

วิธีเมตาฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายคลังสินค้า

ธรีณี มณีศรี¹⁾ และ อนันต์ มุ่งวัฒนา²⁾

บทคัดย่อ

การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบหลายคลังสินค้า จัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด ที่มีความยากและซับซ้อนในการแก้ปัญหา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางต่ำสุดในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายคลังสินค้า กำหนดให้แต่ละคลังสินค้ามีรถขนส่งเพียงคันเดียวและมีขีดจำกัดในการบรรทุกสินค้า โดยใช้วิธีการแบ่งส่วนก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง การแบ่งส่วนใช้วิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างของระยะทาง และจัดเส้นทางเดินรถขนส่งด้วยขั้นตอนวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ การทดลองเป็นการกำหนดตัวอย่างปัญหาที่มีลูกค้าจำนวน 100 เมือง รถขนส่งแต่ละคันมีขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าได้ 400 หน่วยต่อรอบการเดินทาง ขั้นตอนวิธีการเริ่มจากช่วงที่ 1 กำหนดให้มีคลังสินค้าจำนวน 4 จุด เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้ง และการกระจายสินค้า ขั้นตอนนี้ใช้เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ความแตกต่างบน MS-EXCEL ช่วงที่ 2 เป็นการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ด้วยขั้นตอนวิธีการแบบผสมผสาน จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลเฉลยกับขั้นตอนวิธีการ จำลองการอบอุ่น และขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นการหาผลเฉลย และกราฟแสดงทิศทางการเดินทางบน โปรแกรม MATLAB ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีการแบบผสมผสานให้ผลเฉลยที่ต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ สำหรับ ตัวอย่างปัญหานี้

คำสำคัญ : การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบหลายคลังสินค้า, วิธีเมตาฮิวริสติกส์, ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่น, ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม, ขั้นตอนวิธีการสืบค้นทานู

* ¹⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
e-mail: tharinee_i@hotmail.com

²⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Meta-Heuristic Methods for Multi-Depot Vehicle Routing Problem

Tharinee Manisri¹⁾ and Anan Mungwattana²⁾

ABSTRACT

The multi-depot vehicle routing problem (MDVRP) has been known as an NP-hard problem. It is hard and complexity to find the optimum solutions. The objective of this research is to find the multi-depot vehicle routing solution that minimize total distance. The problem is defined as a capacitate vehicle and a single vehicle for each depot. The problem can be solved by using cluster-first route-second concept. The first, cluster is the discriminate analysis by distance measure. The second is vehicle routing arrangement by using meta-heuristic method. The experiment is defined by the MDVRP instance with 100 nodes of customer. The vehicle capacity is equal to 400 units per tour. The algorithm start with phase 1, define four depots for this instance and find the best locations and allocations. This step, we use the discriminate analysis on MS-EXCEL. Phase 2 is vehicle routing arrangement by using the hybrid algorithm and then compared the results with the simulated annealing algorithm and the genetic algorithm. It is determining the solutions and shows graphically disperse by using MATLAB computing software. The experimental results show clearly that the hybrid algorithm can be found the minimum solution for this problem example.

Keywords: multi-depot vehicle routing problem, meta-heuristic method, simulated annealing algorithm, genetic algorithm, tabu search algorithm

* ¹⁾ Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
E-mail: tharinee_i@hotmail.com

²⁾ Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ ซึ่งได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสภาวะการแข่งขันในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรมต่างๆ เกือบทุกประเภท ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการขนส่งได้ การจัดการขนส่งที่ไม่ดีก่อให้เกิดต้นทุนมหาศาลโดยผู้ประกอบการอาจคาดไม่ถึง ด้วยเหตุนี้งานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดต้นทุนการขนส่งจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เมื่อธุรกิจเติบโตมากขึ้นปัญหาการจัดการเส้นทางเดินรถขนส่ง จึงเริ่มมีความซับซ้อนมากขึ้น จนบางงานวิจัยไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง ดังนั้นการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาขั้นตอนวิธีการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องและแพร่หลาย โดยเฉพาะการพัฒนาจากวิธีฮิวริสติกส์เป็นเมตาฮิวริสติกส์ที่มีความยืดหยุ่น และสามารถแก้ปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน โดยให้ค่าเหมาะสมใกล้เคียง (Near Optimum) ได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว

งานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งปัญหา VRP โดยทั่วไป คือ การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำสุด ระยะทางสั้นที่สุด หรือเวลาเดินทางต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกันไป เช่น มีหลายคลังสินค้า (Multi-Depot VRP: MDVRP) ขีดจำกัดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (Capacitate VRP: CVRP) เป็นต้น ซึ่งวิธีเมตาฮิวริสติกส์ที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาการตัดสินใจ ประกอบด้วย การจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing Algorithm: SA) การสืบค้นแบบทาบู (Tabu Search: TS) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และวิธีการฝูงมด (Ant Colony Algorithm: ACA) เป็นต้น สิ่งที่น่าสนใจในงานวิจัยนี้ คือ การนำเสนอขั้นตอนวิธีการแบบผสมผสาน (Hybrid Algorithm) ระหว่างวิธีเมตาฮิวริสติกส์ด้วยกัน เพื่อพัฒนาให้เกิดขั้นตอนวิธีการใหม่ที่มีความเหมาะสมกับปัญหานี้มากยิ่งขึ้น โดยมีการเปรียบเทียบผลเฉลยกับวิธี SA และ GA ซึ่งเป็นวิธีในการ

หาผลเฉลยเชิงสุ่ม (Random Search) เพื่อการตัดสินใจลักษณะเด่นของสองวิธีนี้ คือ มีขั้นตอนวิธีการในการหาผลเฉลยที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว ส่วนสำคัญที่มีความแตกต่างกัน คือ การสร้างผลเฉลยเริ่มต้น โดยวิธี SA จะเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้นเพียง 1 ชุด แต่วิธี GA จะสร้างผลเฉลยเป็นกลุ่มประชากรที่อาจมีจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับขั้นตอนวิธีการในช่วงเริ่มต้น

ปัญหาที่น่าสนใจในงานวิจัยนี้ เป็นกรณีของปัญหา MDVRP ที่มีลูกค้าจำนวน 100 เมือง ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาตำแหน่งของคลังสินค้า การกระจายสินค้าไปยังลูกค้า และการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในแต่ละคลังสินค้า ภายใต้เงื่อนไขที่จำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า และความต้องการของลูกค้า โดยกำหนดให้แต่ละคลังสินค้ามีรถขนส่งเพียงคันเดียวเดินทางออกจากคลังสินค้าแล้วต้องกลับมายังคลังสินค้าเดิม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางขนส่งที่ดีที่สุด (Best Route)

การตรวจสอบเอกสาร

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ โดย Dantzig and Ramser (1959) เป็นผู้ริเริ่มขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหา VRP อันเป็นแนวทางสำคัญต่อนักวิจัยรุ่นใหม่มาจนกระทั่งปัจจุบันนี้ การพัฒนามีทั้งรูปแบบของปัญหา และเทคนิควิธีการ ซึ่งวิธีเมตาฮิวริสติกส์ เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกส์ให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด โดยวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในงานวิจัยทุกแขนง ได้แก่ วิธี SA โดย Metropolis *et al.* (1953) เริ่มใช้วิธี SA ในการจำลองการควบคุมการเย็นตัวของวัสดุในอ่างความร้อน หรือเรียกขั้นตอนนี้ว่า การอบอ่อน (Annealing) ต่อมา Kirkpatrick *et al.* (1983) ได้นำวิธีการ

จำลองดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจเพื่อหาค่าเหมาะที่สุด ซึ่งเปรียบเสมือนว่า ผลเฉลยที่หาได้จะเข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดเหมือนในช่วงเวลาการเย็นตัวของวัสดุ วิธี SA มีลักษณะคล้ายกับวิธีการหาผลเฉลยข้างเคียง (Neighborhood Search) ซึ่งมีจุดอ่อนที่การได้ค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Peter *et al.*, 1997)

วิธี TS เป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยมอย่างมาก เพราะมีโครงสร้างของขั้นตอนวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และจากผลการวิจัยจำนวนมากสรุปว่า วิธี TS มีประสิทธิภาพมากกว่า SA ข้อแตกต่างที่เด่นชัดระหว่าง 2 วิธีนี้ คือ วิธี TS แก้ปัญหาการยอมรับค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ โดยป้องกันไม่ให้เกิดการเกิดขึ้น (Pro-Active) แต่วิธี SA เป็นแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดขึ้นแล้ว (Post-Active) คำว่าทาบู (Tabu หรือ Taboo) หมายถึง การห้ามหรือป้องกันขั้นตอนวิธีการเข้าไปยังผลเฉลยข้างเคียงที่ไม่ต้องการ โดยแนวคิดสำคัญ คือ การเพิ่มความฉลาด ซึ่งใช้ความทรงจำของคอมพิวเตอร์มาเกี่ยวข้อง คอมพิวเตอร์จะเรียนรู้จากรอบการวนซ้ำที่ผ่านมา (Search History) ในการแนะนำ หรือบอกทิศทางของผลเฉลยที่ดี หรือดีที่สุด ในรอบการกระทำซ้ำถัดไปข้างหน้า Glover (1989) เป็นผู้ริเริ่มขั้นตอนวิธีการ TS ซึ่งเป็นเทคนิคการประมาณค่าสำหรับการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ที่ดี เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ด้วยความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการคลาสสิกอื่นๆ

