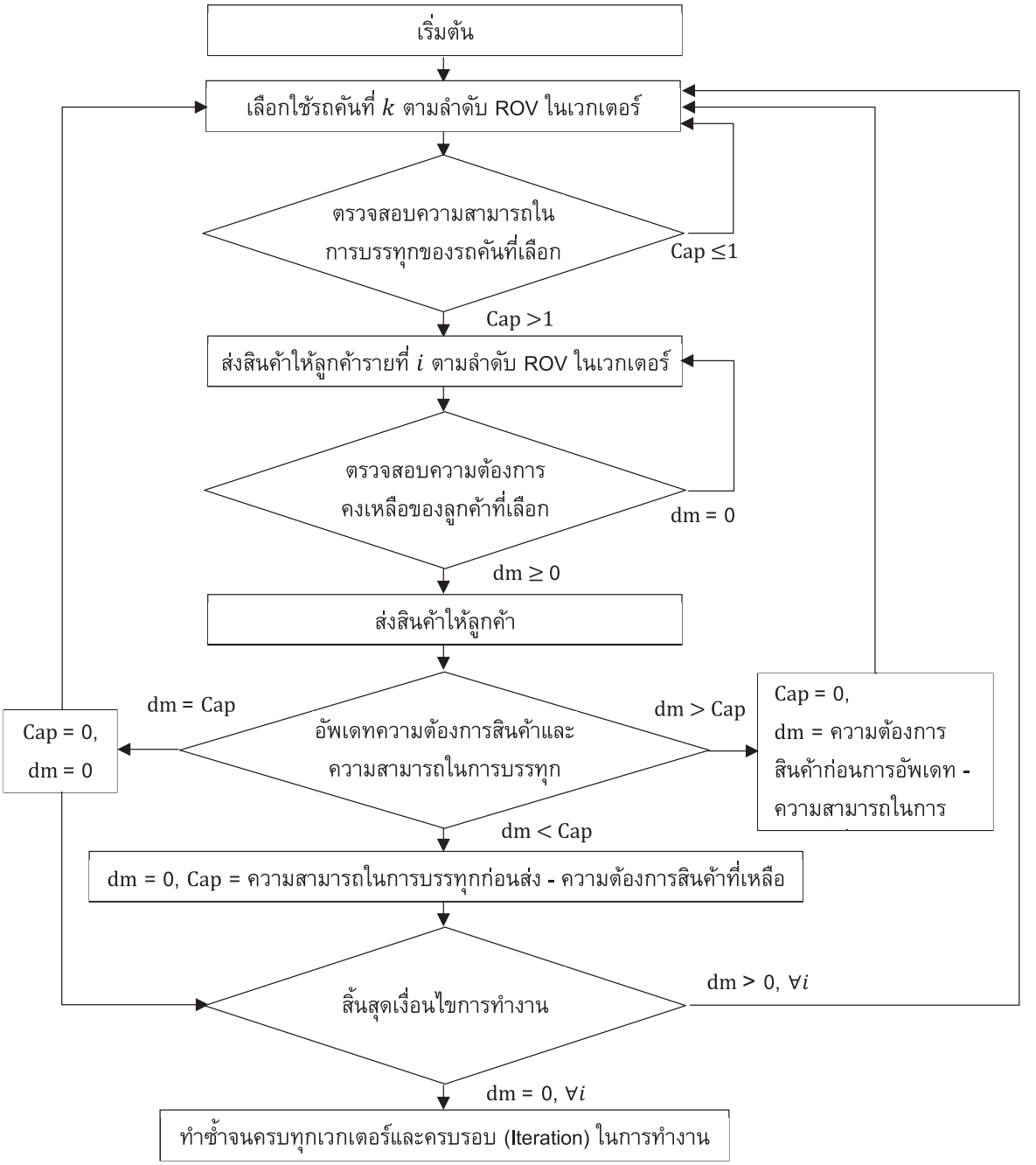
Start

Set control parameter CR = 0.8 , F =2 , V =5
and NP = number of trucks + number of customers
G=0, Generate population $X_{i,G}$ $\forall i, i = 1 \ldots\ldots V$, dimension each i = NP
$V_{i,G}$= mutant vectors
$U_{i,G}$ = Trial vectors
While not met termination criterion (2000 loops)
Evaluate fitness function $f(X_{i,G})$ $\forall i, i = 1 \ldots\ldots V$
For $i = 1$ to V
r1,r2,r3 random vectors pick from $X_{i,G}$
$V_{i,G}$ = r1 + F(r2-r3)
For j = 1 to NP
If rand(0,1) $\leq CR$ $U_{ij,G}$ = $X_{ij,G}$
Else $U_{ij,G}$ = $V_{ij,G}$
End
End
End
Evaluate fitness function $f(U_{i,G})$ $\forall i, i = 1 \ldots\ldots V$
For $i = 1$ to V
If $f(X_{i,G})$ better than or equal $f(U_{i,G})$
$X_{i,G+1}$=$X_{i,G}$
else
$X_{i,G+1}$=$U_{i,G}$
End
End
$G = G + 1$
End While
End

