การประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและความต้องการที่หลากหลาย

Differential Evolution Optimization Applied to the Vehicle Routing with Time Windows and Multiple Demands

พรรัตน์ ธำรงวุฒิ[1], ฐิติพงศ์ จำรัส[1*], ณัฐสุพร ชิ้นสุวรรณ[1], ศุภนิดา จิตจักร[1] และศิรินทร์ บุญสุชาติ[1]
Pornrat Thumrongvut[1], Thitipong Jamrus[1*], Nutsuporn Chinsuwan[1], Suphanida Jitjakr[1] and Sirin Boonsuchat[1]

Received: July 13, 2019; Revised: September 9, 2019; Accepted: September 9, 2019

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณหาคำตอบและสอดคล้องกับสภาพปัญหาที่แท้จริงที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การจัดเส้นทางการเดินรถให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ ต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงและต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะไม่เต็มประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขของกรอบเวลาที่กำหนดและความต้องการของลูกค้าที่ไม่เท่ากัน กระบวนการแก้ปัญหาเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของกรณีศึกษา และทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาแบบเมตะฮิวริสติกส์ที่สามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว ผลการวิจัยสรุปได้ว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างให้ค่าของต้นทุนโดยรวมสูงกว่าคำตอบจากการทดสอบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ใช้เวลาในการประมวลผลรวดเร็วโดยคำตอบที่ได้มีความใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด จากผลการคำนวณพบว่าการใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างได้คำตอบที่ให้ต้นทุนโดยรวมสูงกว่าประมาณ 0.8 % แต่สามารถประหยัดเวลาได้ถึง 12 %

คำสำคัญ : การจัดเส้นทางการขนส่ง; เมตะฮิวริสติกส์; วิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง; กรอบเวลาแบบเคร่งครัด

[1] *กลุ่มวิจัยการพัฒนาโมเดลเชิงระบบสำหรับอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[1] *Research Unit on System Modeling for Industry, Faculty of Engineering, Khon Kaen University*
[*] *Corresponding Author E - mail Address: thitja@kku.ac.th*

Abstract

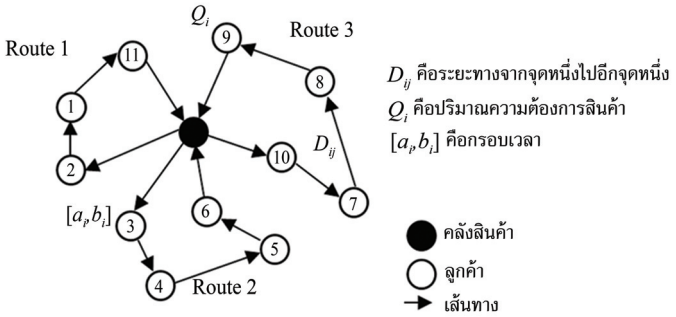
Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) is classified as a non-polynomial hard problem (NP-Hard Problem), that is difficult to be solved and according to real-world regularities on the various industries. The objective of this research is to minimize the total cost, where the total cost includes fuel costs and idle utilization costs of a vehicle under the hard time windows and multiple demands of customer conditions. The process of solving the case study is as following: firstly, to formulate the mathematical model to represent the case study and then using the LINGO optimization software. After that comparing obtained result to the Differential Evolution (DE), which is metaheuristic algorithms can effectively solve problems and can using with a large number of parameters. From the results, the DE algorithm given higher total cost than that of the mathematical model, however computational time speedy with the solutions that are nearly optimal solutions. The computational result showed that the DE can find 0.8 % higher total cost than that of LINGO but use 12 % less computational time.

Keywords: Vehicle Routing Problem; Metaheuristic; Differential Evolution; Hard Time Windows

บทนำ

ปัญหาการขนส่ง (Transportation Routing Problem) เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญในด้านการจัดการห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่มีการขนย้ายสิ่งของจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายสินค้าหรือข้อมูลจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภค ซึ่งเกิดขึ้นในทุกอุตสาหกรรมโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในด้านต้นทุนการขนส่ง เวลาที่ใช้ และคุณภาพของสินค้า [1] ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 32 จาก 160 ประเทศทั่วโลก [2] จากการประเมินดัชนีวัดประสิทธิภาพระบบโลจิสติกส์ระหว่างประเทศ (International Logistics Performance Index: LPI) ประกอบด้วยสามส่วนคือ ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (Transportation Cost) ต้นทุนการเก็บสินค้าคงคลัง (Inventory Holding Cost) และต้นทุนการบริหารจัดการ (Logistics Administration Cost) ด้วยสัดส่วนต้นทุนที่สูงเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนั้นต้นทุนค่าขนส่งสินค้าจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาและหาแนวทางในการลดต้นทุนดังกล่าวให้ได้ต่ำที่สุด ซึ่งการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไรให้แก่องค์กรนั้น ๆ ได้ และในภาคอุตสาหกรรมล้วนเล็งเห็นถึงความสำคัญ ทำให้มีการหาแนวทางแก้ปัญหาด้วยวิธีต่าง ๆ ตามเงื่อนไขของลักษณะปัญหาที่แตกต่างกันไป เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม (Vehicle Routing Problem with Backhauls: VRPB) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีการรับและส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery: VRPPD) เป็นต้น เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถมีหลากหลายรูปแบบลักษณะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของปัญหานั้น ๆ ทำให้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง

