วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2561
The Journal of KMUTNB., Vol. 28, No. 2, Apr.–Jun. 2018

บทความวิจัย

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง

พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์* กิตติ์รวี สุขขา ชาญวิทย์ สวัสดี วรลักษณ์ แดงสาย สุภาภรณ์ บัวทอง และ บุญญสิทธิ์ วรจันทร์
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09–8914–6526 อีเมล: khpornpi@kmitl.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.014
รับเมื่อ 21 มีนาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 4 สิงหาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 27 มีนาคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าและออกแบบเส้นทางการขนส่งประเภทวัสดุก่อสร้างซึ่งมีขนาด รูปทรงและน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยอาศัยอัลกอริทึมของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem) ซึ่งจะพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าจากที่ตั้งจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ โดยคำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกสินค้าของยานพาหนะที่มีอยู่ รวมทั้งต้องสอดคล้องตามข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่และความต้องการของลูกค้า โดยคำนวณหาต้นทุนและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม 2558 จากระบบการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้าและการขนส่งของบริษัทจำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา และได้นำเสนออัลกอรีทึมที่พัฒนามาจากวิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการจัดเส้นทางที่มีหลากหลายเส้นทาง จากการศึกษาพบว่าเส้นทางเดินรถที่จัดโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมมีระยะทางการขนส่งน้อยกว่าวิธีการดำเนินการในปัจจุบันถึง 32.99% และมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงไปได้ถึง 45.23% ดังนั้นวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาดังกล่าวนี้

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางการขนส่ง, ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม, วิธีการแบบประหยัดของคล๊ากและไรท์, วัสดุก่อสร้าง

การอ้างอิงบทความ: พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ กิตติ์รวี สุขขา ชาญวิทย์ สวัสดี วรลักษณ์ แดงสาย สุภาภรณ์ บัวทอง และ บุญญสิทธิ์ วรจันทร์, "ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, หน้า 427–438, เม.ย.–มิ.ย. 2561.

Research Article

Vehicle Routing Problem for Construction Materials

Pornpmol Chaiwuttisak*, Kitrawee Sukka, Chanwit Sawasdee, Woraluk Daengsai, Supaporn Buathong and Boonyasit Warachan

Department of Statistics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Tecnology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09–8914–6526, E–mail: khpornpi@kmitl.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.014
Received 21 March 2017; Accepted 4 August 2017; Published online: 27 March 2018
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research paper aimed to study outbound logistics and to design a delivery route plan for construction materials by using the algorithms for the vehicle routing problem, where products are distributed from a distribution center to several customers. The saving algorithm and genetic algorithm were applied to solve the vehicle routing problem with construction materials that were of different sizes, shapes, and weight under the available resource constraints and customer requests. The total distances and costs obtained from two algorithms were compared and the best solution was proposed. The company in Nakhon Ratchasima province in Thailand was used as a case study. Data were collected between January and December 2015 and the results showed that the generic algorithm provided a shorter distance than the current delivery system by 32.99%. Moreover, the genetic algorithm reduced the total cost of the current delivery method by 45.23%. Therefore, the solution of the generic algorithm is presented for scheduling the delivery routes for construction materials.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Genetic Algorithm, Clark and Wright Saving Algorithm, Construction

Please cite this article as: P. Chaiwuttisak, K. Sukka, C. Sawasdee, W. Daengsai, S. Buathong, and B. Warachan, "Vehicle routing problem for construction materials," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 2, pp. 427–438, Apr.–Jun. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

การขนส่งและกระจายสินค้าเป็นกิจกรรมหนึ่งที่สำคัญของระบบห่วงโซ่อุปทานในธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ โดยจากรายงาน [1] พบว่าต้นทุนการขนส่งเป็นหนึ่งในสามของค่าใช้จ่ายทั้งหมดสำหรับดำเนินกิจกรรมห่วงโซ่อุปทาน นอกจากนี้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการจัดเส้นทางการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยผู้ประกอบการลดค่าใช้ในการขนส่งและกระจายสินค้า รวมทั้งตอบสนองความต้องการของลูกค้า [2]

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem; VRP) เป็นปัญหาที่มีการศึกษาวิจัยค้นคว้ากันอย่างแพร่หลาย [3]–[8] โดยมีการกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ทำให้ปัญหามีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย ถึงอย่างไรก็ตามแม้จะมีการศึกษากันมาเป็นระยะเวลายาวนานก็ตามที แต่ยังไม่พบว่ามีวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนในทางปฏิบัติโดย [9] ได้แนะนำให้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristics) แทนวิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาคำตอบให้ได้ในเวลาที่รวดเร็ว

ในงานวิจัยนี้จะออกแบบอัลกอริทึมและพัฒนาระบบเพื่อช่วยสนับสนุนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักและขนาดรูปทรงที่แตกต่างกันจากที่ตั้งจุดกระจายแห่งเดียวโดยอาศัยยานพาหนะหลายประเภทที่มีอยู่ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ประหยัดเวลาในการขนส่งและสามารถจัดเส้นทางการขนส่งให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเป็นระบบด้วย

