วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถในระบบที่มีสองคลังสินค้าหลายร้านค้าปลีก โดยรองรับเส้นทางแบบเปิด

Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem in Two-Depot Multi-Retailer allowing Open Loop Vehicle Routing

ฐิติรัตน์ วิวิธเกยูรวงศ์[1*] และ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์[2]
[1]โครงการปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม (ภาคพิเศษ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]อีเมล์: titirat.v@ku.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Titirat Vivithkeyoonvong[1*] and Wisut Supithak[2]
[1]Graduate program in Engineering Management, Faculty of Engineering, Kasetsart University
[*]E-mail: titirat.v@ku.th
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถในระบบที่มีสองคลังสินค้าและร้านค้าปลีกหลายรายด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมต่อปี ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ต้นทุนการขนส่งสินค้า และต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้า วิธีเชิงพันธุกรรมดังกล่าว สามารถสร้างคำตอบทั้งในรูปแบบเส้นทางเดินรถแบบปิด ซึ่งรถจำเป็นต้องกลับมาที่คลังสินค้าเดิมหลังจากส่งสินค้าเสร็จสิ้นแล้ว และรูปแบบเส้นทางเดินรถแบบเปิด ซึ่งรถไม่จำเป็นต้องกลับมาที่คลังสินค้าเดิม สามารถสิ้นสุดเส้นทางที่อีกคลังสินค้าหนึ่งได้ ทั้งนี้คำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมได้แสดงรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าสำหรับเส้นทางเดินรถดังกล่าวด้วย เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีเชิงพันธุกรรมที่ถูกพัฒนาขึ้น ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาปัญหา 270 ปัญหา ที่มีปัจจัยจำนวนร้านค้าปลีกแตกต่างกัน 3 ระดับ และปัจจัยต้นทุนคงที่จากการมีรถส่งสินค้าต่อคันแตกต่างกัน 3 ระดับ จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีเชิงละโมบ พบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอในงานวิจัยสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 270 ปัญหา โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยของคุณภาพคำตอบเป็นร้อยละ 10.33 ทั้งนี้เมื่อปัจจัยจำนวนร้านค้าปลีกและปัจจัยต้นทุนคงที่จากการมีรถส่งสินค้าต่อคันมีค่าสูงขึ้น คำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมมีลักษณะเป็นเส้นทางเดินรถแบบเปิดมากขึ้น

คำหลัก วิธีเชิงพันธุกรรม ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด

Abstract

The research studies a genetic algorithm for solving the two-depot multi-retailer vehicle routing problem to minimize the annual total cost, composed of holding cost, transportation cost, and fixed cost due to vehicle occupancy. The proposed genetic algorithm can develop both close loop vehicle routing and open loop vehicle routing. Unlike the close loop vehicle routing which requires each vehicle to return to its original depot, the open loop vehicle routing allows each vehicle to end its route at another depot. The reorder interval can also be obtained from the chromosome representation. In order to evaluate the efficiency of proposed genetic algorithm, the experiment has been conducted on 270 problems at three difference levels of number of retailers and the vehicle occupancy cost. The solution obtained from the

genetic algorithm is compared with solution yielded from the Greedy heuristic. The results shows that, for all 270 experimental problems, the proposed genetic algorithm can provide better solution with the average deviation percentage of 10.33, approximately. Moreover, it has been found that when a number of retailers and the fixed cost due to vehicle occupancy are increased, the open loop vehicle routing tends to yield better solution than the closed loop vehicle routing.

Keywords: Genetic Algorithm, Vehicle Routing Problem, Open Vehicle Routing

1. บทนำ

ในปัจจุบันที่สภาวะการแข่งขันทางธุรกิจมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น ทุกองค์กรพยายามเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของตนในทุกด้าน โดยเฉพาะการลดต้นทุนในกระบวนการต่างๆ ทั้งนี้ต้นทุนการมีสินค้าคงคลัง และต้นทุนการขนส่งจัดเป็นต้นทุนหลักที่สำคัญในการดำเนินธุรกิจ ซึ่งทุกองค์กรต่างให้ความสำคัญกับกิจกรรมในการลดต้นทุนดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ปัญหาด้านการวางนโยบายการเติมเต็มสินค้ารวมถึงการจัดเส้นทางเดินรถจึงได้รับความสนใจมากขึ้น [1] ได้ทำการศึกษาระบบการขนส่งสินค้าที่มีขนาดใหญ่ และกระจายตัวในบริเวณกว้าง พบว่าการมีคลังสินค้าเพียงหนึ่งแห่ง (Single Depot network, SD) จะมีต้นทุนในการขนส่ง (Transportation cost) เพิ่มขึ้นแปรตามระยะทางอย่างรวดเร็ว ในทำนองกลับกัน ระบบขนส่งสินค้าที่มีหลายคลังสินค้า (Multi Depot network, MD) ต้นทุนในการขนส่งสินค้าจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มจำนวนคลังสินค้า ปัญหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถของระบบที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi Depot Vehicle Routing Problem, MDVRP) ได้ถูกรวบรวมไว้โดย [2] ทั้งนี้การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในระบบที่มีหลายคลังสินค้ามักเริ่มจากการแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาที่มี 1 คลังสินค้าย่อย [3] ได้นำเสนอวิธีการแบ่งปัญหาเป็นกลุ่มย่อยโดยพิจารณาระยะทางจากร้านค้าปลีกไปยังคลังสินค้าที่ใกล้ที่สุด และพิจารณาระยะทางจากร้านค้าปลีกไปยังร้านค้าปลีกที่ใกล้ที่สุด ทั้งนี้วิธีสหวิวัฒนาการ (Co-evolution) ได้ถูกนำเสนอเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับแต่ละปัญหาย่อย [4]นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับระบบที่มีหลายคลังสินค้า และรถขนส่งสินค้ามีกำลังการขนส่งจำกัดด้วยวิธีฮิวริสติก และใช้ BDRT (Between Depot Reduction Test) ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่างคลังสินค้าที่ใกล้ที่สุด กับคลังสินค้าที่อยู่ใกล้รองลงไปในการกำหนดร้านค้าปลีกให้แต่ละคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิธีฮิวริสติก [5]ศึกษาการแก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถในระบบที่มีหลายคลังสินค้า ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา ระยะทางและกำลังการขนส่งของรถขนส่งด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้ Sector clustering algorithm เพื่อแบ่งกลุ่มลูกค้าออกเป็นปัญหาที่มีหนึ่งคลังสินค้า

