

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษารูปแบบการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นการศึกษาถึงวิธีการพัฒนาการขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทางให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด เพื่อเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด จากลักษณะงานดังกล่าว จำเป็นต้องศึกษาถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 2.1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ
- 2.2 วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม
- 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP)

ปัญหาพื้นฐานของการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ คือ การกำหนดเส้นทางของยานพาหนะแต่ละคัน เพื่อไปให้บริการลูกค้าที่กำหนดโดยเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะของแต่ละบริษัทอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะของบริษัทที่กำหนดให้ยานพาหนะทุกคันจะต้องออกจากและกลับเข้าสู่ที่โรงรถอันใดอันหนึ่งเท่านั้น (Single Depot) หรือ ยานพาหนะจะต้องออกจากโรงรถที่หนึ่งแต่อาจจะกลับเข้าสู่โรงรถในที่อื่นๆ ได้ (Multi Depot) หรือแม้กระทั่งการออกแบบเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่บริษัทมียานพาหนะที่ให้บริการจำนวน 1 คัน หรือการออกแบบเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่บริษัทมียานพาหนะจำนวนหลายๆ คัน เวลาที่ให้บริการและความสามารถในการบรรทุกสินค้าของยานพาหนะแต่ละคันที่อาจเท่ากันหรือไม่เท่ากัน เป็นต้น ดังนั้น เราอาจจะจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะออกเป็นลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา		ทางเลือก
1.	จำนวนของยานพาหนะ (Fleet)	- จำนวน 1 คัน - จำนวนหลายคัน
2.	ประเภทของยานพาหนะ (Vehicle type)	- ประเภทเดียวกันหมด - หลายๆ ประเภท
3.	โรงจอดรถ (Depot) หรือคลังสินค้า (Warehouse)	- จำนวน 1 ที่ - จำนวนหลายๆ ที่
4.	ความต้องการในการขนส่ง (Transport demand)	- ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) - ความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (ต่อ)

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือก
5. จุดกำเนิดของความต้องการ (Demand location)	- ที่ตำแหน่ง (Node หรือ point) - ที่เส้นทาง (Arc หรือ route) - ที่ตำแหน่งและเส้นทาง (Mix)
6. ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ (Vehicle capacity)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
7. เวลาในการขนส่งที่ยอมให้มากที่สุด (Maximum route time)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
8. ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการขนส่ง (Time windows)	- แบบด้านเดียว (Single – sided) - แบบสองด้าน (Double – sided)

จากตารางข้างต้นทำให้เกิดแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีความซับซ้อนและแปรเปลี่ยนไปตามรายละเอียดขององค์ประกอบของปัญหาได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเน้นการจัดเส้นทางขนส่งจากจุดส่งเดียว ซึ่งมีวิธีการจำลองปัญหาโดยเรียงลำดับจากปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยไปมาก ดังนี้ (ธเนศ ทักษิณวราร, 2543, หน้า 9-11)

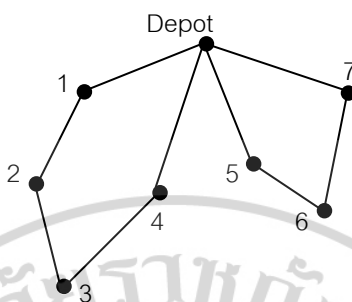
1. การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP) เป็นปัญหาในระดับง่ายสุด เนื่องจากการจัดลำดับการส่งสินค้าที่ใช้เส้นทางเดียวให้กับลูกค้าต่าง ๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว และไม่มีข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ โดยผลลัพธ์ของเส้นทางที่จัดได้จะเริ่มและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้าและผ่านลูกค้าแต่ละรายเพียงครั้งเดียว ซึ่งลักษณะการเดินรถเป็นแบบสองทาง ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP)