การศึกษาวิจัยนี้ได้อาศัยข้อมูลของบริษัทจำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษาซึ่งเป็นบริษัทตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์ก่อสร้างทั้งโครงสร้างและตกแต่งรวมทั้งผลิตเฟอร์นิเจอร์ ในปัจจุบันบริษัทจัดการระบบการขนส่งสินค้าโดยอาศัยการทำงานด้วยมือและความชำนาญของคน ซึ่งจะต้องใช้เวลามากในการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งทำให้ขาดประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งเพิ่มมากขึ้นและยากต่อการคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อกระจายสินค้าให้ลูกค้าในกรณีที่มีศูนย์รวบรวมกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยกำหนดให้ยานพาหนะทุกคันมีข้อจำกัดของขนาดและน้ำหนักสินค้าที่สามารถบรรทุกได้ และทำการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ ที่ทราบปริมาณความต้องการสินค้าที่ชัดเจนแน่นอน [10] ได้อธิบายว่าเป็นการกำหนดเส้นทางในการเดินรถขนส่งก่อน แล้วจึงจัดลูกค้าเข้าสู่เส้นทางภายใต้เงื่อนไขของปัญหาขั้นตอนวิธีการนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหา VRP ในกรณีที่มีรถขนส่งหลายขนาดได้

[11] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการในแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยพบว่าอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) เป็นวิธีที่ดีในกลุ่มของฮิวริสติก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบได้เร็วไม่ซับซ้อนมากนักและเข้าใจได้ง่าย [12], [13] ได้นำเสนอการจัดเส้นทางเดินรถโดยใช้อัลกอริทึมแบบประหยัดของคล๊ากและไรท์ (Clarke and Wright Saving Algorithm) เพื่อหาระยะทางการขนส่งสั้นที่สุดและประหยัดค่าใช้จ่ายการขนส่งจากคลังสินค้ากลางไปยังลูกค้ารายต่างๆ ในเขตภูมิภาค

นอกจากนี้ [14] ได้ทำการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อลดต้นทุนการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 316 แห่ง ของหน่วยซ่อมบำรุงสังกัด สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดอุบลราชธานี โดยทำการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการจัดกลุ่มผู้รับบริการก่อน จากนั้นจึงกำหนดที่ตั้งของศูนย์ประสานงานซ่อมบำรุงแล้วจึงจัดเส้นทางการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงในแต่ละกลุ่มเป็นขั้นตอนสุดท้าย ในขั้นตอนการจัดกลุ่มได้ใช้วิธีการกวาดมุม (Sweep Algorithm) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มสถานพยาบาลออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 79 แห่ง จากนั้นจึงทำการหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์ประสานงานซ่อมบำรุงโดยใช้วิธีคำนวณจากระยะทางและภาระงานในการซ่อมบำรุง

แต่ละแห่ง สำหรับจัดเส้นทางการเดินทางในแต่ละกลุ่มได้ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA) เป็นอีกอัลกอริทึมหนึ่งที่ได้นำมาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ โดย [15] ได้นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับ–ส่งนักเรียนในกรณีที่มีรถรับ–ส่งหลายคัน และได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบที่ดีในคำตอบชุดหนึ่ง แล้วเลือกโครงสร้างเพื่อผลิตคำตอบชุดใหม่ แล้วค้นหาคำตอบที่ดีกว่าต่อไป โดยใช้ข้อมูลของโรงเรียนแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

[16] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันแบบหนึ่งตัวแปร ซึ่งจัดว่าเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยแสดงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งจากขั้นตอนต่างๆ ของวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะพัฒนาค่าของคำตอบจนกระทั่งพบคำตอบที่ดีที่สุดได้ วิธีนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้กับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

[17] ได้นำเสนอวิธีการผสมผสานระหว่างการอบอ่อน (Simulated Annealing) ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีทาบู (Tabu Search) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา VRP ที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100–417 ราย ซึ่งนับเป็นงานวิจัยที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน

ขั้นตอนของอัลกอริทึมวิธีการแบบประหยัดของ Clarke and Wright [18] สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สร้างคำตอบเริ่มต้น โดยการกำหนดให้เส้นทางมีลูกค้าเพียงจำนวน 1 คน เท่านั้น ดังนั้นเราจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด

2. คำนวณระยะทางประหยัด (Saving Cost) ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย S_{ij} ระหว่างลูกค้า 2 คน กล่าวคือ ลูกค้า i และลูกค้า j ตามลำดับ

$$S_{ij} = D_{0i} + D_{0j} - D_{ij} \qquad (1)$$

โดยที่ S_{ij} = ระยะทางการเดินทางที่ประหยัดในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าที่ i และ j

D_{0i} = ระยะทางการเดินทางจากคลังสินค้า (Depot) ไปยังลูกค้าที่ i

D_{0j} = ระยะทางการเดินทางจากลูกค้าที่กลับมาถึงคลังสินค้า (Depot)