การแบ่ง MDVRP ออกเป็น SDVRP ย่อย ทำให้ง่ายต่อการแก้ปัญหา แต่โครงข่ายที่มีคลังสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่งเป็นโครงข่ายที่มีความซับซ้อน และยืดหยุ่นสูง แต่หากวางแผนการจัดส่งสินค้าของแต่ละคลังสินค้าแยกกันอาจทำให้เสียโอกาสในการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดเส้นทางเดินรถไป[1]

การศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถส่วนใหญ่นำเสนอเส้นทางเดินรถรูปแบบปิดซึ่งรถขนส่งสินค้าจำเป็นต้องกลับไปยังคลังสินค้าต้นทาง การที่ระบบมีคลังสินค้าหลายแห่ง อาจทำให้ระยะทางรวมและจำนวนรถในระบบเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่รถแต่ละคันมีอรรถประโยชน์ของการใช้รถน้อย ในทางกลับกัน เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดสามารถทำให้เกิดการใช้รถร่วมกันได้ จำนวนรถและระยะทางรวมในระบบอาจจะลดลง อรรถประโยชน์ของการใช้รถเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem, OVRP) มีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไป คือ เส้นทางสำหรับ OVRP เป็น Hamiltonian path คือรถไม่จำเป็นต้องกลับมาที่คลังสินค้าเดิม ในขณะที่เส้นทางสำหรับ VRP เป็น Hamiltonian cycle[6] การที่รถไม่จำเป็นต้องกลับมาที่คลังสินค้าเดิม สามารถลดระยะทางที่รถวิ่งเปล่า (Empty kilometers) ของระบบลงได้[1] การจัดเส้นทางเดินรถที่ดีช่วยลดต้นทุนในการขนส่ง แต่อย่างไรก็

ตามกระบวนการกระจายสินค้าไม่ได้มีเพียงต้นทุนในการขนส่งเท่านั้น แต่ยังมีต้นทุนของการจัดเก็บสินค้าคงคลังด้วย ซึ่งต้นทุนสองส่วนที่กล่าวข้างต้นนั้นมีความสัมพันธ์กันดังนี้ หากลดจำนวนครั้งที่ขนส่งต่อปี ต้นทุนการขนส่งรายปีจะลดลง แต่สินค้าที่ถูกจัดส่งจำนวนมากในหนึ่งครั้งจะส่งผลให้ต้นทุนการจัดเก็บเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน หากลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้า โดยลดจำนวนสินค้าคงคลังให้น้อยลง และขนส่งสินค้าจำนวนน้อยในแต่ละรอบการขนส่ง แต่เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการสินค้าในแต่ละปี (Annual demand) จึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนครั้งในการจัดส่งสินค้าต่อปีให้มากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งรายปีเพิ่มขึ้น ในระบบที่มีการเติมเต็มสินค้า นอกจากการจัดเส้นทางเดินรถแล้ว การพิจารณารอบเวลาการเติมเต็มยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ต้นทุนรวมในระบบลดลงด้วย ทั้งนี้รอบเวลาการเติมเต็มที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับต้นทุนสินค้าคงคลัง และอุปสงค์ของร้านค้าปลีกแต่ละรายในเส้นทางเติมเต็มสินค้าดังกล่าวด้วย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถในระบบที่มีสองคลังสินค้า หลายร้านค้าปลีก โดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนรวมต่อปี ซึ่งคำนึงถึงต้นทุนการขนส่งสินค้า ต้นทุนการสั่งซื้อสินค้า ต้นทุนการจัดเก็บสินค้า และต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่ง ทั้งนี้วิธีเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอในงานวิจัย สามารถสร้างคำตอบได้ทั้งเส้นทางเดินรถรูปแบบปิด และเส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดที่นอกจากจะช่วยเพิ่มโอกาสให้สามารถค้นหาคำตอบที่มีต้นทุนต่ำแล้ว เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดยังช่วยเพิ่มอรรถประโยชน์ของการใช้รถขนส่งและช่วยลดจำนวนของรถขนส่งสินค้าในระบบด้วย