ที่มา : ธเนศ ทักษิณวราร, 2543, หน้า 9

2. การจัดเส้นทางเดินรถแบบหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesman Problem, MTSP) เป็นปัญหาในการจัดลำดับการส่งสินค้าโดยใช้เส้นทางหลายเส้นทางให้กับลูกค้าต่าง ๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวโดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของรถ ลักษณะการเดินรถเป็นแบบสองทาง ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (MTSP)

ที่มา : ธเนศ ทักษิณวราร, 2543, หน้า 9

3. ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Classical Vehicle Routing Problem (Classical VRP) ปัญหาในระดับนี้จะเป็นการหาจำนวนเส้นทางและลำดับในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว โดยทราบปริมาณสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ภายใต้ข้อจำกัดของรถซึ่งบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความจุที่กำหนดไว้

จากลักษณะการจำลองปัญหาข้างต้น ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Classical Vehicle Routing Problem (Classical VRP) มีความใกล้เคียงกับลักษณะการจัดเส้นทางรูปแบบเดิมของบริษัทกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งบริษัทกลุ่มตัวอย่างมีการจัดเส้นทาง ในการส่งสินค้าหลายเส้นทาง และออกจากคลังสินค้าเพียงจุดเดียว อีกทั้งมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละราย และข้อจำกัดด้านความจุของรถ

2.2 วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

(ณกร อินทร์พยุ, 2548, หน้า 147) วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรมได้ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1975 โดย John Holland แนวคิดของวิธีนี้เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural evolution) ตามคำกล่าวของนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Charles Darwin “ เผ่าพันธุ์ที่มีความแข็งแรงที่สุดเท่านั้นที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ (Survival of the fittest) ” ดังนั้นวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm : GA) นั้นก็เป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจอันหนึ่งที่เลียนแบบลักษณะของการวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) โดยตั้งอยู่บนแนวความคิดของการเลือกเผ่าพันธุ์ธรรมชาติ (Natural selection) และวิธีการทางพันธุกรรม (Genetics) นอกจากนี้วิธีเชิงพันธุกรรมอาจถูกพิจารณาว่าเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีความฉลาดมากขึ้น (Intelligent search)

วิธีเชิงพันธุกรรมได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจ ที่มีความสลับซับซ้อนมีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นวิธีเมตาฮิวริสติกส์อันหนึ่ง นอกเหนือจากวิธี Simulated annealing (SA) และวิธีทาบู่ (Tabu search) จากที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า วิธีฮิวริสติกส์ใดๆ จะให้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถประกันหรือพิสูจน์ได้ว่าคำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ดังนั้นวิธีเชิงพันธุกรรมก็ไม่สามารถประกันว่าจะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ หรือหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ทุกครั้ง ของการรันโปรแกรม

เนื่องจากวิธีทางพันธุกรรมนี้เลียนแบบวิธีทางพันธุกรรมทางธรรมชาติได้อย่างค่อนข้างสมเหตุสมผล (หรือค่อนข้างดูน่าเชื่อถือ) วิธีนี้จึงอาจนับได้ว่าเป็นวิธีที่ค่อนข้างแพร่หลายและถูกนำไป

ประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย อาทิ เช่น การแยก DNA ในวงการแพทย์ การออกแบบขั้นตอนการตกผลึกทางอุตสาหกรรมเคมี การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ การแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมผลิตการขนส่งและลอจิสติกส์ เป็นต้น เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งเหมือนกับวิธี SA และ วิธีทาบู นั้นก็คือ วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมนี้มีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นมาก (Generalization) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ได้ทันที หรือเพียงแค่ดัดแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.2.1 ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์

สำหรับวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม เราสามารถแบ่งองค์ประกอบที่สำคัญออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

- 2.2.2.1 การเขียนรูปแบบจำลองพันธุกรรมเพื่อแสดงกลุ่มคำตอบของปัญหา (Genetic representation)
- 2.2.2.2 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial generation หรือ population)
- 2.2.2.3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่าฟิตเนส (Evaluation of Fitness function)
- 2.2.2.4 ตัวดำเนินการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม (Genetic operator) เพื่อที่จะสร้างพันธุกรรมรุ่นถัดไป (Next generation)
- 2.2.2.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม

วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมจะควบคุมการวิวัฒนาการของประชากร (population) ของแต่ละโครโมโซม (หรือบางครั้งมักจะใช้คำว่า Individual) ซึ่งโครโมโซมแต่ละอันจะประกอบไปด้วยกลุ่มของยีนเรียงตัวกันตามแนวยาว ความยาวของโครโมโซมจะถูกกำหนดโดยจำนวน ซึ่งจะมีจำนวนไม่เท่ากันในแต่ละปัญหา ยีนแต่ละตัวสามารถมีค่าอะไรก็ได้ (Possible value หรือ ในบางครั้งเรียกว่า Allele) ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.3

ประชากร (Population) = จำนวนโครโมโซมทั้งหมด

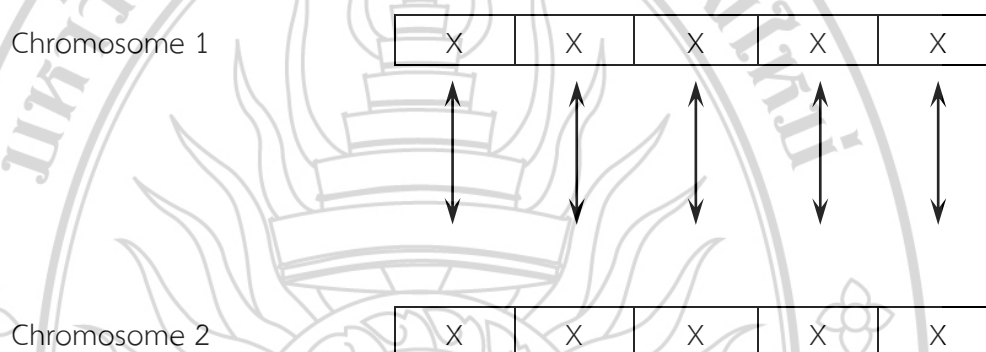
X = ยีน (Gene)

Chromosome 1	X	X	X	X	X
Chromosome 2	X	X	X	X	X
Chromosome 3	X	X	X	X	X
Chromosome n	X	X	X	X	X

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของประชากร ยีน และโครโมโซม

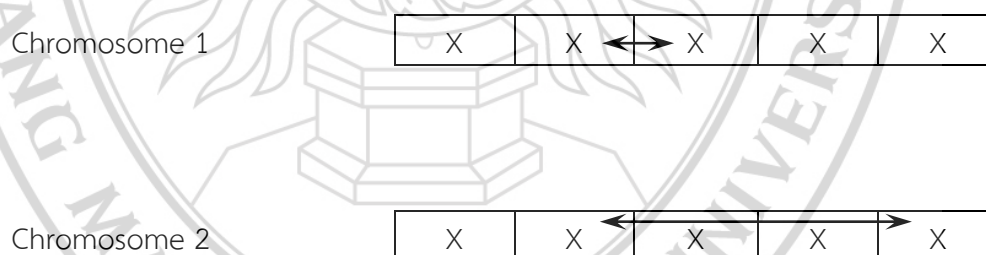
สมมติว่า $P(t)$ เป็นประชากรรุ่น t แต่ละโครโมโซม (หรือ Individual) จะแสดง Potential solution ของปัญหาภายในโครโมโซมแต่ละตัว จะถูกประเมินค่าฟิตเนส (Fitness) โครโมโซมบางกลุ่มจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของตัวเองโดยใช้ตัวดำเนินการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม (Genetic operator) เพื่อที่จะสร้างจำนวนโครโมโซมใหม่ในประชากรรุ่นถัดไปโดยทั่วไปวิธีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพันธุกรรม (Genetic transformation) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การข้ามฟาก (Crossover) เป็นการแลกเปลี่ยนยีน 2 อัน (หรือมากกว่า) ระหว่างโครโมโซม 2 อัน (หรือมากกว่า) เพื่อที่จะสร้างโครโมโซมอันใหม่ ซึ่งแสดงใน ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมแบบข้ามฟาก