และมีงานวิจัยจำนวนมากที่ถูกนำเสนอโดยมีเป้าหมายแตกต่างกัน เช่น การหาต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด [3] - [5] การหาเส้นทางการขนส่งที่สั้นที่สุด [6] - [8] การหาจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งให้มีจำนวนน้อยที่สุด [8] ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาในการรับส่ง (Vehicle Routing Problem with Time Windows: VRPTW) แสดงดังรูปที่ 1 โดยลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้า Q_i ที่ไม่เท่ากัน (Multiple Demands) ขนส่งสินค้าจากคลังสินค้า (Depot) ด้วยรถบรรทุกที่มีความจุรถจำกัด (Loading Capacity) ไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ ที่อยู่คนละตำแหน่งด้วยระยะทาง D_{ij} เมื่อแล้วเสร็จจึงกลับมาที่คลังสินค้าด้วยกรอบเวลาที่กำหนดระหว่าง $[a_i, b_i]$



รูปที่ 1 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา [9]

ปัญหา VRPTW เป็นปัญหาที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาที่แท้จริงในปัจจุบันที่เกิดขึ้นในองค์กรหรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ กล่าวคือเมื่อมีการจัดเส้นทางการขนส่งโดยพาหนะขนส่งต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเรือ รถ หรือเครื่องบิน เงื่อนไขบังคับที่สำคัญสำหรับการแก้ไขปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีนั้นคือกรอบเวลาในการขนส่งที่จำกัด [10] หากมีการวางแผนเส้นทางไม่ถูกต้อง อาจทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ส่งผลให้ความน่าเชื่อถือและภาพลักษณ์ขององค์กรเสียหาย เช่น ร้านค้าปลีกย่อยแห่งหนึ่งต้องการสินค้าเพื่อนำไปวางจำหน่ายโดยกำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้าจากพาหนะที่จะทำการขนส่ง หากว่าพาหนะดังกล่าวมาก่อนกรอบเวลาที่กำหนดทำให้ต้องมีการรอคอยและเกิดการเสียโอกาส และหากมีการขนส่งหลังกรอบเวลาที่กำหนด อาจทำให้ลูกค้าไม่มีสินค้าในการจำหน่าย ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะนำมาสู่ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อ ๆ ไป ปัญหา VRTW ถูกนำเสนอด้วยนักวิจัยหลายท่าน เช่น [11] ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยข้อจำกัดด้านเวลาไม่เคร่งครัด (Soft Time Window) และข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Hard Time Window) ด้วยวิธีการปรับปรุงคำตอบแบบวนซ้ำ (Iterative Route Construction and Improvement Algorithm) ต่อมา [12] ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบการแทรก (Insertion Heuristic) สำหรับการจัดเส้นทางการเดินรถเที่ยวเดียวและใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบละโมบ (Greedy Heuristic) สำหรับการจัดเส้นทางรถหลายเที่ยว ภายใต้เงื่อนไขที่มีกรอบเวลากำหนดการรับส่งสินค้า ต่อมา [13] ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบมีข้อจำกัดด้านปริมาณความจุของพาหนะโดยมีกรอบเวลาในการรับส่งสินค้า (Capacitated Close Vehicle Routing Problem with Time Windows) เพื่อหาต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดด้วยวิธีการ BRGKA (Biased Random Key Genetic Algorithm) ร่วมกับวิธีการหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) พบว่าวิธีการเหล่านี้สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ได้ และล่าสุด [14] นำเสนอการจัดเส้นทางของรถบรรทุกน้ำมันแบบไปและกลับโดยมีจุดเริ่มต้น

หลายจุดและมีข้อจำกัดด้านเวลาในการขนส่งด้วยวิธีขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ได้กับปัญหาจริง สำหรับปัญหา VRPTW จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard Problem) ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณหาผลเฉลย ในบางครั้งเวลาในการให้บริการลูกค้าหรือเวลาในการเดินทางขนส่งอาจส่งผลต่อเส้นทางที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการหาคำตอบจะขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหา จึงมีการนำวิธีการแก้ปัญหาแบบเมตะฮิวริสติกส์ (Metaheuristic) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือผลเฉลยที่ใกล้เคียงที่สุด (Near-Optimal Solution) ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม [1]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ การจัดเส้นทางการขนส่งให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ ต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงและต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะไม่เต็มประสิทธิภาพ (Utilization) โดยใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) ซึ่งถูกคิดค้นโดย [15] เป็นการหาค่าคำตอบแบบสโทแคสติก (Stochastic) โดยอาศัยกลุ่มประชากร (Population Based Search) ในแต่ละรุ่นพัฒนาคำตอบจากรุ่นสู่รุ่น มีหลักการสืบค้นคำตอบในปริภูมิการค้นหา (Search Space) ที่เป็นการสุ่มหาคำตอบแบบครอบคลุม มีแนวคิดสมมุติฐานเชิงพันธุกรรมเช่นเดียวกันกับวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ GA ต้องแปลงตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variables) ให้เป็นรหัสเลขฐานสอง (Binary Code) แต่ DE ใช้ค่าจริง (Floating Point Real Number) ในการคำนวณทำให้มีข้อได้เปรียบที่โดดเด่นคือ มีความรวดเร็วและประสิทธิภาพสูง (Robustness) ในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากโครงสร้างของระเบียบวิธีที่ไม่ซับซ้อนและมีความยืดหยุ่น (Generalizations) ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ไม่ว่าจะเป็นการแก้ปัญหาในเรื่องการขนส่งน้ำนมดิบที่มีข้อจำกัดที่สำคัญคือขนาดของช่องรับน้ำนมดิบที่มีความจุจำกัดและแหล่งต่าง ๆ ของน้ำนมดิบที่ไม่สามารถนำมาบรรจุร่วมกันได้ [16] หรือแม้กระทั่งในอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ไข่ [17] ที่มีความยุ่งยากในการจัดสรรไก่ลงฟาร์ม หรือการขนส่งไก่จากฟาร์มไก่รุ่นไปยังโรงเรือนไก่ไข่ หลังจากนั้น [18] ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถบรรทุกแต่มีกรอบเวลาของแต่ละจุดบริการเข้ามาเกี่ยวข้อง กล่าวคือรถบรรทุกจะเดินทางไปยังแต่ละจุดต้องภายในเวลาที่กำหนดเท่านั้น โดยปัญหาดังกล่าวสามารถหาคำตอบได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ หากขนาดของปัญหานั้นมีขนาดเล็ก แต่ในความเป็นจริงปัญหาดังกล่าวนี้ไม่สามารถหาคำตอบได้จากสมการคณิตศาสตร์เนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลนานและหน่วยความจำของสำเร็จรูปที่ใช้ไม่เพียงพอกับความซับซ้อนของปัญหาจึงมีการนำวิธีเมตะฮิวริสติกส์มาแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีกรอบเวลาแบบเคร่งครัดเป็นตัวกำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำ DE ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งของเมตะฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้เพื่อหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็วในการแก้ปัญหา