ข้อมูลส่วนที่เหลือของงานวิจัยถูกนำเสนอตามลำดับดังนี้ ส่วนที่ 2 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ส่วนที่ 3 คุณลักษณะของปัญหาในงานวิจัย ส่วนที่ 4 การพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรม ส่วนที่ 5 การวัดประสิทธิภาพของวิธีเชิงพันธุกรรม และส่วนที่ 6 สรุปและวิจารณ์

2. คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีสัญลักษณ์และคำย่อ ดังนี้

TC_p ต้นทุนรวมรายปีของโครโมโซมที่ p (บาท/ปี)

RC ต้นทุนการสั่งซื้อสินค้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งรายปี (บาท/ปี)

HC ต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลังรายปี (บาท/ปี)

VC ต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่ง (บาท/ปี)

h สัดส่วนค่าถือครองสินค้า (Holding cost fraction)

C ราคาสินค้าจำหน่าย (บาท/หน่วย)

Q_j ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าของร้านค้าปลีก j (หน่วย/รอบ) เมื่อ $j = 1, 2, \dots, n$

n จำนวนร้านค้าปลีกในระบบ

S_i ต้นทุนขนส่งคงที่ของคลังสินค้า i (บาท/รอบ) เช่น ค่าโสหุ้ยในการสั่งสินค้า
เมื่อ $i = 1, 2, \dots, d$

r ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงขนส่งสินค้า (บาท/กิโลเมตร)

X_i ระยะทางรวมต่อรอบของเส้นทางเดินรถที่ออกจากคลังสินค้า i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, d$ (กิโลเมตร)

m_i จำนวนรอบการเติมเต็มสินค้าต่อปี สำหรับการเติมเต็มสินค้าจากคลังสินค้า i (รอบ/ปี)
เมื่อ $i = 1, 2, \dots, d$

T_i รอบระยะเวลาการเติมเต็มสินค้า สำหรับการเติมเต็มสินค้าจากคลังสินค้า i (ปี) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, d$

d จำนวนคลังสินค้าในระบบ

v ต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งหนึ่งคัน (บาท/คัน/ปี)

k จำนวนรถขนส่งที่ใช้ในระบบ (คัน)

D_{ij} ความต้องการสินค้าของร้านค้าปลีก j ที่ถูกเติมเต็มสินค้าจากคลังสินค้า i (หน่วย/ปี)
เมื่อ $j = 1, 2, \dots, n$ และ $i = 1, 2, \dots, d$

Q_{max} จำนวนสินค้าสูงสุดที่รถขนส่งหนึ่งคันสามารถบรรทุกได้ (หน่วย)

N_{init} จำนวนประชากรตั้งต้น

r_x ความน่าจะเป็นในการเกิด Crossover (Crossover rate)

r_m ความน่าจะเป็นในการกลายพันธ์ (Mutation rate)

F_p ความน่าจะเป็นสะสมของโครโมโซมที่ p
เมื่อ $p = 1, 2, \dots, 2N_{init}$

P_p ความน่าจะเป็นที่โครโมโซมที่ p จะถูกคัดเลือก
เมื่อ $p = 1, 2, \dots, 2N_{init}$

O_p คุณภาพคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรม มีค่าเป็นส่วนกลับของต้นทุนรวมรายปีสำหรับโครโมโซมที่ p

เมื่อ $p = 1, 2, \dots, 2N_{init}$

3. ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา

งานวิจัยพิจารณาระบบที่มี 2 คลังสินค้า ร้านค้าปลีกหลายราย แต่ละร้านค้าปลีกมีอุปสงค์สินค้าแตกต่างกัน รถขนส่งสินค้ามีกำลังการขนส่งจำกัด โดยการเติมเต็มสินค้าให้ร้านค้าปลีก เส้นทางเดินรถสามารถเป็นได้ทั้งรูปแบบเส้นทางแบบปิด คือ รถขนส่งสินค้าสิ้นสุดเส้นทางการเติมเต็มสินค้าที่คลังสินค้าต้นทาง และเส้นทางเดินรถแบบเปิด คือ รถขนส่งสินค้าสิ้นสุดเส้นทางการเติมเต็มสินค้าที่อีกคลังสินค้าหนึ่ง จุดประสงค์ของงานวิจัยเป็นการพิจารณาหาเส้นทางเดินรถและรอบการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (TC) ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง (HC) ต้นทุนการขนส่งสินค้า (RC) และต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้า (VC) ซึ่งสามารถเขียนค่าใช้จ่ายรวมได้ดังสมการที่ 1

$$TC = HC + RC + VC \qquad (1)$$

ต้นทุนจัดเก็บสินค้าคงคลังต่อปี (HC) มีค่าเท่ากับผลรวมค่าจัดเก็บสินค้าคงคลังเฉลี่ยของทุกร้านค้าปลีก ดังแสดงในสมการที่ 2

$$HC = \frac{1}{2} hC \sum_{j=1}^{n} Q_j \qquad (2)$$

ต้นทุนที่เกิดจากการขนส่งต่อปี (RC) เท่ากับผลรวมของต้นทุนขนส่งคงที่ต่อปีซึ่งเกิดจากค่าโสหุ้ยต่างๆ ที่แต่ละคลังสินค้าในการเติมเต็มแต่ละรอบ และต้นทุนขนส่งแปรผันต่อปีซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับค่าเชื้อเพลิงในการเดินทาง สมการที่ 3 แสดงการคำนวณต้นทุนที่เกิดจากการขนส่งต่อปี