วิธี GA ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย Holland (1975) แนวคิดของขั้นตอนวิธีการเป็นการเลียนแบบวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) โดยตั้งอยู่บนแนวคิดของการเลือกเผ่าพันธุ์ การผสมยีนส์เพื่อให้เกิดเผ่าพันธุ์ใหม่ที่มีความแข็งแรง และดำรงชีวิตต่อไปได้ วิธี GA ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับปัญหาการตัดสินใจที่มีความสลับซับซ้อน ที่มีตัวแปรและเงื่อนไขจำนวนมาก ซึ่งเป็นวิธีเมตาฮิวริสติกอีกประเภทหนึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการธุรกิจ และอุตสาหกรรมกลวิธีนี้อาศัยหลักการและทฤษฎีการทำให้เกิดพันธุกรรมประชากร ในการสร้างขั้นตอนวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมดังกล่าว โดยวิธีการจับคู่และการเกิดใหม่ของยีนส์เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด วิธี GA

มีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นมากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจทั่วไปได้ หรือดัดแปลงเพียงเล็กน้อย (ณกร, 2548)

วิธี ACA เป็นการจำลองพฤติกรรมในการหาอาหารของมด นำเสนอไว้โดย Dorigo *et al.* (1996) เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกที่เริ่มต้นมาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) ขั้นตอนวิธีการนี้เป็นการสังเกตพฤติกรรมของฝูงมดในการค้นหาอาหาร ซึ่งมดจะมีการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารด้วยฟีโรโมน (Pheromone) ซึ่งจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่ค้นพบ โดยมดตัวอื่นๆ จะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุด จากพฤติกรรมของมดดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาการหาเชิงการจัดเพื่อหาค่าเหมาะที่สุด ในการจำลองพฤติกรรมนี้ มดเทียมจะถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสถานะแวดล้อมในการค้นหาพื้นที่ของผลเฉลย วัตถุประสงค์ คือ ค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพ และดัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน

วิธี SA และ TS ได้ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงแรกๆ เพื่อนำมาใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขจำนวนมาก ทั้งวิธี SA และ TS มีจุดกำเนิดและแนวคิดแบบวิธีการหาผลเฉลยเฉพาะที่ ลักษณะเด่น 2 ประการ คือ การหลีกเลี่ยงปัญหาการตกอยู่ในผลเฉลยที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข แต่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่ดี (Poor Feasible Solution) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ผลเฉลยที่ได้อยู่ห่างจากค่าเหมาะที่สุด ซึ่งเรียกปัญหานี้ว่าค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ ซึ่งวิธี SA จะแก้ปัญหาโดยอนุญาตให้ขั้นตอนวิธีการออกจากจุดเหมาะที่สุดเฉพาะที่ ด้วยความน่าจะเป็น ส่วนวิธี TS ใช้หน่วยความจำทาบู เพื่อป้องกันไม่ให้อนขั้นตอนวิธีการเลือกผลเฉลยที่ไม่ดีในรอบการกระทำซ้ำที่ผ่านมา ลักษณะเด่นประการที่ 2 คือ การลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุด (Convergence to Optimal Solution) สำหรับวิธี SA เมื่อจำนวนรอบการกระทำซ้ำในการหาผลเฉลยเพิ่มมากขึ้น ผลเฉลยที่ได้ในปัจจุบันจะค่อยๆ ลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุด