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. **วิเคราะห์ลักษณะของปัญหา (Problem Statement)**

งานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายโดยมีเงื่อนไขของกรอบเวลาการรับส่งของลูกค้าและความจุของรถบรรทุก และมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้มีต้นทุน

โดยรวมในการขนส่งต่ำที่สุด มีเงื่อนไขดังนี้

เงื่อนไขด้านลูกค้า: ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากพาหนะเพียง 1 คันเท่านั้น

เงื่อนไขด้านพาหนะ: ทุกเส้นทางการขนส่งสินค้าจะต้องเริ่มต้นและย้อนกลับมาที่คลังสินค้า

เงื่อนไขด้านปริมาณความจุของพาหนะ: ปริมาณสินค้าที่จุในพาหนะในเวลาใด ๆ จะต้องไม่เกินปริมาณความจุสูงสุดที่สามารถจุได้สำหรับพาหนะนั้น ๆ

เงื่อนไขด้านกรอบเวลา: ลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับบริการภายในกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งหมายความว่า ยานพาหนะจะไม่อนุญาตให้บริการลูกค้าก่อนหรือหลังเวลาที่กำหนด (Hard Time Window)

2. **กำหนดตัวแปรรับเข้า (Input)**

2.1 กำหนดให้รถบรรทุกแต่ละคันสามารถบรรจุสินค้าได้ 300 หน่วยต่อคัน

2.2 กำหนดให้ต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งเท่ากับ 160 บาทต่อชั่วโมง

2.3 กำหนดให้ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากบรรทุกสินค้าไม่เต็มประสิทธิภาพเท่ากับ 40 บาทต่อหน่วย

2.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายแสดงดังตารางที่ 1

2.5 กำหนดให้มีลูกค้าจำนวน 5 ราย ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายเท่ากับ 90 200 100 125 และ 100 หน่วย มีกรอบเวลาการขนส่งเท่ากับ [7,37] [8,75] [10,43] [3,45] [8,41] ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ระยะเวลาการเดินทาง (ชั่วโมง)

จาก/ไปยัง	ลูกค้ารายที่ 1	ลูกค้ารายที่ 2	ลูกค้ารายที่ 3	ลูกค้ารายที่ 4	ลูกค้ารายที่ 5
ลูกค้ารายที่ 1	0	5	6	6	7
ลูกค้ารายที่ 2	3	0	5	6	8
ลูกค้ารายที่ 3	2	3	0	7	6
ลูกค้ารายที่ 4	5	5	7	0	8
ลูกค้ารายที่ 5	8	8	6	9	0

ตารางที่ 2 ปริมาณความต้องการและกรอบเวลาของลูกค้า

รายการ	ลูกค้ารายที่ 1	ลูกค้ารายที่ 2	ลูกค้ารายที่ 3	ลูกค้ารายที่ 4	ลูกค้ารายที่ 5
ความต้องการ (หน่วย)	90	200	100	125	100
เวลาเริ่มต้น (ชั่วโมง)	7	8	10	3	8
เวลาสิ้นสุด (ชั่วโมง)	37	75	43	45	41

3. สมการทางคณิตศาสตร์ (**Mathematical Models**)

ดัชนี (Indices)

i, j ลูกค้า $; i, j = 1,2,3,..., N$

k ยานพาหนะ $; k = 1,2,3,..., V$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

t_{ik} เวลาการเริ่มให้บริการลูกค้า i โดยพาหนะที่ k $; \forall i \in N, \forall k \in V$