D_{ij} = ระยะทางการเดินทางจากลูกค้าที่ i ไปยัง j

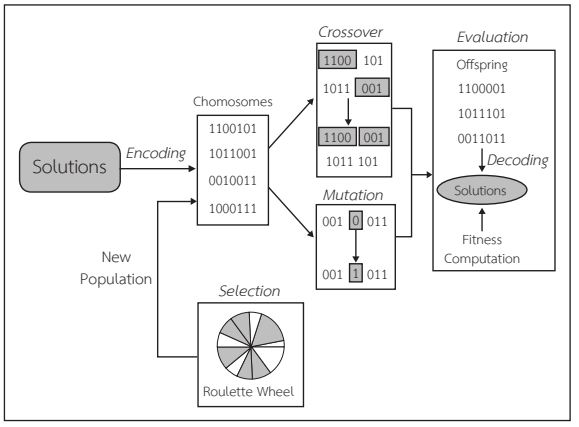
เมื่อ i = 1, 2, ..., N และ j = 1, 2, ..., N โดยที่ $i \neq j$ และ N = จำนวนลูกค้าทั้งหมด

3. ขั้นต่อไปคือการจัดลำดับค่าความประหยัดจากค่ามากที่สุดไปยังค่าน้อยที่สุด ถ้าค่าระยะประหยัด มีเครื่องหมายเป็นบวก เราจะทำการรวมลูกค้าที่ i และลูกค้าที่ j ให้อยู่ในเส้นทางเดียวกันนั้นคือ เราจะได้เส้นทางในการขนส่งสินค้า $0 \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow 0$

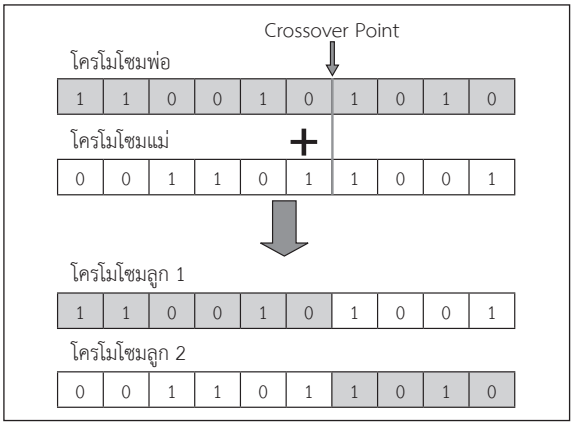
4. ทำซ้ำจนสามารถจัดเส้นทางยานพาหนะได้ครอบคลุมลูกค้าทั้งหมด ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของความสามารถของยานพาหนะที่มีกล่าวคือสินค้าทั้งหมดที่จะจัดส่งในแต่ละเที่ยวต้องมีสินค้าไม่เกินความสามารถในการบรรทุกทั้งในแง่ขนาดและน้ำหนักของยานพาหนะและต้องใช้เวลาการเดินทางไปกลับไม่เกินระยะเวลาที่กำหนดด้วย

ในส่วนของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Point) ซึ่งเป็นการได้พัฒนาและจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากทฤษฎีวิวัฒนาการของ จอห์น โฮลแลนด์ [19] ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้ทำการคิดค้นการลอกเลียนแบบขั้นตอนธรรมชาติของการพัฒนาสิ่งมีชีวิตขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1970 โดยร่วมกับเพื่อนร่วมงานและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธรรมชาติของพันธุกรรมและนำกลไกการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรม

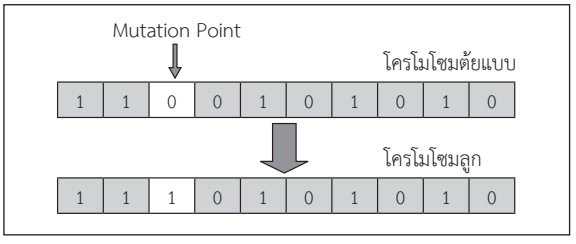
GA เป็นวิธีการหาคำตอบที่ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน เนื่องจากคุณสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ



รูปที่ 1 ขั้นตอนของวิธี GA [21]



รูปที่ 2 การสลับสายพันธุ์แบบจุดเดียว



รูปที่ 3 การกลายพันธุ์แบบจุดเดียว

ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งมีการใช้ตัวดำเนินการ (Operator) คือการเลือก (Selection) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นตัวสุ่มในการหาคำตอบในบริเวณของปัญหา ซึ่งจะช่วยให้มีความหลากหลาย (Diversity) ในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา [20], [21] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

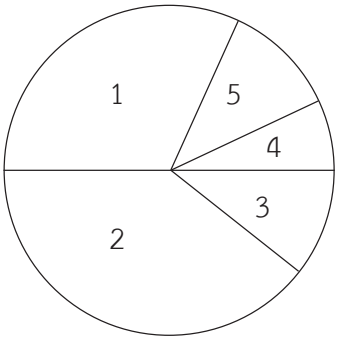
ซึ่งสามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนได้ ดังนี้

1. การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) เริ่มต้นโดยการสุ่มค่าคำตอบซึ่งเป็นค่าคำตอบที่อยู่ในขอบเขตของคำตอบ (Solution Space) ขึ้นมาตามจำนวนของประชากรที่กำหนดไว้แล้วทำการเข้ารหัส (Encoding) ค่าคำตอบให้เป็น “โครโมโซม (Chromosome)”

2. กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operation) ประกอบไปด้วย 2 กระบวนการ คือ การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยการสลับสายพันธุ์นั้น จะทำการสุ่มโครโมโซมจากประชากรมาสองโครโมโซม และทำการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซม ซึ่งจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนยีนในโครโมโซม สำหรับวิธีการในการแลกเปลี่ยนยีนนั้นวิธีการที่ง่ายที่สุดคือ การสลับสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single-point Crossover) ซึ่งจะใช้วิธีการสุ่มจุดที่จะทำการแลกเปลี่ยนยีน ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนกระบวนการกลายพันธุ์นั้นจะสุ่มโครโมโซมมาหนึ่งค่าแล้วทำการสุ่มเปลี่ยนค่าของยีน ซึ่งจะทำให้เกิดโครโมโซมใหม่อีกหนึ่งโครโมโซม โดยการกลายพันธุ์ที่แสดงในรูปที่ 3 นั้นเป็นการกลายพันธุ์แบบจุดเดียว (Sinle-point Mutation) และโครโมโซมใหม่ที่เกิดขึ้นจะเรียกว่า “โครโมโซมลูก (Offspring)”

3. การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Computation) เมื่อผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมแล้ว โครโมโซมทั้งหมดจะถูกประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของโอกาสในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม (Probability of Selection)

4. การคัดเลือก (Selection) กลไกการคัดเลือกของ GA นั้นจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมในการอยู่รอด ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมในการอยู่รอดสูง โอกาสที่จะถูกเลือกให้เป็นประชากรในรุ่นถัดไปจะมีโอกาสรอดสูงตามไปด้วย ในทางตรงข้ามถ้าค่าความเหมาะสมในการอยู่รอดต่ำมาก โครโมโซมนั้นก็ไม่มีโอกาสอยู่รอดเป็นประชากรในรุ่นถัดไป



รูปที่ 4 วงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel) [22]

การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) วิธีนี้จะใช้ความน่าจะเป็นในการคัดเลือกประชากร ซึ่งจะกำหนดโดยอัตราส่วนค่าจากความแข็งแรงของแต่ละโครโมโซมเทียบกับค่าความแข็งแรงรวมของโครโมโซมทั้งหมดทั้งหมดตามสมการที่ (2) เมื่อทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแล้ว จากนั้นจึงทำการสร้างวงล้อเสี่ยงทายตามอัตราส่วนความน่าจะเป็นทีได้คำนวณไว้ ดังรูปที่ 4 และทำการสุ่มเพื่อทำการเลือกโครโมโซมไปทำเป็นประชากรตั้งต้นในรุ่นถัดไป

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{N} F_i}, \ i = 1, ..., N \qquad (2)$$

โดยที่ P_i = ค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกคัดเลือกของโครโมโซม i

F_i = ค่าความแข็งแรงของโครโมโซม i

N = จำนวนประชากรทั้งหมด

5. การตรวจสอบเงื่อนไขสิ้นสุดการทำงาน (Termination Condition) เงื่อนไขในการสิ้นสุดการทำงานนั้น GA จะสิ้นสุดการทำงานก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการจนครบตามจำนวนรุ่นของประชากร (Number of Generation) ตามที่ผู้ใช้กำหนด หรือผู้ใช้อาจจะกำหนดให้สิ้นสุดการทำงานเมื่อค่าคำตอบในหลายๆ รอบที่ผ่านมาไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความเหมาะสมในการนำเอาวิธีการทางฮิวริสติกทั้งอัลกอริทึมแบบประหยัด และ GA มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเส้นทางการขนส่งวัสดุก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและระยะทาง จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอัลกอริทึมแบบประหยัดเป็นวิธีการที่สามารถหาคำตอบได้รวดเร็ว ไม่ซับซ้อนมากนัก เข้าใจง่าย สามารถใช้กับปัญหาที่มีจุดขนส่งจำนวนมากได้ และพบว่า GA ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้กับการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีปัญหาด้านการหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่ดีที่มีลักษณะการทำงานในรูปแบบของการค้นหาคำตอบแบบขั้นตอนเชิงพันธุกรรมซึ่งมีรากฐานมาจากทฤษฎีการวิวัฒนาการของ ชาร์ล ดาร์วิน (Charles Darwin) โดยอิงจากแนวคิดเรื่องการอยู่รอดของผู้ที่แข็งแรงที่สุด (Survival of the Fittest) การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะเป็นไปในลักษณะของการหาคำตอบแบบคู่ขนาน (Parallel Search) เพื่อที่จะนำไปสู่การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไป

3. ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ได้เลือกทำการศึกษากระบวนการจัดส่งสินค้าของบริษัทจำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่ง ซึ่งบริษัทมีคลังสินค้า 1 คลัง ตั้งอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ระยะเวลาการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2558

3.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

1) ข้อมูลการสั่งซื้อ ส่วนใหญ่ลูกค้าจะเข้ามาสั่งซื้อสินค้าโดยตรงที่บริษัทและต้องมีการระบุวันที่ลูกค้าสะดวกรับสินค้าสถานที่จัดส่งสินค้า