รูปที่ 4 รหัสเทียมของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

เวกเตอร์	ลูกค้า 1	ลูกค้า 2	.....	ลูกค้า N	รถ 1	.....	รถ K
1	0.26	0.05	...	0.55	0.16	...	0.13
2	0.65	0.03	...	0.74	0.64	...	0.02
3	0.64	0.21	...	0.47	0.98	...	0.11
.....	...	...	...	...	...	...	...
NP	0.06	065	...	0.79	0.59	0.21	0.60

รูปที่ 5 การสร้างประชากรเริ่มต้น



รูปที่ 6 การเข้ารหัสและถอดรหัส

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

บริษัทกรณีศึกษามีรถบรรทุกขนส่งสินค้า 2 ขนาด จำนวนทั้งหมด 15 คัน โดยแบ่งเป็นรถ 10 ล้อ ประกอบด้วยรถคันที่ 1 ถึง 8 สามารถบรรทุกสินค้าได้ 12 พาเลท และรถ 6 ล้อ ประกอบด้วยรถคันที่ 9 ถึง 15 สามารถบรรทุกสินค้าได้ 8 พาเลท ทำการส่งสินค้าให้ลูกค้า 9 ราย โดยระยะทางในการเดินทางของแต่ละสถานที่เป็นระยะทางจริงที่ได้จาก Google maps ตัวอย่างปริมาณความต้องการสินค้ารายวันของลูกค้าแต่ละรายแสดงในตารางที่ 1 และต้นทุนในการขนส่งแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ปริมาณความต้องการสินค้า (พาเลท)	0	14	6	27	16	20	12	4	8	24

* i = 1 คือคลังสินค้า

ตารางที่ 2 ต้นทุนการขนส่ง

ประเภทต้นทุน	รถ 6 ล้อ	รถ 10 ล้อ
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/กม.)	3.44	6.59
ค่าเสื่อมราคายางรถบรรทุก (บาท/กม.)	0.22	0.48
ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงานขับรถ (บาท/กม.)	1.00	1.20
ต้นทุนการบรรทุกเปล่า (บาท/พาเลท/กม.)	0.58	0.69

4.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์

หลังจากที่ได้ข้อมูลในการทดลองแล้ว ผู้วิจัยได้หาคำตอบจากตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกใช้ AMPL syntax BARON solver ในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบของปัญหานี้ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวใช้วิธี Branch-and-reduce ในการหาคำตอบ โดยประมวลผลบนเซิฟเวอร์ของ neos-servers.org และได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง คอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน i5 gen7th HQ (@2.50GHz) RAM 16GB ประมวลผล 2,000 รอบ พารามิเตอร์ควบคุมของกระบวนการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมี 2 ค่าคือ CR = 0.8 และ F = 2 เส้นทางการขนส่งและการใช้รถบรรทุกที่ได้จาก 2 วิธีได้แสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าลูกค้าบางรายจะถูกส่งสินค้ามากกว่า 1 ครั้ง เนื่องจากปริมาณความต้องการสินค้ามีมากกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถหนึ่งคัน และมีการเลือกใช้รถ 2 ขนาดในการขนส่งเพื่อให้การขนส่งมีต้นทุนต่ำ

ตารางที่ 3 เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

รถบรรทุก (คันที่)	ประเภทรถ	จำนวนสินค้าที่บรรทุกออกจากคลังสินค้า (พาเลท)	ลำดับเส้นทางการขนส่ง	จำนวนสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า (พาเลท)
1	10 ล้อ	12	1 - 2 - 8 - 1	10, 2
2	10 ล้อ	12	1 - 7 - 1	12
3	10 ล้อ	12	1 - 10 - 1	12
4	10 ล้อ	12	1 - 6 - 1	12
5	10 ล้อ	3	1 - 2 - 1	3
7	10 ล้อ	12	1 - 10 -1	12
8	10 ล้อ	12	1 - 4 - 1	12
9	6 ล้อ	8	1 - 4 - 1	8
10	6 ล้อ	8	1 - 3 - 8 - 1	6, 2
11	6 ล้อ	8	1 - 2 - 4 - 1	1, 7
12	6 ล้อ	8	1 - 5 - 1	8
13	6 ล้อ	8	1 - 6 - 1	8
14	6 ล้อ	8	1 - 5 - 1	8
15	6 ล้อ	8	1 - 9 - 1	8