$[t_{ia}, t_{ib}]$ กรอบเวลาของลูกค้า i $; \forall i \in N$

D_i ความต้องการสินค้าของลูกค้า i $; \forall i \in N$

Q_k กำลังในการขนส่งของยานพาหนะ k $; \forall k \in V$

T ค่าคงที่สำหรับข้อจำกัดของกรอบเวลา $; \to +\infty$

μ_1 ค่าเสียโอกาสจากการบรรทุกสินค้าไม่เต็มยานพาหนะเท่ากับ 40 บาทต่อหน่วย

μ_2 ค่าเชื้อเพลิงในการขนส่งเท่ากับ 160 บาทต่อชั่วโมง

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$x_{ijk} = 1$ เมื่อมีการเดินทางจากลูกค้า i ไปยัง ลูกค้า j ด้วยยานพาหนะ k
$; \forall i, j \in N, \forall k \in V, i \neq j, i \neq n+1, j \neq 0$

$= 0$ อื่น ๆ

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$MinZ = \mu_1 \left(Q_k V - \sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq 1}}^{N} \sum_{k=1}^{N} D_i x_{ijk} \right) + \left(\mu_2 \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq 1}}^{N} \sum_{k=1}^{V} Dist_{ij} x_{ijk} \right) \tag{1}$$

เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{k}^{V} \sum_{j=0}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad , \forall i \in N \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{N} x =_{0jk} = 1 \qquad , \forall k \in V \tag{3}$$

$$\sum_{i}^{N} x_{iak} - \sum_{j}^{N} x_{ajk} = 0 \qquad , \forall a \in N, \forall k \in V \tag{4}$$

$$\sum_{i}^{N} x_{i,n+1,k} = 1 \qquad , \forall k \in V \tag{5}$$

$$\sum_{i}^{C} D_i \sum_{j}^{N} x_{ijk} \leq Q_k \qquad , \forall k \in V \tag{6}$$

$$t_{ik} + Dist_{ij} - T\left(1 - x_{ijk}\right) \leq t_{jk} \qquad , \forall i, j \in N, \forall k \in V, T \to \infty \tag{7}$$

$$t_{ai} \le t_{ik} \le t_{bi} \qquad ,\forall i \in N, \forall k \in V \tag{8}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad ,\forall i, j \in N, \forall k \in V \tag{9}$$

$$t_{ij} \ge 0 \qquad ,\forall i \in N, \forall k \in V \tag{10}$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายในการหาต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุดในการขนส่งสินค้าที่ประกอบด้วย ค่าเชื้อเพลิงและค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะไม่เต็มประสิทธิภาพ ในขณะเงื่อนไขข้อจำกัดตามสมการที่ (2) แสดงถึงแต่ละจุดจะมีการส่งสินค้าเพียงครั้งเดียว สมการที่ (3) – (5) แสดงการจัดเส้นทางของยานพาหนะว่าแต่ละคันจะถูกจัดตารางการขนส่งโดยเริ่มต้นที่คลังสินค้าและกลับมายังคลังสินค้าเมื่อสิ้นสุดการให้บริการลูกค้า และมีการให้บริการลูกค้าหลังจากมาถึงแล้ว และเดินทางไปยังลูกค้ารายต่อไป สมการที่ (6) แสดงถึงปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจะต้องไม่เกินความจุของความจุของยานพาหนะ สมการที่ (7) เพื่อทำให้มั่นใจว่าตารางเวลาในการให้บริการสามารถเป็นไปได้ สมการที่ (8) แสดงให้เห็นว่าลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับบริการภายในกรอบเวลา และตัวแปรตัดสินใจจะถูกแทนด้วย สมการที่ (9) และสมการที่ (10) [19]

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกทำการทดสอบด้วยปัญหาขนาดเล็กและใช้การแทนค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม LINGO Version 13 หลังจากนั้นคำตอบจะถูกทำการตรวจสอบ เพื่อดูว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถให้คำตอบที่ถูกต้องตรงกับเงื่อนไขที่กำหนด และให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตรงตามสมการเป้าหมายหรือไม่

4. การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

4.1 การเข้ารหัส (Encoding)

กระบวนการเข้ารหัสเป็นการออกแบบเวกเตอร์เริ่มต้นโดยเริ่มจากการสุ่มคำตอบเริ่มต้นของประชากรมีค่าระหว่าง [0,1] อยู่ในรูปของเวกเตอร์ 1*N โดยที่ N คือจำนวนลูกค้าที่ต้องการสินค้า ยกตัวอย่างเวกเตอร์ที่ 1 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเข้ารหัส

ลำดับการให้บริการ	1	2	3	4	5
เวกเตอร์ 1	0.3376	0.7833	0.1211	0.3498	0.6805

4.2 การถอดรหัส (Decoding)

กระบวนการถอดรหัสเป็นการแปลตำแหน่งเวกเตอร์ให้เป็นคำตอบ โดยใช้หลักการ Rank Of Value (ROV) คือการจัดเรียงลำดับค่าจากน้อยไปมาก และจัดลำดับการเดินทางการให้บริการให้สอดคล้องกับลำดับที่เรียงไว้ตามแต่ละเวกเตอร์ จากตัวอย่างเวกเตอร์ที่ 1 ในตารางที่ 3 เมื่อทำการ ROV จะได้เส้นทางการให้บริการคือ 3-1-4-5-2 ตามลำดับ

4.3 การประเมินคำตอบ (Fitness Evaluation)