โดยอาศัยพื้นฐานทฤษฎีความน่าจะเป็น ส่วนวิธี TS การหาค่าเหมาะที่สุดกระทำได้โดยการกำหนดค่าคงที่ (Fix Value) ของตัวแปรที่เคยให้ผลเฉลยที่ดีไว้ในหน่วยความจำ เมื่อขั้นตอนวิธีการพบผลเฉลยที่ดีกว่าตัวแปรที่เก็บค่าผลเฉลยที่ดีน้อยกว่าจะถูกลบออกจากหน่วยความจำ ทำให้ผลเฉลยที่ได้ รอบการกระทำซ้ำ ปัจจุบันหาค่าเหมาะที่สุด ส่วนวิธี GA นั้นถูกพัฒนาขึ้นในภายหลัง ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการหาค่าผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในหลายๆ แขนงสาขาวิชา จากขั้นตอนที่ได้นำเสนอในเบื้องต้น สังเกตได้ว่าขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่าในขณะที่แนวความคิดไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี SA และ TS แต่สุดท้ายแล้ว เมื่อแต่ละวิธีได้ถูกนำไปพัฒนาอย่างเต็มประสิทธิภาพ ผลเฉลยที่ได้จึงไม่แตกต่างกัน (ณกร, 2548) นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา นักวิจัยหันมามุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีการเมตาดาอิริสติกส์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการผสมผสานระหว่างขั้นตอนวิธีการเพื่อให้ผลเฉลยมีคุณภาพที่ดีขึ้น Thangiah (1999) ได้นำขั้นตอนวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหา VRP ที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100 - 417 ปม ซึ่งนับเป็นงานวิจัยที่เป็นต้นแบบของการพัฒนาขั้นตอนวิธีการแบบผสมผสาน Beatrice *et al.* (2006) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา VRP แบบมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Problem) โดยการหาจำนวนรถขนส่งน้อยที่สุดและผลรวมต้นทุนในการเดินทางขนส่ง หรือระยะทางสั้นที่สุด โดยใช้ GA และเทคนิคการเรียงลำดับแบบพาเรโต (Pareto Ranking) ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) Dual Core D805 2.66 GHz. หน่วยความจำ 2.00 Gb. ความจุฮาร์ดดิสก์ 80 Gb. โปรแกรม MATLAB และ MS-EXCEL

วิธีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธีการ SA และ GA โดยกำหนดปัญหาตัวอย่าง VRP ซึ่งมีลูกค้าจำนวน 100 เมือง กระจายอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ ตามข้อมูลในภาคผนวก มีความต้องการสินค้ารวม 1,458 หน่วย กำหนดให้มีรถขนส่งเพียงคันเดียวในแต่ละคลังสินค้า และรถบรรทุกแต่ละคันมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าได้ครั้งละ 400 หน่วย วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย คือ หาดำเนินการที่ตั้งของคลังสินค้า การกระจายสินค้า และการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งเพื่อให้เกิดระยะทางรวมต่ำสุด ด้วยวิธีการแบ่งส่วนก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง (Cluster-First and Route-Second) ซึ่งได้นำเสนอไว้โดย Gillet and Miller (1974) หรือเรียกว่าขั้นตอนวิธีการแบบสองช่วง (Two-Phase Algorithm) สำหรับในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกใช้วิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างเพื่อแบ่งกลุ่มลูกค้า และการกระจายสินค้า และช่วงที่สองเป็นการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโดยใช้ขั้นตอนวิธีการเมตาดาอิริสติกส์ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลเฉลยระหว่างวิธี SA และ GA รายละเอียดขั้นตอนวิธีการมีดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1: กำหนดคลังสินค้าสำหรับปัญหาตัวอย่างจำนวน 4 จุด คำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้า และการกระจายสินค้าด้วยวิธีวัดระยะทาง (Distance Measure) จากจุดศูนย์กลาง (Centroid) ตามสมการ $D_{ij} = \sqrt{\sum_k \frac{(x_{ik} - \bar{x}_{jk})^2}{S^2_{jk}}}$ ในขั้นตอนนี้สามารถใช้ชุดคำสั่งการวิเคราะห์ความแตกต่าง (Discriminate Analysis) บน MS-EXCEL เพื่อหาค่าผลเฉลย โดยมีเงื่อนไขว่า การกระจายสินค้าแต่ละจุดต้องมีความต้องการสินค้า (Demands) โดยรวมไม่เกินขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า

ช่วงที่ 2: เมื่อกำหนดขอบเขตในการกระจายสินค้าสำหรับแต่ละคลังสินค้าแล้ว จึงจัดเส้นทางเดินรถขนส่งให้แต่ละขอบเขต โดยดัดแปลงขั้นตอนวิธีการ SA และ GA สำหรับปัญหา TSP บนโปรแกรม MATLAB (The MathWorks, Inc., 2008) ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนวิธีการ SA

ขั้นตอนที่ 1 สร้างผลเฉลยเริ่มต้น และกำหนดพารามิเตอร์
ดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น, $v = 2000$ อัตราในการ
เย็นตัว = 0.90 และเงื่อนไขในการหยุดที่รอบ
การทำซ้ำ, $r = 500$ รอบ

ขั้นตอนที่ 2 กรณีไม่เป็นไปตามเงื่อนไขการหยุด ให้ทำตาม
ขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 2.1 ทำซ้ำ r รอบต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.1.1 ปรับปรุงตัวเลขสุ่มของผลเฉลย