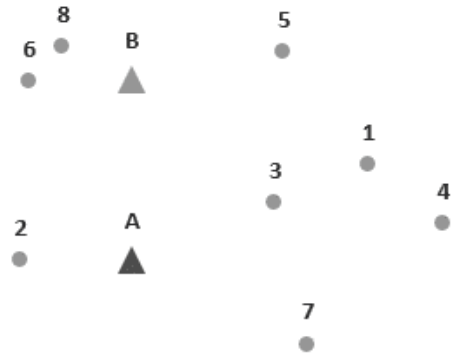
$$RC = \sum_{i=1}^{d} m_i S_i + \sum_{i=1}^{d} r m_i X_i \qquad (3)$$

ต้นทุนจากการมีรถขนส่งสินค้าต่อปี (VC) เป็นต้นทุนที่เกิดจากการมีรถขนส่งสินค้าในระบบ ซึ่งพิจารณาได้จากค่าเสื่อมราคาของรถขนส่งในแต่ละปี ทั้งนี้ในระบบการขนส่งแบบปิด (Closed loop vehicle routing) หากไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านกำลังการขนส่งของรถ จำนวนรถขนส่งจะมีค่าเท่ากับจำนวนคลังสินค้า เนื่องจากรถขนส่งต้องสิ้นสุดการเดินทางที่คลังสินค้าต้นทางเสมอ ในทำนองกลับกัน ระบบการขนส่งแบบเปิด (Open loop vehicle routing) สามารถมีรถขนส่งเพียงหนึ่งคันทั้งระบบได้ ต้นทุนการมีรถขนส่งสินค้าต่อปีสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$VC = kv \qquad (4)$$

คุณลักษณะของปัญหาสามารถถูกพิจารณาได้ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้ระบบประกอบด้วยคลังสินค้า 2 แห่ง ค่าโสหุ้ยในการสั่งซื้อสินค้าสำหรับแต่ละคลังสินค้าท่ากับ 500 บาทต่อครั้ง และร้านค้าปลีก 8 ราย มีอุปสงค์สินค้ารายปีเท่ากับ 3,200 1,400 1,900 1,600 2,700 2,900 2,900 และ 4,500 หน่วยต่อปี ตามลำดับ โดยต้นทุนสินค้าจำหน่ายมีมูลค่าเป็น 1,800 บาทต่อหน่วย สัดส่วนค่าถือครองสินค้าร้อยละ 0.2 ของต้นทุนสินค้าจำหน่าย รถขนส่งสินค้าแต่ละคันมีต้นทุนจากการมีรถขนส่งคงที่เท่ากับ 200,000 บาทต่อปีต่อคัน ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลเมตร และมีกำลังการขนส่งสูงสุด 500 หน่วยต่อคัน การกระจายตัวของคลังสินค้าและร้านค้าปลีกของปัญหาตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 1 และเมตริกซ์ระยะทางของปัญหาตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 1

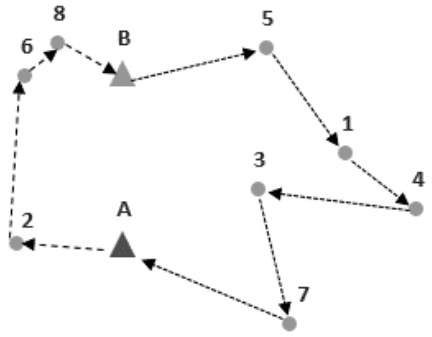


รูปที่ 1 การกระจายตัวของคลังสินค้าและร้านค้าปลีกในปัญหาตัวอย่าง

ตารางที่ 1 เมตริกซ์ระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 1

	A	B	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0	600	435	140	262	409	716	606	358	711
B	600	0	410	616	448	618	211	129	909	136
1	435	410	0	540	173	218	387	507	605	545
2	140	616	540	0	372	545	765	592	458	708
3	262	448	173	372	0	222	500	507	474	581
4	409	618	218	545	222	0	603	702	437	755
5	716	211	387	765	500	603	0	335	972	277
6	606	129	507	592	507	702	335	0	941	122
7	358	909	605	458	474	437	972	941	0	1035
8	711	136	545	708	581	755	277	122	1035	0

กำหนดให้คำตอบที่สนใจ (ซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) เป็นเส้นทางเดินรถรูปแบบเปิด โดยเส้นทางที่ 1 เป็น A→2→6→8→B ซึ่งมีระยะทางเป็น 990 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 2 เป็น B→5→1→4→3→7→A ซึ่งมีระยะทางเป็น 1,870 กิโลเมตร รอบระยะเวลาขนส่งทุก 10 วัน ที่ 360 วันทำงานต่อปี สามารถแสดงเส้นทางการขนส่ง และปริมาณเติมเต็มต่อรอบของแต่ละร้านค้าปลีกได้ดังภาพที่ 2 และตารางที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 2 เส้นทางการขนส่งของคำตอบที่สนใจสำหรับตัวอย่างที่ 1