ผลลัพธ์จากกระบวนการถอดรหัสจะได้ลำดับการเคลื่อนที่ของรถที่เข้าไปบริการลูกค้าในแต่ละราย ดังนั้นในส่วนปัญหาการจัดสรรจำนวนรถจึงได้พัฒนาวิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้น (Constructive Heuristic) เพื่อหาคำตอบเบื้องต้น (Initial Solution) ในการจัดสรรจำนวนรถที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการลูกค้าได้ครบทุกรายมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1 กำหนดตัวแปร

$Dist_{ij}$ = ระยะเวลาการเดินทางจาก ลูกค้าที่ i ไป j

T_a = เวลาเริ่มต้นที่ลูกค้าจะได้รับบริการ

T_b = เวลาสิ้นสุดที่ลูกค้าจะได้รับบริการ

Q_k = ความจุของรถคันที่ k (เริ่มต้น = 0)

$Noservice$ = ลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ

$Time_k$ = เวลาทั้งหมดที่รถคันที่ k ให้บริการทั้งหมด (เริ่มต้น = 0)

D_i = ความต้องการของลูกค้าลำดับที่ i

$Route_k$ = เซตของลำดับเส้นทางการให้บริการของรถคันที่ k

4.3.2 วิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้น (รูปที่ 2)

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณารถทีละคัน

- กรณีที่ให้บริการลูกค้ารายแรก

หาก $Dist_{ij} \geq T_a$ ให้ทำการปล่อยรถคันที่ k เพื่อบริการลูกค้าลำดับที่ i ไปยังลูกค้าลำดับที่ j เมื่อให้เสร็จสิ้นการให้บริการลูกค้าทำการอัปเดต $Q_k = Q_k + D_i$ อัปเดตค่า $Time_k = Time_k + Dist_{ij}$ และอัปเดตใส่ลำดับการเดินทางในเซตของ $Route_k$

หาก $Dist_{ij} < T_a$ ให้อัปเดตลูกค้าลำดับที่ i ใส่ในเซตของ $Noservice$

- กรณีที่ให้บริการลูกค้ารายต่อไป

พิจารณา ถ้า $Time_k + Dist_{ij} \geq T_a$ และ $Time_k + Dist_{ij} \leq T_b$ และ $Q_k + D_i \leq 300$ ให้ปล่อยรถคันที่ k ต่อไปเพื่อบริการลูกค้าลำดับที่ i เมื่อให้บริการลูกค้าเสร็จแล้วทำการอัปเดต $Q_k = Q_k + D_i$ และอัปเดตค่า $Time_k = Time_k + Dist_{ij}$ และอัปเดตใส่ลำดับการเดินรถลงไปในเซตของ $Route_k$

ถ้าหากไม่ตรงกับเงื่อนไขดังที่กล่าวไว้ให้อัปเดตลูกค้าลำดับที่ i ใส่ในเซตของ $Noservice$

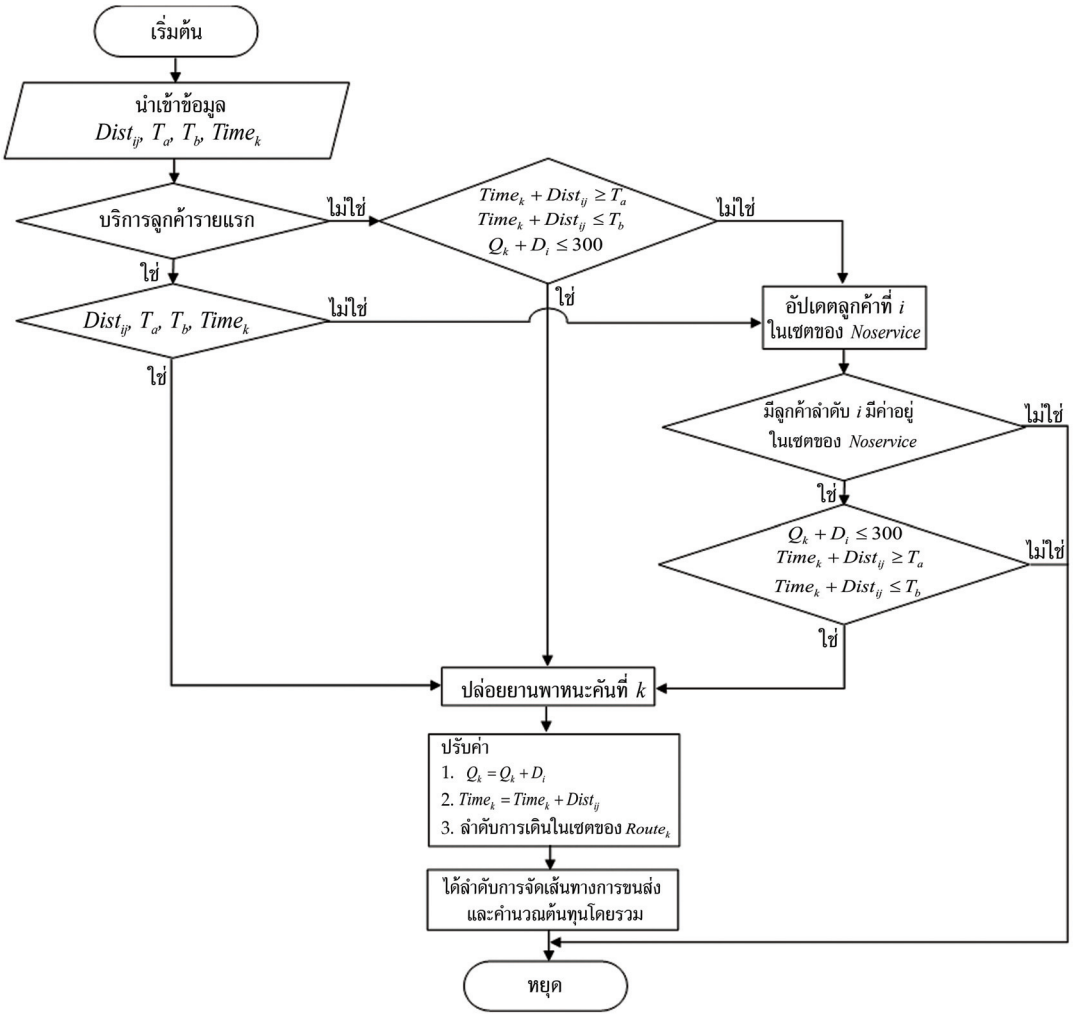
ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาเซตของ $Noservice$