2. การผ่าเหล่าหรือการสลับตำแหน่งของยีนภายในโครโมโซมแต่ละตัว (Mutation) ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมแบบผ่าเหล่า

จากภาพที่ 2.4 และภาพที่ 2.5 ประชากรที่ผลิตออกมา (ซึ่งอาจจะเป็นจำนวนโครโมโซมตัวเดียวหรือหลายๆตัว) เราเรียกว่า ประชากรรุ่นลูก (Offspring population) ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $C(t)$ และประชากรรุ่นลูกนี้จะถูกประเมินค่าให้ค่าฟิตเนสที่น้อยเพียงใด

ต่อจากนั้นจะสร้างประชากรรุ่นใหม่ (New generation) ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนโครโมโซมหลายๆ อันรวมกัน ในแนวคิดโดยทั่วไป เราจะเลือกโครโมโซมที่มีค่าฟิตเนส ที่ดีกว่า โครโมโซมอันอื่นจากกลุ่มของประชากรบรรพบุรุษ (Parent population) และจากกลุ่มของประชากร

รุ่นลูกมาสร้างเป็นประชากรรุ่นใหม่ หลังจากทีวิธีเชิงพันธุกรรมได้ผลิตประชากรรุ่นใหม่ออกมาเป็นจำนวนหลายๆ รุ่น จะได้ประชากรรุ่นใหม่ถัดไปที่มีคุณภาพทางพันธุกรรมที่ดี (หรืออีกนัยหนึ่ง เราจะได้ Fitness ที่มีค่าเท่ากับหรือที่ใกล้เคียงค่าตอบที่ดีที่สุด) สังเกตด้วยว่าวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมนี้ บางครั้งอาจถูกเรียกว่าวิธีการหาคำตอบโดยใช้กลุ่มของประชากร (Population – based search) ซึ่งแตกต่างไปจากวิธี SA และวิธีทาบู ซึ่งเป็นการพัฒนาการหาคำตอบจากคำตอบอันหนึ่งไปยังอีกคำตอบหนึ่งซึ่งอาจเปรียบเสมือนได้กับพัฒนาของโครโมโซมเพียงจำนวน 1 ตัว ไปยังโครโมโซมตัวใหม่ที่มีคุณภาพดีกว่า ณ เวลานั้นคงเห็นภาพแล้วว่าวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมนั้นเอื้อประโยชน์ในการนำคอมพิวเตอร์หลายๆ เครื่องมาช่วยในการหาคำตอบภายในเวลาเดียวกัน (Parallel computing)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tantikorn Pichpibul and Ruengsak Kawtummachai (2008) ทำการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการขนส่งแบบไป – กลับของการขนส่งสินค้า โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการจัดการการขนส่งสินค้า ซึ่งทำการขนส่งสินค้าจากคลังกลางไปยังหน่วยกระจายสินค้าหรือลูกค้าในแต่ละจังหวัดทั่วประเทศ ซึ่งในการจัดการการขนส่งจำเป็นต้องพิจารณาปริมาณการขนส่งในแต่ละครั้ง รวมทั้งเส้นทางที่รถขนส่งจะวิ่งเพื่อนำสินค้าไปส่งยังแต่ละจุด นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องวางแผนการจัดการการขนส่งสินค้าในขากลับด้วย (ขนส่งสินค้าทั้งขาไปและขากลับ) เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมของการขนส่งต่ำที่สุด วิธีการที่นำมาใช้เพื่อจัดการขนส่งในครั้งนี้เป็นวิธีการแบบฮิวริสติกส์ที่สามารถจัดเส้นทางขนส่งได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง โดยทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางแบบฮิวริสติกส์โดยวิธี Nearest Neighbor กับการจัดเส้นทางแบบฮิวริสติกส์ของ Clarke-Wright และพบว่า การจัดเส้นทางแบบฮิวริสติกส์ของ Clarke-Wright สามารถลดต้นทุนของการขนส่ง และลดเวลาในการทำงานได้ดีกว่า