ตารางที่ 2 ปริมาณเติมเต็มต่อรอบของแต่ละร้านค้าปลีก

j	$\sum_{\forall i} D_{ij}$	$Q_j = \sum_{\forall i} D_{ij}\, T_i$
1	3200	(3200)(10/360) = 87.67
2	1400	(1400)(10/360) = 38.36
3	1900	(1900)(10/360) = 52.05
4	1600	(1600)(10/360) = 43.84
5	2700	(2700)(10/360) = 73.97
6	2900	(2900)(10/360) = 79.45
7	2900	(2900)(10/360) = 79.45
8	4500	(4500)(10/360) = 123.29
$\sum_{j=1}^{n} Q_j$		578.08

จากคำตอบที่แสดง สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายต่อปีได้ดังนี้

$$HC = \left(\frac{1}{2}\right)(0.2)(1800)(578.08)$$
$$= 104{,}054.79 \text{ บาทต่อปี}$$
$$RC = (500 + 500)\left(\frac{360}{10}\right) + (5)\left(\frac{360}{10}\right)(990 + 1{,}870)$$
$$= 514{,}800 \text{ บาทต่อปี}$$
$$VC = (1)(200{,}000) \text{ บาทต่อปี}$$
$$TC = (104{,}054.79 + 514{,}800 + 200{,}000)$$
$$= 818{,}854.79 \text{ บาทต่อปี}$$

4. การพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรม

4.1 การเข้ารหัส และถอดรหัสโครโมโซม

โครโมโซมถูกแทนด้วยเวกเตอร์ของจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0 และน้อยกว่า หรือเท่ากับ n โดยมีหลักดังนี้

1) จำนวนสมาชิกของเวกเตอร์มีค่าเท่ากับ $n + d - 1$

2) สมาชิกของเวกเตอร์ที่มีค่ามากกว่า 0 แทนร้านค้าปลีก

3) จำนวนเส้นทางจัดส่งสินค้ามีค่าเท่ากับจำนวนชุดเลขจำนวนเต็มที่เรียงติดกันโดยไม่มีเลข 0 คั่น

4) จำนวนเต็ม 0 หมายถึงจุดสิ้นสุดเส้นทางปัจจุบันและเป็นจุดเริ่มต้นเส้นทางใหม่

5) ก่อนการคำนวณคุณภาพคำตอบ 1 โครโมโซมสามารถแทนคำตอบได้ 2 คำตอบ คือ เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดที่ใช้รถขนส่งสินค้า 1 คัน และเส้นทางเดินรถรูปแบบปิดที่ใช้รถขนส่งสินค้า 2 คัน จากนั้นโครโมโซมจะถูกกำหนดให้แทนคำตอบเพียงคำตอบเดียวคือเส้นทางเดินรถรูปแบบที่มีต้นทุนรวมต่ำกว่า

จากวิธีการเข้ารหัสโครโมโซม สามารถจำแนกรูปแบบของเส้นทางเดินรถในงานวิจัยได้ทั้งสิ้น 4 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 เส้นทางเดินรถรูปแบบปิด 2 เส้นทาง เช่น

“2 3 1 4 6 0 8 5 7”

โครโมโซมข้างต้น สามารถตีความในรูปแบบที่ 1 ได้ว่า รถคันที่ 1 ออกจากคลังสินค้า A ไปยังร้านค้าปลีกที่ 2 3 1 4 และ 6 ตามลำดับ จากนั้นกลับไปจอดที่คลังสินค้า A ด้วยรอบ

ระยะเวลาการจัดส่งสินค้าเท่ากับ T_1 ในขณะที่รถคันที่ 2 ออกจากคลังสินค้า B ไปยังร้านค้าปลีกที่ 8 5 และ 7 ตามลำดับ จากนั้นกลับไปจอดที่คลังสินค้า B ด้วยรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าเท่ากับ T_2 โดยที่รอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าของทั้งสองเส้นทางไม่จำเป็นจะต้องเท่ากัน

รูปแบบที่ 2 เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิด 2 เส้นทาง เช่น

“2 3 1 4 6 0 8 5 7”

โครโมโซมข้างต้น สามารถตีความในรูปแบบที่ 2 ได้ว่า รถคันที่ 1 ออกจากคลังสินค้า A ไปยังร้านค้าปลีกที่ 2 3 1 4 และ 6 ตามลำดับ จากนั้นไปจอดที่คลังสินค้า B ด้วยรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าเท่ากับ T_{joint} และใช้รถขนส่งสินค้าคันเดิม ออกจากคลังสินค้า B ไปยังร้านค้าปลีกที่ 8 5 และ 7 ตามลำดับ จากนั้นไปจอดที่คลังสินค้า A ด้วยรอบเวลาในการส่งสินค้าเท่ากับ T_{joint} เช่นกัน เพื่อป้องกันปัญหารถขาดแคลน สังเกตได้ว่าเส้นทางเดินรถรูปแบบเปิด 2 เส้นทาง มีข้อได้เปรียบกว่าคำตอบรูปแบบที่ 1 เนื่องจากสามารถใช้รถหนึ่งคันให้บริการได้ทั้งสองคลังสินค้า ทำให้ต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งต่ำกว่า และอรรถประโยชน์ของรถขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้นด้วย