ถ้าหากยังมีลูกค้าลำดับ i มีค่าอยู่ในเซตของ $Noservice$ ให้ปล่อยรถคันใหม่เข้าไปบริการลูกค้าลำดับที่ i ก่อนการให้บริการจะทำการพิจารณาเงื่อนไขก่อนว่าถ้า $Q_k + D_i \leq 300$ และ $Time_k + Dist_{ij} \geq T_a$ และ $Time_k + Dist_{ij} \leq T_b$ ถึงจะปล่อยให้ลูกค้าลำดับที่ i ได้รับบริการจากรถคันที่ k เมื่อให้บริการลูกค้าเสร็จแล้วทำการอัปเดต $Q_k = Q_k + D_i$ และอัปเดตค่า $Time_k = Time_k + Dist_{ij}$ และอัปเดตใส่ลำดับการเดินรถ ลงไปในเซตของ $Route_k$

ถ้าหากไม่มีค่าใด ๆ อยู่ในเซตของ $Noservice$ ให้ทำการหยุดการประมวลผล

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณต้นทุนโดยรวมทั้งหมดดังสมการที่ (11)

$$Total\ Cost = \mu_1 \left(Q_k V - \sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N} \sum_{k=1}^{V} D_i x_{ijk} \right) + \mu_2 \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N} \sum_{k=1}^{V} Dist_{ij} x_{ijk} \quad (11)$$



รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้น

4.4 วิธีการปรับปรุงผลเฉลย

กระบวนการปรับปรุงผลเฉลยของปัญหาในงานวิจัยนี้ประยุกต์จากวิธีวิวัฒนาการผลต่าง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.1 การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation Operation)

การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดหรือการกลายพันธ์ดังสมการที่ (12) เป็นการพัฒนาคำตอบโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดที่ได้จากการหาผลต่างของเวกเตอร์ที่สุ่มมา 2 เวกเตอร์ของประชากร

และนำผลต่างนี้ไปคูณกับปัจจัยขยายผลต่าง (Mutation Factor: F) มีค่าระหว่าง [0,2] แล้วนำไปบวกกับเวกเตอร์ที่สุ่มมาอีกเวกเตอร์หนึ่ง

$$V_{i,G+1} = X_{r_1,G} + F\left(X_{r_2,G} - X_{r_3,G}\right) \tag{12}$$

โดยที่

$V_{i,G+1}$ คือ มิวแทนต์เป้าหมาย

$X_{r_1,G}, X_{r_2,G}, X_{r_3,G}$ คือ เวกเตอร์สุ่ม (Random Vector) ที่ทำการเลือกมา 3 เวกเตอร์

4.4.2 การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัด (Recombination Operation)

การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดเป็นการแลกเปลี่ยนค่าเพื่อสร้างไทรอัลเวกเตอร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าตัวเลขที่สุ่มระหว่าง [0,1] กับค่าอัตราแลกเปลี่ยนตำแหน่งพิกัด (CR) หากน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า CR เวกเตอร์นั้นจะมีค่าเป็นมิวแทนต์เวกเตอร์ แต่หากมีค่ามากกว่าค่า CR เวกเตอร์นั้นจะมีค่าเท่ากับเวกเตอร์เป้าหมายดังสมการที่ (13)

$$U_{ji,G+1} = \begin{cases} V_{ji,G+1} & if\left(randb(j) \le CR\right) or\ j = rnbr(i) \\ X_{ji,G} & if\left(randb(j) > CR\right) or\ j \ne rnbr(i) \end{cases} \tag{13}$$

โดยที่

$U_{ji,G+1}$ คือ ไทรอัลเวกเตอร์ (Trial Vector)

$V_{ji,G+1}$ คือ มิวแทนต์เวกเตอร์ (Mutant Vector)

$X_{ji,G}$ คือ เวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector)

$rnbr(i)$ คือ ค่าดัชนีจากการสุ่มเลือกมีค่าระหว่าง [0,D];

D คือ ขนาดของเวกเตอร์

$randb(j)$ คือ ตัวเลขสุ่มมีค่าระหว่าง [0,1]; j = 1,2,…,D

CR คือ อัตราแลกเปลี่ยนตำแหน่งพิกัดมีค่าระหว่าง [0,1]