2) ข้อมูลลูกค้า ประกอบด้วยรายละเอียดของลูกค้าข้อมูลสำหรับติดต่อกับลูกค้า

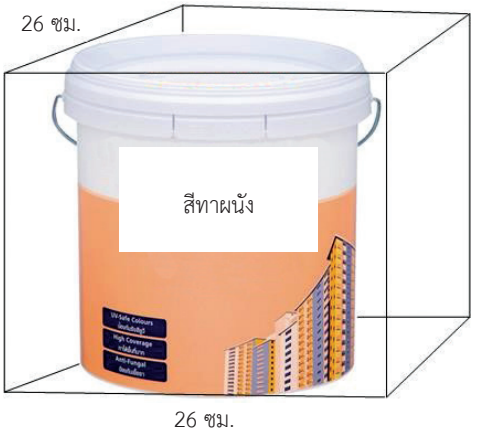
3) ข้อมูลสินค้า โดยข้อมูลสินค้าวัสดุก่อสร้างของบริษัทมีความหลากหลาย ซึ่งจำนวนสินค้าที่ทางบริษัทจำหน่ายมีทั้งหมดมากกว่า 10,000 รายการ ยกตัวอย่างเช่น ปูนซีเมนต์ สีทาทั้งภายนอกภายใน กระเบื้อง ตะปู เป็นต้น

4) ข้อมูลยานพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งสินค้า ประกอบด้วย

รถบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 2 คัน น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 2 ตัน และรถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 1 คัน น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 6 ตัน

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในส่วนของการพัฒนาระบบจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ ตามอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้นั้นจะถูกเขียนโปรแกรมด้วยภาษา JAVA บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Core i5-2520M @ 2.50 GHz และอาศัยซอฟต์แวร์ Microsoft SQL Server สำหรับจัดการฐานข้อมูลลูกค้า การสั่งซื้อ ระยะทางระหว่างจุดโหนดต่างๆ



รูปที่ 5 การหาปริมาตรของสินค้าที่มีรูปทรงกระบอก

3.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

ข้อมูลระยะทาง แสดงในตารางที่ 1 สามารถคำนวณได้จากระยะทางจริงโดยอาศัยโปรแกรม Google Earth V.7.1.2.2041 บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows

ตารางที่ 1 ตัวอย่างเมทริกซ์ระยะทางระหว่างจุดต่างๆ (กิโลเมตร)

ตำแหน่ง	Depot	1	2	3	4	5
Depot	0	75.6	14	65.7	7.8	129
1		0	86.6	33	75.3	109
2			0	76.7	21.1	129
3				0	64.8	112
4					0	129
5						0

*** 0 หมายถึงตำแหน่งของบริษัท ส่วนหมายเลข 1, 2, ... หมายถึงลำดับของตำแหน่งลูกค้าที่ต้องส่งสินค้าในวันนั้น

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการเดินทาง เป็นเวลาการเดินทางระหว่างบริษัทไปยังลูกค้าและระหว่างลูกค้าไปยังลูกค้าทั้งหมด ซึ่งเวลาการเดินทางสามารถหาได้จาก Google Map พร้อมกับระยะทาง ภายใต้ความเร็วที่กฎหมายตามพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 ความเร็วของรถคือ 100 กม./ชม. แล้วนำมาสร้างเป็นตารางเมทริกซ์เวลา ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเมทริกซ์เวลาการเดินทางระหว่างจุดต่างๆ (นาที)

ตำแหน่ง	Depot	1	2	3	4	5
Depot	0	60	18	55	10	105
1		0	79	53	72	97
2			0	69	25	108
3				0	56	101
4					0	106
5						0

ข้อมูลน้ำหนักและปริมาตร เป็นข้อมูลที่ได้จากสินค้าซึ่งสินค้าบางรายการจะมีการระบุน้ำหนักและปริมาตรไว้ แต่บางรายการจะไม่ระบุน้ำหนักและปริมาตรจะต้องคิดคำนวณหาค่าน้ำหนักและปริมาตร ซึ่งการคิดหาค่าปริมาตรสินค้าที่เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนสินค้าที่ไม่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะต้องมีการคิดค่าปริมาตรโดยการบรรจุหีบห่อให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังรูปที่ 5

3.3 ขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการวางแผนการจัดส่งสินค้า

บริษัทมีระบบการจัดเส้นทางการขนส่งโดยการพิจารณาจากความชำนาญของคนขับรถ จึงทำให้ระยะทางในการขนส่งขึ้นอยู่กับการศึกษาเส้นทางของคนขับรถ ซึ่งอาจทำให้เกิดการคาดคะเนไม่มีความแม่นยำและส่งผลให้ค่าใช้จ่าย

เพิ่มขึ้น ในระบบใหม่การจัดเส้นทางการขนส่งที่ผู้วิจัยทำขึ้นนี้สามารถคำนวณระยะทางการขนส่งรวมถึงระยะเวลาสามารถทราบได้ทันทีว่ารถที่จะไปส่งสินค้านั้นมีระยะทางในการขนส่งเท่าไรและสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าหลายคนโดยระบบจะทำการหาเส้นทางที่มีระยะทางในการขนส่งน้อยที่สุด โดยทำการตรวจสอบ 5 เงื่อนไข ดังนี้ จำนวนยานพาหนะ จำนวนรอบในการขนส่ง เวลาที่ยานพาหนะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นในแต่ละวันรวมทั้งน้ำหนัก และปริมาตรของยานพาหนะที่สามารถบรรทุกได้