ปัจจุบันให้เป็น (T') และกำหนด

$$\Delta = c(T') - c(T)$$

ขั้นตอนที่ 2.1.2 เปรียบเทียบเลขสุ่ม

$$X, 0 \leq X \leq 1$$

ขั้นตอนที่ 2.1.3 ถ้า $\Delta < 0$ หรือ

$X < \exp\left(\frac{-\Delta}{v}\right)$ ให้แทนผลเฉลยปัจจุบันด้วยผล
เฉลยใหม่

ขั้นตอนที่ 2.2 ปรับปรุงค่า v และ r

ขั้นตอนที่ 3 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหา

ขั้นตอนวิธีการ GA

ขั้นตอนที่ 1 (เริ่มต้น) สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นจำนวน n
ผลเฉลย และกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ ขนาดของ
กลุ่มประชากรเริ่มต้น 100 ผลเฉลย จำนวนรอบ
การวนซ้ำ, $r = 500$ รอบ เปอร์เซ็นต์การเกิด
ผสมยีนส์แบบข้ามผ่าก (Cross Over) = 0.2
และเปอร์เซ็นต์การผสมยีนส์แบบผ่าเหล่า
(Mutation) = 0.8

ขั้นตอนที่ 2 (ปรับปรุง) ใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ โดยวิธี
แทนประชากรจำนวน n ผลเฉลย ด้วยค่า
เหมาะสมเฉพาะที่ n

ขั้นตอนที่ 3 (การรวมกัน) ขยายขนาดจำนวนประชากร
โดยเพิ่ม m ผลเฉลยของการเกิดประชากรกลุ่ม
ใหม่ ซึ่งขนาดของจำนวนประชากรปัจจุบัน
เท่ากับ $n + m$

ขั้นตอนที่ 4 (ปรับปรุง) ใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่แทน m
ผลเฉลยของการเกิดประชากรกลุ่มใหม่ ด้วยค่า
เหมาะสมเฉพาะที่ m

ขั้นตอนที่ 5 (เลือก) ลดจำนวนประชากรลงสู่ขนาดเดิม
โดยเลือก n ผลเฉลยจากประชากรปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 6 (การเกิดใหม่) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5
จนกระทั่งบรรลุเงื่อนไขของการหยุด

ขั้นตอนวิธีการ Hybrid

ขั้นตอนที่ 1 (เริ่มต้น) สร้างผลเฉลยเริ่มต้นด้วยวิธีการ GA

ขั้นตอนที่ 2 (ปรับปรุง) ใช้เทคนิคการสลับสับเปลี่ยนแบบ
ที่ละ 2 ปม (2-Opt Exchange)

ขั้นตอนที่ 3 (ป้องกันการยอมรับค่าเหมาะสมเฉพาะที่) ใช้
วิธีการสร้างหน่วยความทรงจำทาบ (Tabu
Memory หรือ Tabu List)

ขั้นตอนที่ 3.1 กำหนดพารามิเตอร์สำหรับการ
สืบค้นแบบทาบ จำนวนรอบการทำซ้ำ, $r =$
500 รอบ จำนวนรอบการทาบ = 10 รอบ

ขั้นตอนที่ 3.2 สร้างผลเฉลยใหม่ (T') ด้วย
เทคนิคการสลับสับเปลี่ยน และกำหนด

$$\Delta = c(T') - c(T)$$

ขั้นตอนที่ 3.3 ถ้า $\Delta < 0$ ให้แทนผลเฉลย
ปัจจุบันด้วยผลเฉลยใหม่

ขั้นตอนที่ 3.4 ผลเฉลยที่ถูกเลือกแล้วจะถูกทาบ
ไว้ เป็นจำนวนเท่ากับรอบการทาบ

ขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 3 จนกระทั่งบรรลุเงื่อนไข
ของการหยุด

ผลและวิจารณ์

จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม MS-EXCEL
และ MATLAB แสดงผลเฉลยดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1: ผลการคำนวณหาที่ตั้งคลังสินค้าจำนวน 4 จุด และ
แบ่งขอบเขตการกระจายสินค้า ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความ
แตกต่างของระยะทาง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1-2 และรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้า และการกระจายสินค้า