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

Parameters	Value
จำนวนประชากร (Population Number: NP)	5
จำนวนรอบในการวนซ้ำ (Maximum Iterations: T)	100
ปัจจัยขยายผลต่าง (Mutation Factor: F)	2
อัตราการแลกเปลี่ยน (Crossover Constant: CR)	0.8

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและมีความต้องการของลูกค้าที่แตกต่างกันภายใต้เงื่อนไข คือลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการบริการจากพาหนะเพียงหนึ่งคันเท่านั้นด้วยความจุของรถบรรทุกเท่ากับ 300 หน่วยต่อคัน ออกเริ่มต้นการให้บริการและย้อนกลับมาเมื่อเสร็จสิ้นที่คลังสินค้า ใช้ความเร็วเฉลี่ยในการขนส่งเท่ากับ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 160 บาทต่อชั่วโมง และต้นทุนการเสียโอกาสที่เกิดจากการใช้พาหนะไม่เต็มประสิทธิภาพเท่ากับ 40 บาทต่อหน่วย ซึ่งเมื่อนำข้อมูลปัญหาของงานวิจัยมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำการทดสอบเพื่อหาคำตอบด้วยโปรแกรม LINGO Version 13 จะได้ต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 42,280 บาท ใช้รถบรรทุกทั้งหมด 3 คัน ในการขนส่งไปยังลูกค้าทั้งหมดด้วยลำดับการเดินทางดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลำดับการเดินของรถบรรทุกจากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO

รถบรรทุก	ลำดับการเดินทาง	ระยะเวลาการขนส่ง (ชั่วโมง)
1	0-5-3-0	20
2	0-2-1-0	16
3	0-4-0	7

ในส่วนของกระบวนการแก้ปัญหาด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นจะทำการทดสอบด้วยโปรแกรม MATLAB Version R2017a ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญคือการเข้ารหัส (Encoding) และการถอดรหัส (Decoding) ที่ต้องเหมาะสมและมีความสัมพันธ์กับปัญหา เพื่อทำให้สามารถคำนวณหาค่าได้รวดเร็วและนำไปสู่ผลเฉลยที่ต้องการ ในตารางที่ 6 เป็นการยกตัวอย่างของขั้นตอนการคัดเลือก (Selection) หลังจากที่มีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัด (Recombination Operation) และประเมินคำตอบ (Fitness Evaluation) เพื่อหาเวกเตอร์เป้าหมายในการคำนวณรอบถัดไปหรือการเลือกประชากรสำหรับการดำเนินการในรุ่นต่อไป โดยเวกเตอร์ที่ให้คำตอบที่ดีกว่าจะถูกเลือกโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าคำตอบของสมการเป้าหมาย (Objective Value) หรือค่าฟิตเนส (Fitness Value) ของไทรอัลเวกเตอร์กับเวกเตอร์เป้าหมาย ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการหาค่าที่ต่ำที่สุด (Minimization) จะเห็นว่าเวกเตอร์ที่ 1 และเวกเตอร์ที่ 2 เลือกเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับการคำนวณรอบถัดไป เนื่องจากให้ค่าคำตอบของสมการเป้าหมายมีค่าต่ำกว่าไทรอัลเวกเตอร์ เช่นเดียวกันกับเวกเตอร์ที่ 3 - 5 จะเลือกไทรอัลเวกเตอร์ไปเป็นเวกเตอร์เป้าหมายรอบถัดไป

เมื่อทำการประมวลผลจำนวน 10 รอบการคำนวณ โดยในแต่ละรอบมีการวนซ้ำ 100 รอบ จะได้ผลการคำนวณจากค่าเฉลี่ยคำตอบเท่ากับ 42,636 บาท ซึ่งเป็นค่าของต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด ใช้เวลาในการคำนวณเฉลี่ย 286 วินาที ด้วยลำดับการเดินทางเช่นเดียวกันกับผลลัพธ์ที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ หากเปรียบเทียบผลลัพธ์จะเห็นว่าค่าของต้นทุนโดยรวมจากการประมวลผลด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่ามากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 6 การคัดเลือก (Selection)

vector	Target Vector ลูกค้า					Objective Value (บาท)	Trial Vector ลูกค้า					Objective Value (บาท)
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
1	0.6393	0.9862	0.1888	0.3748	0.0481	42,280	1.3038	0.9862	-0.4706	0.9409	0.7434	43,560
2	0.4852	0.305	0.5728	0.2612	0.4552	43,400	0.9088	1.9100	0.5728	0.2612	2.3447	43,400
3	0.7353	0.9257	0.6039	0.5441	0.7709	43,720	0.7353	1.1074	-0.6414	0.0363	-1.3976	42,280
4	0.355	0.1282	0.726	0.1764	0.0619	43,720	0.6485	1.5564	0.7260	1.4622	1.5581	43,080
5	0.1484	0.3151	0.3269	0.8964	0.9265	44,200	0.6633	1.4906	-0.0421	0.4036	-0.7523	42,280

สรุป

การจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและความต้องการที่หลากหลายของปัญหาในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบเมตะฮิวริสติกส์แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าวิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความซับซ้อนและไม่มีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งาน อีกทั้งใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน จึงมีการนำวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมาประยุกต์สำหรับปัญหาดังกล่าว จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็มีความรวดเร็ว โดยคำตอบที่ได้มีความใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งต้นทุนโดยรวมสูงกว่าประมาณ 0.8 % แต่สามารถประหยัดเวลาได้ถึง 12 % อย่างไรก็ตามควรมีการคิดค้นวิธีที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยการนำจุดเด่นของวิธีการอื่น ๆ มาร่วมพัฒนากับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการแก้ไขปัญหาต่อไป