รูปแบบที่ 3 เส้นทางเดินรถรูปแบบปิด 1 เส้นทาง เช่น

“0 8 5 1 4 6 7 10 2 3 12 9 11”

โครโมโซมข้างต้นสามารถตีความในรูปแบบที่ 3 ได้ว่า รถคันที่ 1 ออกจากคลังสินค้า A ไปยังร้านค้าปลีกที่ 8 5 1 4 6 7 10 2 3 12 9 และ 11 ตามลำดับ จากนั้นกลับไปจอดที่คลังสินค้า A ด้วยรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าเท่ากับ T_1 เส้นทางเดินรถรูปแบบที่ 3 ใช้รถหนึ่งคัน กระจายสินค้าจากคลังสินค้า 1 แห่งให้กับทุกร้านค้าปลีก ทำให้มีต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้าเพียง 1 คัน และเกิดต้นทุนค่าโสหุ้ยในการสั่งสินค้าที่ 1 คลังสินค้า

รูปแบบที่ 4 เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิด 1 เส้นทาง เช่น

“0 8 5 1 4 6 7 10 2 3 12 9 11”

โครโมโซมข้างต้นสามารถตีความในรูปแบบที่ 4 ได้ว่า รถคันที่ 1 ออกจากคลังสินค้า A ไปยังร้านค้าปลีกที่ 8 5 1 4 6 7 10 2 3 12 9 และ 11 ตามลำดับ จากนั้นไปจอดที่คลังสินค้า B ด้วยรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าเท่ากับ T_{joint} จากนั้นรถขนส่งคันดังกล่าวจะต้องออกจากคลังสินค้า B ไปยังคลังสินค้า A ด้วยรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าเท่ากับ T_{joint} เช่นกัน โดยไม่ได้นำส่งสินค้าให้ร้านค้าปลีกรายใด เพื่อป้องกันปัญหารถขาดแคลน สังเกตได้ว่าเส้นทางเดินรถรูปแบบที่ 4 สามารถถูกทดแทนได้ด้วยรูปแบบที่ 3 ซึ่งมีต้นทุนรวมต่ำกว่า ดังนั้นเส้นทางเดินรถรูปแบบที่ 4 จึงไม่มีโอกาสเป็นคำตอบที่เหมาะสมของวิธีเชิงพันธุกรรมในงานวิจัยได้

4.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)

สำหรับงานวิจัยนี้ ประชากรตั้งต้น N_{init} โครโมโซม ประกอบไปด้วย $N_{init} - 1$ โครโมโซมจากการสุ่มอิสระ และ 1 โครโมโซมจากวิธีแบ่งปัญหาออกเป็น SDVRP ของ [3] จากนั้นใช้วิธีเชิงละโมบหาเส้นทางเดินรถของแต่ละปัญหาย่อย

4.3 การไขว้สายพันธุ์ (Crossover)

การจับคู่โครโมโซมเกิดจากการสุ่มเลือกโครโมโซม P1 และ P2 อย่างอิสระจาก N_{init} โครโมโซม เพื่อสร้างโครโมโซมลูกโดยนำโครโมโซม P1 และ P2 มาผ่านกระบวนการ Uniform crossover ซึ่งมีโอกาสเกิดการ crossover เป็นร้อยละ r_x และจะเกิดการ crossover จนกว่าโครโมโซมลูกจะมีจำนวนเท่ากับโครโมโซมพ่อแม่ กระบวนการ Uniform crossover มีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างรูปแบบการ Crossover เป็นเวกเตอร์ของเลขฐานสองขนาดเท่ากับโครโมโซม โดยแต่ละตำแหน่งของเวกเตอร์ มีโอกาสเป็น 0 หรือ 1 จากการสุ่มอิสระด้วยความน่าจะเป็นเท่ากันคือ 0.5

2) คัดลอกยีนในตำแหน่งที่สมาชิกของเวกเตอร์รูปแบบมีค่าเป็น 1 จากโครโมโซมพ่อแม่ไปยังโครโมโซมลูก โดยลูก Child1 คัดลอกจากพ่อแม่ P1 และลูก Child2 คัดลอกจากพ่อแม่ P2

3) คัดลอกยีนตำแหน่งที่เหลือจากโครโมโซมพ่อแม่อีกโครโมโซม (Child1 คัดลอกจาก P2 และ Child2 คัดลอกจาก P1) โดยคัดลอกทีละยีนจากยีนที่ 1 ไปจนถึงยีนสุดท้ายตามลำดับ โดยไม่คัดลอกยีนเหมือนกับยีนที่โครโมโซมลูกมีการ Crossover 1 ครั้ง จะเกิดโครโมโซมลูก 2 โครโมโซม

4.4 การกลายพันธุ์ (Mutation)

ใช้วิธีสลับตำแหน่งของยีนในโครโมโซม โดยสุ่มเลือกตำแหน่ง 2 ตำแหน่งใน 1 โครโมโซม และสลับยีนใน 2 ตำแหน่งดังกล่าว ทุกโครโมโซมมีโอกาสเกิดการกลายพันธุ์ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากัน คือ r_m