ตารางที่ 4 เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

รถบรรทุก (คันที่)	ประเภทรถ	จำนวนสินค้าที่บรรทุกออกจากคลังสินค้า (พาเลท)	เส้นทางการขนส่ง	จำนวนสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า (พาเลท)
5	10 ล้อ	12	1 - 7 - 1	12
10	6 ล้อ	8	1 - 6 - 1	8
8	10 ล้อ	12	1 - 6 - 1	12
1	10 ล้อ	12	1 - 10 - 1	12
4	10 ล้อ	12	1 - 10 - 1	12
14	6 ล้อ	8	1 - 5 - 1	8
12	6 ล้อ	8	1 - 5 - 1	8
11	6 ล้อ	8	1 - 9 - 1	8
6	10 ล้อ	12	1 - 4 - 1	12
9	6 ล้อ	8	1 - 4 - 1	8
15	6 ล้อ	7	1 - 4 - 1	7
13	6 ล้อ	8	1 - 3 - 8 - 1	6, 2
3	10 ล้อ	12	1 - 8 - 2 - 1	2, 10
2	10 ล้อ	4	1 - 2 - 1	4

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณ

วิธีการจัดเส้นทางขนส่ง	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วินาที)
ปัจจุบัน	14,136	978.00
BARON	12,580	1,716.00
Differential Evolution	12,629	20.32

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการหาคำตอบเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะโดยใช้วิธีที่นำเสนอทั้ง 2 วิธีเปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาที่ใช้เจ้าหน้าที่จัดเส้นทางโดยใช้ประสบการณ์ของตัวเอง จะเห็นได้ว่าทั้งการใช้ BARON solver และวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถลดต้นทุนการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาได้ทั้งสองวิธี โดยสามารถลดต้นทุนได้ร้อยละ 11 และร้อยละ 10.66 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าทั้งสองวิธีสามารถลดต้นทุนได้ใกล้เคียงกัน แต่การใช้ BARON solver ใช้เวลาในการหาคำตอบนานกว่าวิธีปัจจุบันถึงร้อยละ 75.46 ในขณะที่วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถลดเวลาในการจัดเส้นทางการขนส่งได้ร้อยละ 97.92

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยการใช้ BARON solver ด้วยวิธี Branch-and-reduce ให้ต้นทุนในการขนส่งรวมต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก solver สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นแบบ Mixed-Integer Nonlinear Programing ได้ แต่มีข้อด้อยคือจะต้องใช้เวลานานในการหาคำตอบ ส่วนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นให้คำตอบที่ดีกว่าปัจจุบันและใกล้เคียงกับวิธี Branch-and-reduce แต่ใช้เวลาน้อยกว่ามาก ซึ่งเหมาะสำหรับการวางแผนระยะสั้นและมีความแปรปรวนของข้อมูลเช่น พนักงานขับรถบรรทุกไม่มาทำงานหรือลูกค้าสั่งสินค้าเพิ่มหลังจากวางแผนจัดส่งสินค้าไปแล้ว จึงเหมาะสำหรับบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบันและรองรับการเติบโตของธุรกิจที่มีจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้นและสั่งสินค้าเพิ่มมากขึ้นด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

1. Office of The National Economic and Social Development Board, 2016, Thailand's Logistics Report 2016. (In Thai)

2. Solomon, M.R., 1983, "The Role of Products as Social Stimuli: A Symbolic Interactionist Perspective," *Journal of Consumer Research*, 10, pp. 319-329.

3. Nagy, G. and Salhi, S., 2005, "Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries," *European Journal of Operational Research*, 162, pp. 126-141.

4. Nueangnitnaraporn, W. and Karoonsoontawong, A., 2018, "A Construction Heuristic Method for Time Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows and Multiple Use of Vehicles," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (1), pp. 63-81. (In Thai)

5. Dror, M., Laporte, G. and Trudeau, P., 1989, "Vehicle Routing with Stochastic Demands: Properties and Solution Frameworks," *Transportation Science,* 23 (3), pp. 151-229.