References

[1] Sethanan, K. (2015). **Metaheuristics and Applications for Industry**. Khon Kaen, Thailand: Klangnanawittaya Publishers. (in Thai)

[2] Office of the National Economic and Social Development Board. (2018). **International Logistics Performance Index (LPI) 2018**. Access (2 June 2019). Available (https://www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=8143&filename=index) (in Thai)

[3] López-Sánchez, A. D., Hernández-Díaz, A. G., Vigo, D., Caballero, R., and Molina, J. (2014). A Multi-Start Algorithm for a Balanced Real-World Open Vehicle Routing Problem. **European Journal of Operational Research**. Vol. 238, Issue 1, pp. 104-113. DOI: 10.1016/J.EJOR.2014.04.008

[4] Wen, L. and Eglese, R. (2015). Minimum Cost VRP with Time-Dependent Speed Data and Congestion Charge. **Computers & Operations Research**. Vol. 56, pp. 41-50. DOI: 10.1016/j.cor.2014.10.007

[5] Boonmee, A., Sethanan, K., Arnonkijpanich, B., and Theerakulpisut, S. (2015). Minimizing the Total Cost of Hen Allocation to Poultry Farms using Hybrid Growing Neural Gas Approach. **Computers and Electronics in Agriculture**. Vol. 110, pp. 27-35. DOI: 10.1016/J.COMPAG.2014.10.006

[6] Sommut, N. and Sintusoaw, S. (2009). GRASP Heuristic for Vehicle Routing Problem. **RMUTI Journal**. Vol. 2, No. 1, pp. 3-13

[7] Sethanan, K. and Neungmatcha, W. (2016). Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Mechanical Harvester Route Planning of Sugarcane Field Operations. **European Journal of Operational Research**. Vol. 252, Issue 3, pp. 969-984. DOI: 10.1016/J.EJOR.2016.01.043

[8] Pichpibul, T. (2015). **Improving Vehicle Routing Decision for Travel Agency in Chonburi, Thailand**. pp. 251-258. In: Gen, M., Kim, K., Huang, X., Hiroshi, Y. (eds) Industrial Engineering, Management Science and Applications 2015. Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 349, Springer, Berlin, Heidelberg

[9] Lopes Silva, M. A., de Souza, S. R., Freitas Souza, M. J., and Bazzan, A. L. C. (2019). A Reinforcement Learning-Based Multi-Agent Framework Applied for Solving Routing and Scheduling Problems. **Expert Systems with Applications**. Vol. 131, pp. 148-171. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.04.056

[10] Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. **European Journal of Operational Research**. Vol. 35, Issue 2, pp. 254-265. DOI: 10.1287/opre.35.2.254

[11] Figliozzi, M. A. (2010). The Impacts of Congestion on Commercial Vehicle Tour Characteristics and Costs. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. Vol. 46, Issue4, pp. 496-506. DOI: 10.1016/j.tre.2009.04.005

[12] Karoonsoontawong, A. (2015). Effcient Insertion Heuristics for Multitrip Vehicle Routing Problem with Time Windows and Shift Time Limits. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**. Vol. 2477, Issue 1, pp. 27-39. DOI: 10.3141/2477-04

[13] Prasetyo, H., Alfatsani, M. A., and Fauza, G. (2018). Solving Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows (CCVRPTW) using BRKGA with local search. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Vol. 352, DOI: 10.1088/1757-899x/352/1/012014

[14] Wang, B., Liang, Y., Yuan, Meng, Zhang, H., and Liao, Qi. (2019). A Metaheuristic Method for the Multireturn-to-Depot Petrol Truck Routing Problem with Time Windows. **Petroleum Science**. Vol. 16, pp. 701-712. DOI: 10.1007/s12182-019-0316-8

[15] Storn, R. and Price, K. (1997). Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. **Journal of Global Optimization**. Vol. 11, pp. 341-359. DOI: 10.1023/A:1008202821328

[16] Sethanan, K. and Pitakaso, R. (2016). Differential Evolution Algorithms for Scheduling Raw Milk Transportation. **Computers and Electronics in Agriculture**. Vol. 121, pp. 245-259. DOI: 1016/j.compag.2015.12.021

[17] Dechampai, D., Tanwanichkul, L., Sethanan, K., and Pitakaso, R. (2017). A Differential Evolution Algorithm for the Capacitated VRP with Flexibility of Mixing Pickup and Delivery Services and the Maximum Duration of a Route in Poultry Industry. **Journal of Intelligent Manufacturing**. Vol. 28, pp. 1357-1376. DOI: 10.1007/s10845-015-1055-3

[18] Wang, B., Liang, Y., Yuan, M., Zhang, H., and Liao, Q. (2019). A Metaheuristic Method for the Multi return-to-Depot Petrol Truck Routing Problem with Time Windows. **Petroleum Science**. Vol. 16, pp. 701-712. DOI: 10.1007/s12182-019-0316-8

[19] Dhoruri, A., Sari, E. R. and Lestari, D. (2013). Solving Capacitated Vehicle Routing Problems with Time Windows by Goal Programming Approach. In **Proceeding of IndoMS International Conference on Mathemathics and Its Applications**. pp. 155-162