4.5 การคำนวณคุณภาพโครโมโซม (Evaluation)

คุณภาพของโครโมโซมถูกคำนวณเพื่อให้โครโมโซมที่ต้นทุนรวมต่อปีต่ำมีโอกาสถูกคัดเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีต้นทุนรวมต่อปีสูง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$O_p = {}^{1}/_{TC_p} \qquad (5)$$

รอบเวลาการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสมมีส่วนทำให้คุณภาพของโครโมโซมดีขึ้น สำหรับปัญหาที่ไม่มีข้อจำกัดด้านกำลังการขนส่งของรถสามารถคำนวณรอบเวลาการจัดส่งสินค้าได้ดังสมการที่ 6

$$T_i = \sqrt{{}^{2(S_i + rX_i)}/_{hC\sum_{\forall j} D_{ij}}} \qquad (6)$$

รอบระยะเวลาการจัดส่งที่ได้ คือรอบระยะเวลาที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำสุดซึ่งเป็นจุดที่ต้นทุนการสั่งซื้อสินค้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่ง (Reordering cost) มีค่าเท่ากับต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง (Holding cost)

ปัญหาในงานวิจัยเป็นปัญหาที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการขนส่งของรถ ซึ่งส่งผลให้เกิดข้อจำกัดกับรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าด้วย ดังแสดงในสมการที่ 7

$$T_i = min\left(\sqrt{{}^{2(S_i + rX_i)}/_{hC\sum_{\forall j} D_{ij}}}\ ,\ {}^{Q_{max}}/_{\sum_{\forall j} D_{ij}}\right) \qquad (7)$$

4.6 การคัดเลือกโครโมโซม (Selection)

จากประชากรทั้งหมดในรุ่นนั้นๆ จะถูกคัดเลือกเพื่อเป็นโครโมโซมพ่อแม่ของรุ่นถัดไป โดยมี 1 โครโมโซม คือ โครโมโซมที่ดีที่สุด และ $N_{init} - 1$ โครโมโซมจากการสุ่มอิสระเทียบกับวงล้อรูเล็ต (Roulette wheel)

วงล้อรูเล็ตสร้างจากสมการที่ 8 และ 9

$$F_p = \sum_{s=1}^{p} P_s \qquad (8)$$

$$P_p = {}^{O_p}/_{\sum_{q=1}^{2N_{init}} O_q} \qquad (9)$$

4.7 การหยุดกระบวนการ (Stopping criteria)

การหยุดกระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับงานวิจัยสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยเงื่อนไขสองประการได้แก่

4.7.1 เงื่อนไขการลู่เข้าของคุณภาพคำตอบ

4.7.2 จำนวนรอบสูงสุดของกระบวนการ

5. การวัดประสิทธิภาพ

ทดสอบวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งเป็นผลของการวิจัยกับปัญหาจำลอง 270 ปัญหา โดยมีปัจจัยจำนวนร้านค้าปลีกแตกต่างกัน 3 ระดับ และปัจจัยต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้าต่อคัน แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยตำแหน่งของร้านค้าปลีกและความต้องการสินค้าต่อปีของแต่ละปัญหาแตกต่างกัน พบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอในงานวิจัยสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 270 ปัญหา โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยของคุณภาพคำตอบเป็นร้อยละ 10.33 และใช้เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย 9.44 วินาที ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างของผลการทดลองซึ่งเห็นว่าวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพคำตอบดีกว่าวิธีฮิวริสติกได้

รูปที่ 3 เปรียบเทียบคำตอบจากวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีฮิวริสติกของปัญหาเดียวกัน พบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมใช้รถ 1 คัน ส่งสินค้า 2 เส้นทาง เส้นทางละ 9 วันต่อรอบ หมายถึงรถคันดังกล่าวถูกใช้งานทุก 4.5 วัน ในขณะที่วิธีฮิวริสติกใช้รถ 2 คัน คันที่ 1 ใช้งานทุก 37 วัน คันที่ 2 ใช้งานทุก 5 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดจากวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถใช้รถขนส่งได้เกิดอรรถประโยชน์สูงกว่าเส้นทางเดินรถรูปแบบปิด

พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยจำนวนร้านค้า

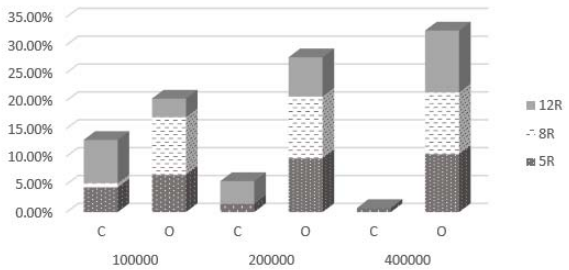
ปลีก และปัจจัยต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้าต่อคัน พบว่า เมื่อปัจจัยจำนวนร้านค้าปลีก และปัจจัยต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้าต่อคันเพิ่มขึ้น คำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมในงานวิจัยเป็นเส้นทางรูปแบบเปิดมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการแก้ปัญหาจำลองด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมเทียบกับวิธีฮิวริสติก

No	Size	Objective value		Chromosome	GA's solution type
		Heuristic	Genetic Algorithm		
1	5R	0.000001832	0.000001883	3 5 1 0 2 4	O
2	5R	0.000001801	0.000002146	1 3 5 0 2 4	O
3	5R	0.000001721	0.000001729	0 2 5 1 4 3	C
4	8R	0.000001340	0.000001432	7 8 3 2 0 4 5 6 1	O
5	8R	0.000001296	0.000001545	8 2 1 5 3 0 6 7 4	O
6	8R	0.000001189	0.000001313	2 6 1 7 0 3 5 4 8	O
7	8R	0.000001222	0.000001343	1 2 7 5 0 6 8 4 3	O
8	8R	0.000001143	0.000001210	8 1 2 7 0 6 4 5 3	C
9	12R	0.000000673	0.000000707	1 7 10 2 0 11 6 5 8 9 3 12 4	C
10	12R	0.000000864	0.000000953	9 12 10 6 0 5 2 7 11 4 8 3 1	O
11	12R	0.000000747	0.000000766	9 8 11 4 12 3 0 6 1 10 2 7 5	O
12	12R	0.000000817	0.000000959	5 2 4 6 11 1 0 3 7 12 8 10 9	O
13	12R	0.000000801	0.000000823	9 2 7 3 10 11 0 1 8 5 12 4 6	O

```
Heuristic solution:
12 1 0 8 3 11 2 7 6 4 9 5 10
VRP type C, obj_value 0.0000004432
T*: 0.01520, T_DepotA: 0.10309, T_DepotB: 0.01520
GA finished
2 6 4 10 5 9 0 8 11 3 1 12 7
VRP type O, obj_value 0.0000005527
T*: 0.02645, T_DepotA: 0.02654, T_DepotB: 0.02645
```

รูปที่ 3 คำตอบจากวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีฮิวริสติกของปัญหาเดียวกัน



รูปที่ 4 สัดส่วนเส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดเมื่อปัจจัยที่ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลง

6. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถในระบบที่มีสองคลังสินค้า และร้านค้าปลีกหลายราย โดยวัตถุประสงค์ของวิธีเชิงพันธุกรรมคือสร้างเส้นทางเดินรถ และกำหนดรอบระยะเวลาการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนรวมรายปี ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ต้นทุนการขนส่งสินค้า ต้นทุนการสั่งซื้อสินค้า และต้นทุนคงที่จากการมีรถขนส่งสินค้า ทั้งนี้ วิธีเชิงพันธุกรรมในงานวิจัยได้เปิดโอกาสให้เกิดคำตอบที่เป็นเส้นทางเดินรถรูปแบบเปิด คือรถขนส่งสินค้าไม่จำเป็นต้องกลับไปยังคลังสินค้าเดิม สามารถสิ้นสุดเส้นทางที่อีกคลังสินค้าหนึ่งได้ ผลจากการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีเชิงพันธุกรรมพบว่า วิธีเชิงพันธุกรรมสามารถสร้างคำตอบที่มีคุณภาพคำตอบดีกว่าวิธีฮิวริสติก โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยของคุณภาพคำตอบเป็นร้อยละ 10.33 และคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมมีลักษณะเป็นเส้นทางเดินรถแบบเปิดมากขึ้น เมื่อจำนวนร้านค้าปลีกและต้นทุนคงที่จาก

การมีรถส่งสินค้ามีค่าสูงขึ้น

เส้นทางเดินรถรูปแบบเปิดนอกจากจะเป็นรูปแบบที่สามารถลดต้นทุนรวมรายปีได้ดีแล้ว ยังสามารถเพิ่มอรรถประโยชน์ของการใช้รถขนส่งสินค้าได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีเชิงพันธุกรรม ที่เป็นผลจากการวิจัยครั้งนี้ ไม่รองรับปัญหาที่มีข้อจำกัดด้านระยะทาง และระยะเวลาในการขนส่ง ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคต เพื่อปรับให้สอดคล้องกับปัญหาในความเป็นจริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาการจัดการวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจทานงานวิจัยนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Walter Stein, Multi-depot distribution planning at Nabuurs, European Supply Chain Forum, 2011

[2] Sharma, N. and M., A Literature Survey on Multi Depot Vehicle Routing Problem, International Journal for Scientific Research & Development 3 (4): 1752-1757, 2015

[3] Olivera, F. B., R. Enayatifar, H. J. Sadaei, F. G. Guimaraes and J.Y. Potvin, A cooperative coevolutionary algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem, Expert Systems with Applications 43: 117-130, 2016

[4] Salhi, S. and M. Sari, A multi-level composite heuristic for the multi-depot vehicle fleet mix problem, European Journal of Operational Research 103: 95-112, 1997

[5] Bae, S. T., H. S. Hwang, G. S. Cho and M. J. Goan, Integrated GA-VRP solver for multi-depot system, Computers & Industrial Engineering 53: 233-240, 2007

[6] MirHassani, S. A. and N. Abolghasemi, A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem, Expert Systems with Applications 38: 11547-11551, 2011

[7] Haupt, R. L. and S. E. Haupt, Practical Genetic Algorithms, John Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, 1998