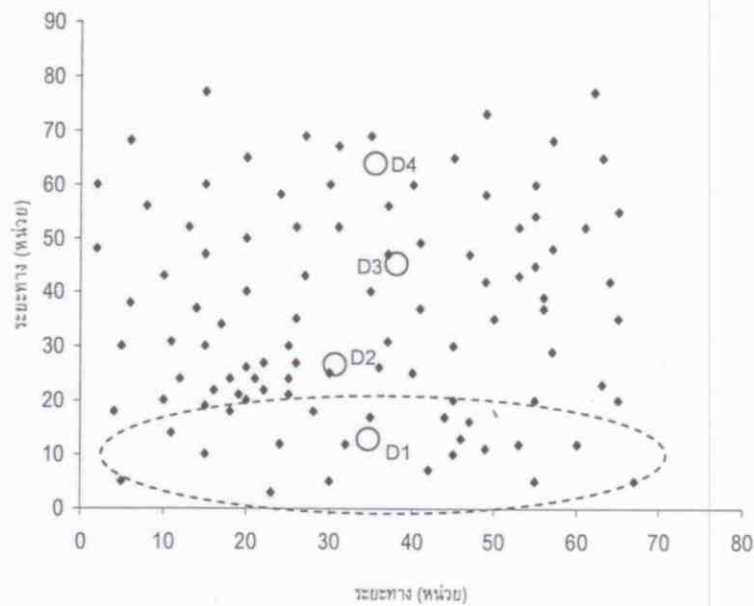
คลังสินค้า	ตำแหน่งที่ตั้ง		จำนวนลูกค้า	ความต้องการรวม (หน่วย)	กำลังการบรรทุก (หน่วย)
	X	Y			
1	34	13	24	376	400
2	30	27	27	380	400
3	37	47	27	362	400
4	35	66	22	340	400
รวม			100	1458	1600

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการกระจายสินค้าสำหรับคลังสินค้าที่ 1

ลูกค้า	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระยะทางจาก คลังสินค้าที่ 1 (หน่วย)	ความต้องการ สินค้า (หน่วย)	ลูกค้า	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระยะทางจาก คลังสินค้าที่ 1 (หน่วย)	ความต้องการ สินค้า (หน่วย)
	X	Y				X	Y		
1	5	5	5.25	16	13	60	12	1.80	31
2	23	3	3.87	7	14	11	14	1.91	18
3	30	5	2.22	8	15	46	13	0.31	8
4	55	5	3.05	29	16	47	16	0.69	25
5	42	7	1.25	5	17	35	17	0.50	7
6	67	5	4.81	25	18	4	18	3.77	35
7	15	10	1.70	20	19	44	17	0.74	9
8	45	10	0.53	18	20	18	18	1.69	17
9	24	12	0.48	5	21	28	18	0.94	26
10	49	11	0.64	18	22	45	20	1.87	11
11	32	12	0.08	7	23	55	20	2.81	19
12	53	12	0.92	6	24	65	20	4.36	6

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงผลเฉลยการหาตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าจำนวน 4 จุด และการกระจายสินค้าที่เป็นไปตามเงื่อนไขของความต้องการรวมในแต่ละขอบเขต ไม่เกินขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถแต่ละคัน ส่วนรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่ตั้ง

ของคลังสินค้า และตำแหน่งของลูกค้าที่กระจายอยู่ตามจุดต่างๆ การวิเคราะห์ความแตกต่างของระยะทาง จึงเป็นการพิจารณาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างคลังสินค้า และลูกค้า ณ จุด นั้นๆ



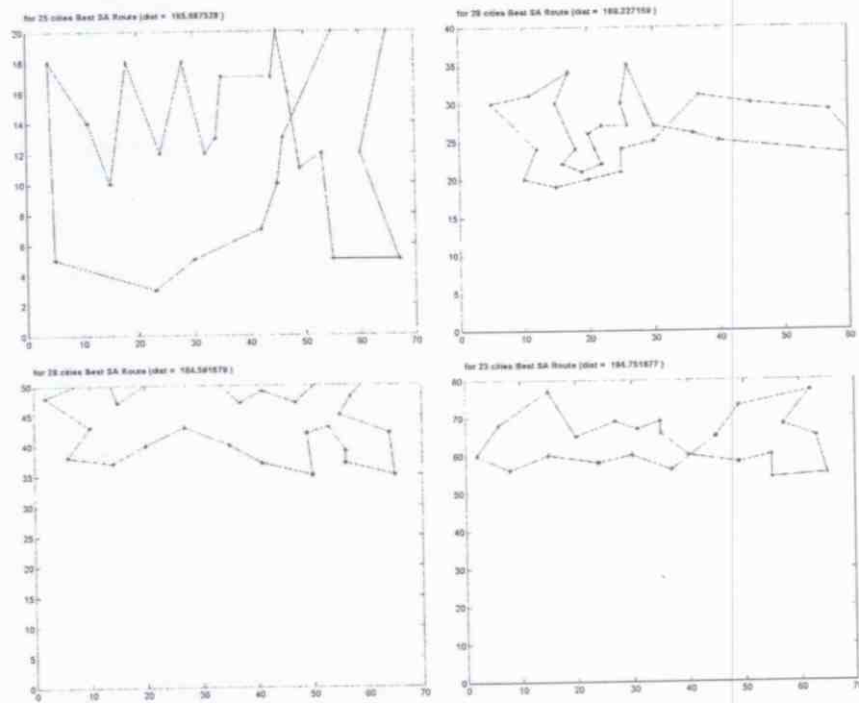
รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้า และการกระจายสินค้าตามเมืองต่างๆ