3.3.1 สมมติฐานและข้อจำกัดในอัลกอริทึม

1) วางแผนเส้นทางสำหรับจัดส่งสินค้าวัสดุโครงสร้างที่สามารถวัดขนาดปริมาตรได้

2) ทราบข้อมูลล่วงหน้าเกี่ยวกับตำแหน่งที่อยู่สำหรับการจัดส่งสินค้าและจำนวนการสั่งซื้อ รวมทั้งวันที่ลูกค้าต้องการรับสินค้าที่จัดส่ง

3) กำหนดจำนวนพาหนะและขนาดของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า โดยกำหนดให้ใช้พนักงานขับรถ 1 คนต่อพาหนะ 1 คัน

4) เส้นทางการขนส่งแต่ละเส้นทางจะต้องเริ่มต้นจากบริษัทและกลับสู่บริษัทในแต่ละวัน ซึ่งรถทุกคันจะเริ่มต้นออกจากบริษัทเวลา 9.00 น. และต้องวนกลับมาที่บริษัทภายในระยะเวลา 17.00 น

5) ไม่สามารถแยกสินค้าและโอนสินค้าได้

6) เวลาที่ใช้ในการขึ้นลงสินค้าจะเป็นเวลาเฉลี่ยที่รวมอยู่ในเวลาที่ใช้ในการจัดส่งแต่ละเส้นทาง

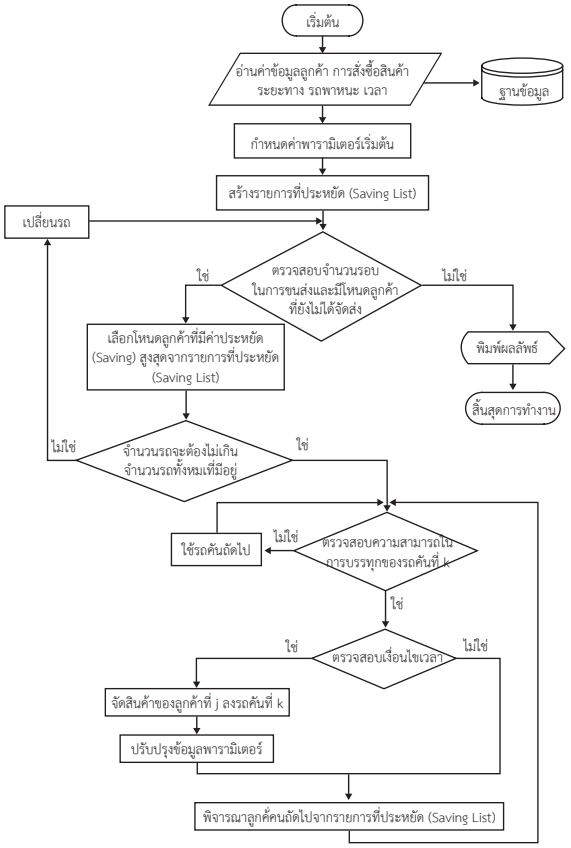
7) ไม่คำนึงการจัดวางหรือเรียงสินค้า

8) ในการคำนวณหาปริมาตรของสินค้านั้นจะคำนวณปริมาตรตามรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

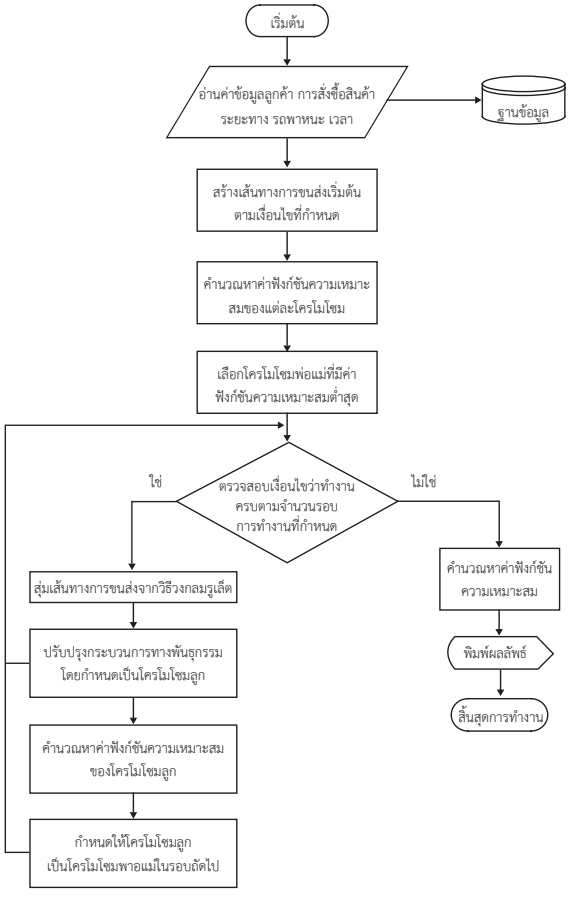
3.3.2 พารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในอัลกอริทึม ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการของวิธีการแบบประหยัดของของคล๊ากและไรท์และขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หมายเหตุ
K	เซตของรถพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งสินค้า	$K = 1,2,3$
L	เซตของจำนวนรอบในการขนส่ง	$L = 1,...,5$
N	เซตของโหนดลูกค้า	$N = \{1,...,N\}$
n	จำนวนลูกค้า	
k	ดัชนีของรถคันที่ k	$K = 0$
l	ดัชนีของรอบที่ l	$l = 0$
i, j	ดัชนีของโหนดลูกค้า	$i=\{1,...,N\}, j = \{1, 2,...,N\}$
A_k	น้ำหนักที่สามารถบรรทุกได้สูงสุดของรถคันที่ k	$A_1, A_2 = 2$ ตัน และ $A_3 = 6$ ตัน, $k \in K$
O_j	น้ำหนักรวมของสินค้าที่ลูกค้าคนที่ j สั่งซื้อ	$j \in J$
W_{kl}	น้ำหนักบรรทุกคงเหลือของรถคันที่ k รอบที่ l	$W_{lk} = a_k$ โดยที่ $k \in K, l \in L$
V_{kl}	ปริมาตรคงเหลือของรถคันที่ k รอบที่ l	$V_{lk} = B_k$ โดยที่ $k \in K, l \in L$
B_k	ปริมาตรสูงสุดของรถคันที่ k	$k \in K$
P_j	ปริมาตรรวมของสินค้าที่ลูกค้าคนที่ j สั่งซื้อ	$k \in K$
t_{kl}	เวลาทั้งหมดของรถคันที่ k รอบที่ l	$t_{kl} = 0$ โดยที่
e_k	เวลารวมที่ใช้ในการเดินทางของรถคันที่ k	$e_k = 0$ โดยที่ $k \in K$
f_{ij}, f_{j0}	เวลาที่ใช้ในการเดินทาง	โดยที่ $i \in N, j \in N$
U	เซตของโหนดลูกค้าทั้งหมดที่ยังไม่ได้จัดส่งสินค้า	
P_c	ค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์	
P_m	ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธ์	