6. Wen, M., Cordeau, J.F., Laporte, G. and Larsen, J., 2010, "The Dynamic Multi-period Vehicle Routing Problem," *Computers and Operations Research*, 37 (9), pp. 1615-1623.

7. Archetti, C., Bianchessi, N. and Speranza, M.G., 2014, "Branch-and-cut Algorithms for the Split Delivery

Vehicle Routing Problem," *European Journal of Operational Research*, 238, pp. 685-698.

8. Archetti, C., Bianchessi, N. and Speranza, M.G., 2015, "A Branch-price-and-cut Algorithms for the Commodity Constrained Split Delivery Vehicle Routing Problem," *Computers and Operations Research*, 64, pp. 1-10.

9. Silva, M.M., Subramanian, A. and Ochi, L.S., 2015, "An Iterated Local Search Heuristic for the Split Delivery Vehicle Routing Problem," *Computers and Operations Research*, 53, pp. 234-249.

10. Wilck IV, J.H. and Cavalier, T.M., 2012, "A Genetic Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem," *American Journal of Operations Research*, 2, pp. 207-216.

11. Bolduc, M.C., Laporte, G., Renaud, J. and Boctor, F.F., 2010, "A Tabu Search Heuristic for the Split Delivery Vehicle Routing Problem with Production and Demand Calendars," *European Journal of Operational Research*, 202, pp. 122-130.

12. Waehayee, R., 2014, Algorithm for Vehicle Routing Problem with Split Demand Delivery Case Study: Fruit Juice Beverage Factory, Master of Science Thesis, Agro-Industry Technology Management, Prince of Songkla University. (In Thai)

13. Belfiore, P. and Yoshizaki, H.T.Y., 2009, "Scatter Search for a Real-Life Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries in Brazil," *European Journal of Operational Research*, 199, pp. 750-758.

14. Moshref-Javadi, M. and Lee, S., 2016, "The Customer-Centric, Multi-Commodity Vehicle Routing Problem with Split Delivery," *Expert Systems with Applications*, 56, pp. 335-348.

15. Mungwattana, A. and Manisri, T., 2012, "Meta-Heuristic Algorithms Comparison for Heterogeneous Fleet and Split Delivery of Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2012*, Cha-am, Thailand, pp. 121-127. (In Thai)

16. Toth, P. and Vigo, D., 2002, The Vehicle Routing Problem, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

17. Dror, M., Laporte, G. and Trudeau, P., 1994, "Vehicle Routing with Split Deliveries," *Discrete Applied Mathematics*, 50, pp. 239-254.

18. Bowersox, D.J. and Closs, D.J., 1996, Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process, McGraw-Hill, Singapore, pp. 470-479.

19. Pitakaso, R., 2011, Metaheuristics for Production Planning and Logistics Management, Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (In Thai)

20. Maheo, A., Urli, T. and Kilby, P., 2016, "Fleet Size and Mix Split-Delivery Vehicle Routing: A Study of MIP Formulations with CP Integration," *EURO Journal on Transportation and Logistics Manuscript*.

21. Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G., 1994, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem," *Management Science*, 40 (10), pp. 1276-1290.

22. Mazzeo, S. and Loiseau, I., 2004, "An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing," *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, pp. 181-186.

23. Baker, B.M. and Ayechew, M.A., 2003, "A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem," *Computer and Operation Research*, 30 (5), pp. 787-800.

24. Kuo, Y., 2010, "Using Simulated Annealing to Minimize Fuel Consumption for the Time-Dependent Vehicle Routing Problem," *Computer and Industrial Engineering*, 59, pp. 157-165.

25. Price, K., Storn, R.M. and Lampinen, J.A., 2005, Differential Evolution - A Practical Approach to Global Optimization, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

26. Erbao, C. and Mingyong, L., 2009, "A Hybrid Differential Evolution Algorithm to Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 231, pp. 302-310.

27. Mingyong, L. and Erbao, C., 2010, "An Improved Differential Evolution Algorithm for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickups and Deliveries and Time Windows," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, pp. 188-195.

28. Xu, H. and Wen, J., 2012, "Differential Evolution Algorithm for the Optimization of the Vehicle Routing Problem in Logistics," *Proceedings of the 8th International Conference on Computational Intelligence and Security*, Guangzhou, China, pp. 48-51.

29. Sethanan, K. and Pitakaso, R., 2016, "Differential Evolution Algorithms for Scheduling Raw Milk Transportation," *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, pp. 245-259.