ช่วงที่ 2: เป็นการจัดลำดับลูกค้าในแต่ละเส้นทาง เพื่อให้
เกิดผลเฉลยที่มีระยะทางต่ำสุด โดยวิธี SA และ GA ซึ่ง
ให้ผลเฉลยการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง แสดงในรูปแบบ
ของกราฟแสดงทิศทางการเดินรถจากคลังสินค้า ไปยัง

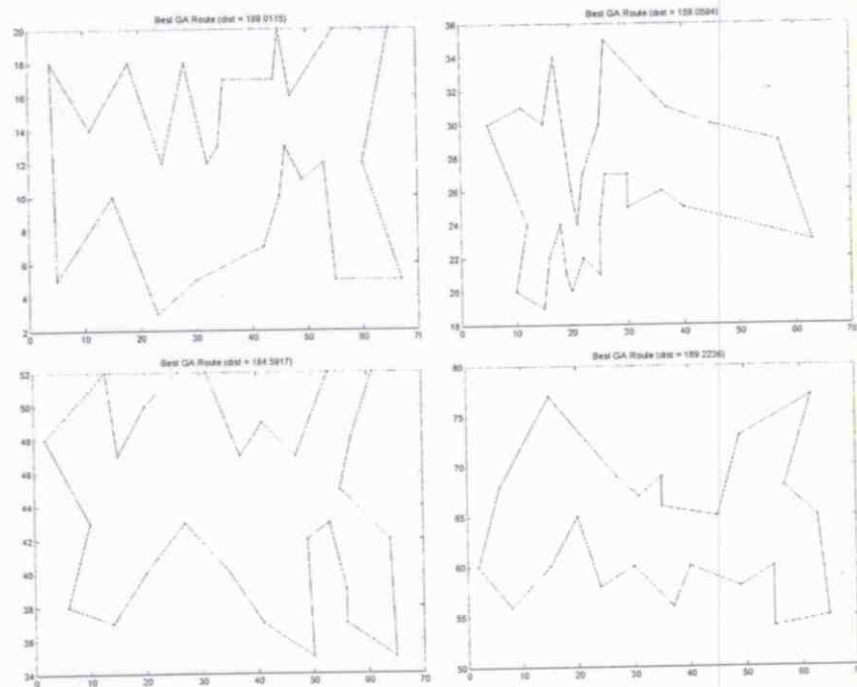
ลูกค้าตามเมืองต่างๆ และกลับมายังสินค้าเดิม
โดยเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากวิธี SA และ GA
ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลเฉลยระหว่างวิธี SA, GA และ Hybrid

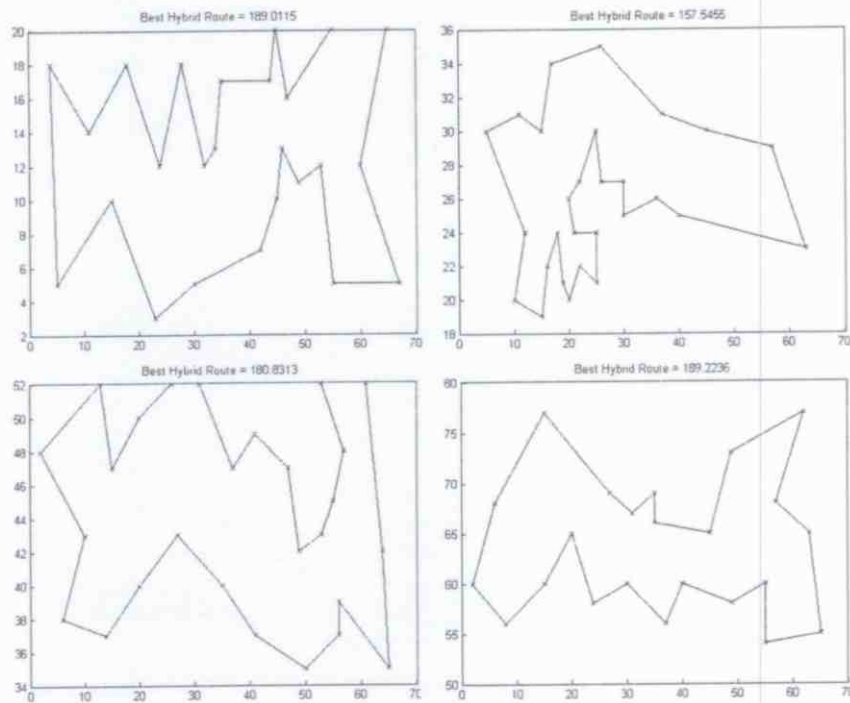
คลังสินค้า	จำนวนเมืองใน เส้นทาง	ระยะทางต่ำสุด (หน่วย)		
		วิธี SA	วิธี GA	วิธี Hybrid
1	25	195.69	189.01	189.01
2	28	169.23	159.05	157.55
3	28	184.59	184.59	180.83
4	23	194.75	189.22	189.22
รวม	104	744.26	721.87	716.61