รูปที่ 6 กระบวนการทำงานของวิธีแบบประหยัดของของคล๊ากและไรท์



รูปที่ 7 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

3.3.3 อัลกอริทึม (Algorithm)

ขั้นตอนของวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัดของ Clarke and Wright สร้างโมเดลเส้นทางการขนส่งวัสดุก่อสร้าง โดยมีข้อจำกัดของอัลกอริทึมและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งจะมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาระยะทางเส้นทางการจัดส่งของลูกค้าแต่ละราย

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่า Saving Cost

ขั้นตอนที่ 3 จัดเส้นทางการจัดส่งจากค่า Saving Cost โดยเลือกจากค่า Saving Cost ที่ค่าสูงสุด

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบเงื่อนไขและความสามารถของรถบรรทุก

ขั้นตอนที 5 ทำการจัดส่งสินค้า

ขั้นตอนของวิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำลำดับลูกค้ามาสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสลับยีนส์ภายในแต่ละลำดับรอบการวิ่ง

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาค่าความเหมาะสม (Fitness) ของประชากร เพื่อใช้เป็นโครโมโซมพ่อและแม่ ขั้นตอนที่ 4 ทำการคัดเลือกโดยการสุ่มด้วยวิธีวงล้อรูเล็ต

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงโครโมโซมด้วยกระบวนการทางพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาค่าความเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดการทำงาน ถ้าเป็นจริง จบการทำงาน ถ้าไม่เป็นจริง ให้ทำขั้นตอนที่ 3–7

4. ผลการทดลอง

การเปรียบเทียบผลการทดสอบอัลกอริทึม จากการศึกษาการจัดเส้นทางการขนส่ง ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างข้อมูลของวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2558 รวมเป็นระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์

ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสามารถคิดคำนวณจากผลรวมของค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา และค่าจ้างพนักงานขับรถ โดยกำหนดให้รถบรรทุก 4 ล้อ ใช้อัตราเชื้อเพลิง 10 กม./ลิตร และรถบรรทุก 6 ล้อ ใช้อัตราเชื้อเพลิง 5 กม./ลิตร และค่าบำรุงรักษา ได้แก่ การนำรถไปเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง ไส้กรองน้ำมันเครื่อง น้ำมันเบรค น้ำมัน power และน้ำมันเกียร์ เป็นต้น

จากการจัดเส้นทางพบว่าการจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัดของ Clarke and Wright และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังที่แสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ พบว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จะให้ระยะทางโดยรวมที่สั้นที่สุด และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าวิธีการแบบประหยัดของ Clarke and Wright

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อมูลระยะทางและค่าใช้จ่ายของวิธีการแบบปัจจุบันกับวิธีการแบบประหยัดของคล๊ากและไรท์

วัน/เดือน/ปี	ค่าผลต่างของวิธีการแบบปัจจุบันกับวิธีการแบบประหยัดของ Clarke and Wright	
	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
24/3/2558	226.50	1,544.41
25/3/2558	62.50	330.28
26/3/2558	2.20	192.21
27/3/2558	66.02	706.70
28/3/2558	2.20	192.21
29/3/2558	0.00	0.00
30/3/2558	92.40	1,121.48
รวม	451.82	4,087.29

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อมูลระยะทางและค่าใช้จ่ายของวิธีการแบบปัจจุบันกับขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม

วัน/เดือน/ปี	ค่าผลต่างของวิธีการแบบปัจจุบันกับขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม	
	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
24/3/2558	65.90	243.81
25/3/2558	62.50	330.28
26/3/2558	2.20	192.21
27/3/2558	66.02	706.7
28/3/2558	2.20	192.21
29/3/2558	0.00	0
30/3/2558	92.40	1,121.48
รวม	291.22	2,786.69

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าใช้จ่ายจากบริษัทไปยังลูกค้า โดยเปรียบเทียบการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการแบบปัจจุบันและการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมโดยใช้ Paired t-test พบว่าค่า p-value (0.035) มีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางการขนส่งโดยเปรียบเทียบการจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบปัจจุบันมีความแตกต่างกับขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม

5. อภิปรายและสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการกระจายสินค้าและอัลกอริทึมของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง มีการพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อคำนวณหาต้นทุนเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการขนส่ง โดยทำการศึกษาจากบริษัทจำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่ง มีการจัดส่งสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้างเฉพาะลูกค้าประจำ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำโปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งโดยนำวิธีการแบบประหยัดของ Clarke and Wright และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการจัดเส้นทางการขนส่งและ

มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะทางและค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยใช้วิธีการแบบประหยัด ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการแบบปัจจุบันของบริษัท ซึ่งพบว่าในการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพมากกว่า โดยมีระยะทางในการจัดเส้นทางน้อยกว่าวิธีการดำเนินในปัจจุบันถึง 32.99% และทำให้ค่าใช้จ่ายของบริษัทลดลงไปได้ 45.23%

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Deesomboon, *Transportation Simulation Design.* Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1996 (in Thai).

[2] J. Masakul, "*Cost reduction of goods delivery system: A case study in Malca-Amit (Thailand) Ltd*.," Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2009 (in Thai).

[3] P. Auppatam, "The study of suitable route for waste collection: A case study of Thasala subdistrict administrative organization, Manchakiri district, Khonkean province," M.S. thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree university, 2013 (in Thai).

[4] B. Ombuki, B. J. Ross, and F. Hanshar. "Multi objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows," *Applied Intelligence*, vol. 21, no. 1, pp. 17–30, 2006.

[5] Y. Lin, W. Li, F. Qiu, and H. Xu, "Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 43, pp. 494–502, 2012.

[6] P. Flisberg, B. Lidén, and M. Rönnqvist. "A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks," *Computers & Operations Research*, vol. 36, no. 4, pp. 1122–1144, 2009.

[7] B. E. Gillett and L. R. Miller, "A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem," *Operations Research*, vol. 22, pp. 340–349, 1974.

[8] P. Pongcharoen, C. Hicks, P. M. Braiden, and D. J. Stewardson, "Determining optimum genetic algorithm parameters for scheduling the manufacturing and assembly of complex products," *International Journal of Production Economics*, vol. 78, no. 3, pp. 311–322, 2002.

[9] S. H Zanakis and J. R. Evans, "Heuristic optimization: why, when, and how to use it." *Interfaces*. vol. 11, no. 5, pp. 84–91, 1981.

[10] B. L. Golden, T. L. Magnanti, and H. Q. Nguyen. "Implementing vehicle routing algorithms." *Networks*. vol. 7, no. 2, pp. 113–148, 1977.

[11] G. Laporte, M. Gendreau, J.-Y. Potvin, and F. Semet. "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem," *International Transactions in Operational Research*. vol. 7, no. 4–5, pp. 285–300, 2000.

[12] N. Kanchanarat, "A transportation routing system: A case study of transportating knock-down furniture," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 1999 (in Thai).

[13] K. Srimuang, "Fleet size determination in freight transportation for retail business a case study of TOPS supermarket," M.Eng. thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2007 (in Thai).

[14] K. Supakdee, N. Nanthasamroeng, and R.

Pitakaso. "Solving a vehicle routing problem for medical equipment maintenance by saving algorithms: A case study of ubon ratchathani provincial health office," *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol. 7, pp. 23–36, 2015.

[15] T. Kangha, S. Jongruk, and P. Neammanee, "Vehicle routing of school bus using genetic algorithm," *OR-Net*, pp. 49–58, 2005.

[16] A. Khadwilard, "Application of genetic algorithm for optimisation problems," *Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Research Journal*, vol. 5, no. 2, 2011 (in Thai).

[17] S. R. Thangiah, J-Y. Potvin, and T. Sun, "Heuristic approaches to vehicle routing problem with backhauls and time windows," *Computer and Operations Research*, vol. 23, no. 11, pp. 1043–1057, 1996.

[18] G. Clarke and J. W. Wright, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points," *Operation Research*. vol. 12, no. 4, pp. 568–581, 1964.

[19] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambridge, MA: MIT Press., 1975.

[20] X-S. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms.* United Kingdom, Luniver Press., 2008.

[21] M. Gen and R. Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Optimization (Engineering Design and Automation).* New York: Wiley-Interscience, 1997.

[22] W. Laoraksakiat, "A genetic algorithm for the multicompartment inventory routing problem in the distribution of the multi-type of fuel oils," M.Eng. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand, 2012.