พิมพ์ชนก ทำนอง (2552) ทำการศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจากจุดส่งเดียวกรณีเปรียบเทียบวิธีการแบบฮิวริสติกส์และวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจากจุดส่งเดียว โดยวิธีการแบบฮิวริสติกส์ ที่เป็นวิธีการที่ใกล้เคียงกับการจัดเส้นทางขนส่งของบริษัทตัวอย่าง โดยมีการแบ่งเขตพื้นที่ในการขนส่งสินค้าและใช้วิธีการแบบ Nearest neighbor ในการจัดเส้นทางขนส่งในแต่ละเขตพื้นที่ ซึ่งทำการเปรียบเทียบกับวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยที่วิธีการเชิงพันธุกรรมได้มีการพัฒนาอย่างเป็นลำดับ ซึ่งวิธีการล่าสุดได้มีการนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ Nearest neighbor แบบไม่มีการแบ่งเขตพื้นที่มาเป็นโครโมโซมเริ่มต้นและจับคู่โครโมโซมที่ได้จากการสุ่ม เพื่อทำการผสมยีนด้วยวิธีการข้ามพาก ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบพบว่า วิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถลดจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งได้ 10.24% ลดระยะทางในการขนส่ง 10.52% ทำให้ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งลดลง 10.52% ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าทุกกรณี

อรประไพ จารุพัฒน์ และ ปวีณา เชาวลิตวงศ์ (2556) ทำการศึกษาฮิวริสติกส์สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่ต้องมีการรับและส่งสินค้าภายใต้กรอบเวลากำหนดการส่งมอบและข้อจำกัดความจุในการบรรทุกของรถขนส่งเพื่อให้ได้ระยะทางขนส่งรวมที่สั้นที่สุด ฮิวริสติกส์ที่นำเสนอ

พัฒนามาจากวิธีการ Insertion Heuristic ซึ่งเป็นวิธีการจัดเส้นทางที่ไม่ซับซ้อนและเหมาะสมสำหรับการจัดเส้นทางที่ต้องคำนวณแทรกงานขนส่งใหม่ลงเส้นทางเดิมได้อย่างรวดเร็ว ในการทดสอบฮิวริสติกกับปัญหตัวอย่างพบว่าเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอกับวิธีการจัดเส้นทางแบบอื่น คือ วิธีการ Nearest Neighbor พบว่า การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธี Insertion Heuristic ให้คำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ย 6.51% และผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าต้นทุนที่ต่ำกว่าในทุกลักษณะของตัวอย่างการขนส่งที่สร้างขึ้นจากความต้องการขนส่งจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถนำไปหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติพงศ์ กิตติถาวรกุล และ สิทธิพร พิมพ์สกุล (2555) ทำการศึกษาการจัดตารางรถขนส่งขาเข้าและขาออกสำหรับศูนย์กระจายสินค้า รูปแบบโครสต็อกในธุรกิจร้านค้าปลีกด้วยวิธีฮิวริสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการเคลื่อนย้ายสินค้าภายในศูนย์กระจายสินค้านำรูปแบบโครสต็อกและวิธีการจัดตารางรถขนส่งขาเข้าและขาออกด้วยวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก เพื่อลดเวลาล่าช้ารวม นำวิธีการค้นหาคำตอบแบบวิธีฮิวริสติกมาใช้ในการการจัดตารางรถขนส่งขาเข้าและขาออก นำแบบจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรมซิลเวอร์ไลท์มาใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการเคลื่อนย้ายสินค้าผ่านโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อหาค่าเวลาล่าช้ารวม ผลจากการวิจัยพบว่าวิธีฮิวริสติก RS1-SS2 ให้ค่าเวลาล่าช้ารวมที่ดีที่สุดถึง 16 ปัญหาจาก 20 ปัญหตัวอย่าง วิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกเป็นวิธีที่ให้ค่าเวลาล่าช้ารวมที่มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการค้นหาคำตอบแบบทุกคำตอบ หรือมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 1.15 และใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่า 1 วินาที