รูปที่ 2 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในแต่คลังสินค้าด้วยวิธี SA



รูปที่ 3 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในแต่คลังสินค้าด้วยวิธี GA



รูปที่ 4 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในแต่คลังสินค้าด้วยวิธี Hybrid

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 2-4 แสดงให้เห็นผลเฉลยจากการทดลองนี้ วิธี Hybrid ให้ผลเฉลยที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ โดยวิธี GA และ Hybrid ให้ผลเฉลยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เนื่องจากวิธี Hybrid ใช้ผลเฉลยที่ได้จากวิธี GA เป็นผลเฉลยเริ่มต้น หลังจากนั้นจึงสืบค้นผลเฉลยอื่นๆ อีกครั้งด้วยวิธี TS หากผลเฉลยที่ได้จาก GA เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้ว การสืบค้นด้วยวิธี TS จึงให้ค่าเท่ากับผลเฉลยเริ่มต้น

สรุป

จากการวิจัยเพื่อค้นหาวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ที่สามารถแก้ปัญหา MDVRP ซึ่งเป็นปัญหามาตรฐานขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อน โดยการพัฒนารูปแบบวิธี Hybrid ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างวิธี GA และ TS ผลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีสมรรถนะใกล้เคียงกับ GA และดีกว่าวิธี SA อย่างไรก็ตาม มุ่งงานวิจัยจำนวนมากที่มักนำวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ต่างๆ มาเปรียบเทียบสมรรถนะ เพื่อหาจุดเด่นและจุดด้อยของขั้นตอนวิธีเหล่านั้น แต่ในทางปฏิบัติ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง ขั้นตอนวิธีที่กล่าวมา ไม่ว่าจะเป็นวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ประเภทใด ก็สามารถดัดแปลงและพัฒนา

ตัวเองให้เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์เปรียบเทียบจึงเป็นเพียงขั้นตอนหนึ่งเพื่อยืนยันการตัดสินใจเลือกขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่เท่านั้น เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่ต้องการพิสูจน์ให้เห็นว่าวิธี Hybrid ที่นำเสนอในอีกรูปแบบหนึ่งของวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่กำหนดขึ้นในการทดลองนี้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ณกร อินทร์พุง. 2548. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมรถขนส่งและลอจิสติกส์. ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- Beatrice, O., J. R. Brian and H. Franklin. 2006. Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows. *Applied Intelligence* 24 (1): 17-30.
- Dantzig, G. B. and J. H. Ramser. 1959. The truck dispatching problem. *Management Science* 6 (1): 80-91.

- Dorigo, M., V. Maniezzo and A. Colomi. 1996. The ant system : Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans. On Systems* 26 (1): 1-13.
- Gillett, B. and L. Miller. 1974. A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem. *Operations Research* 22 (2): 340-349.
- Glover, F. 1989. Tabu Search-Part I. *ORSA Journal on Computing* 1 (3): 190-206.
- Holland, J.H. 1975. *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Kirkpatrick, S. et.al. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science*. 220: 671-680.
- Metropolis, N., A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller and E. Teller. 1953. Equations of state calculations by fast computing machine. *Journal of Chemical Physics* 21 (6): 1087-1092.
- Peter, J.M. et.al. 1997. *Simulated annealing. Local Search in Combinatorial Optimization*. Wiley and Sons. 91-120.
- Thangiah, S. R. 1999. *A Hybrid Genetic Algorithms, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows. Practical Handbook of Genetic Algorithms* 3: 347-381.
- The MathWorks, Inc. 2008. *MATLAB source code file: SA_TSP and GA_TSP*. Available Source:<http://www.mathworks.com/matlabcentral>, April, 2008.