วิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสาน สำหรับการแก้ปัญหาการขนส่ง กรณีที่พาหนะขนส่งมีหลายขนาด การขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด

The Ant Colony System and Hybrid Local Search for Transportation Fleet Sizes of Vehicles and Mix Vehicle Routing under Time Window Problem

สวัสดิ์ ภาระราช*[1] และ สุพรรณ สุดสนธิ์[2]

Sawat Pararach*[1] and Supan Sudson[2]

*[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่พาหนะขนส่งมีหลายประเภท โดยการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด ซึ่งในลักษณะปัญหานี้ ปริมาณตามความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายจะถูกจัดส่งด้วยพาหนะขนส่งที่มีความหลากหลายและมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า ต้นทุนคงที่ และค่าใช้จ่ายผันแปรในการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน ฉะนั้น การจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่พาหนะขนส่งมีหลายประเภท โดยการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัดจึงมีตัวแปรที่ความสำคัญ คือ ประเภทของพาหนะขนส่งที่นำมาใช้งานและการจัดเส้นทางการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด ซึ่งมีความสอดคล้องกับสถานการณ์ปฏิบัติงานจริงในด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ ปัญหานี้เป็น NP-hard ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System) ร่วมกับการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบผสมผสาน (Hybrid Local Search Algorithms) ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การนำเอาเทคนิควิธีระบบอาณานิคมมดและอัลกอริทึมการค้นหาเฉพาะที่แบบผสมผสานมาใช้งานร่วมกันในการแก้ปัญหานี้ เรียกว่า ACS-HLS ทำการทดสอบอัลกอริทึมในจำนวน 12 ปัญหา พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยในอดีต โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมมา ACS-HLS เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของตาบูเสริจซ์ (Tabu Search; TS) พบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมาสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าและใช้เวลาประมวลคำตอบที่สั้นกว่า

คำสำคัญ: ระบบอาณานิคมมด การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบการผสมผสาน วิธีการค้นหาแบบตาบู

Abstract

This paper addressed the fleet size and mix vehicle routing problems with time windows. In this problem, the demands of customers are fulfilled by a heterogeneous fixed fleet of vehicles having various capacities, fixed costs and variable costs. This problem is an important variant of the fleet size and mix vehicle routing problems with time windows (FSMVRPTW) and can cover more practical situations in transportation and logistics. Since this problem belongs to NP-hard Problems, an approach based on an Ant Colony System (ACS) and Hybrid Local Search (HLS) Algorithms is applied to solve the FSMVRPTW. An Ant Colony System model is presented and Hybrid Local Search Algorithms of which is solved by the ACS-HLS technique. Since there has been tested extensively on benchmark instances from the literature, this study generated 12 test problems and the results of the proposed ACS-HLS algorithm is compared to the results of Tabu Search (TS). Computational experience confirms that the proposed algorithm can provide better solutions within a comparatively shorter period of time.

Keywords: Ant Colony System (ACS), Hybrid Local Search Algorithms (ACS-HLS), Tabu Search (TS)

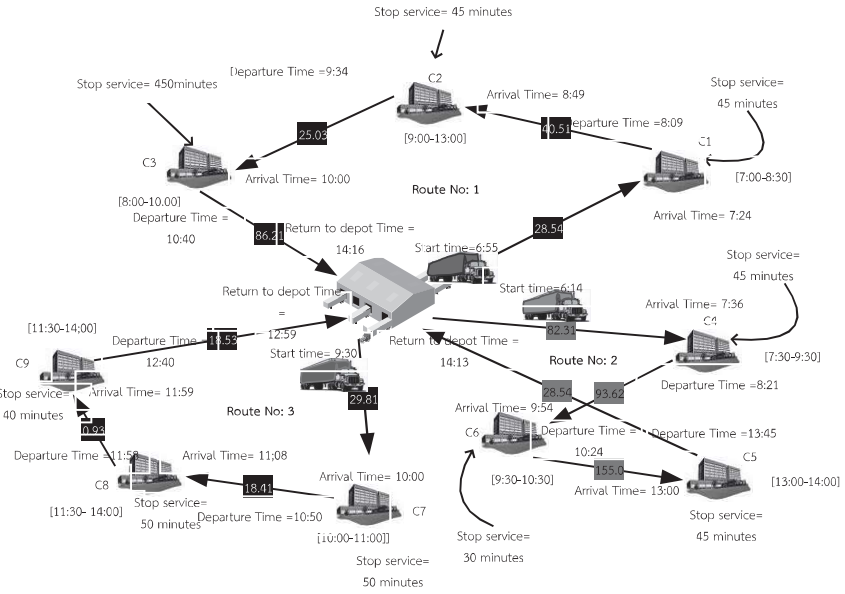
1. บทนำ

การขนส่งนับเป็นต้นทุนโลจิสติกส์ที่สำคัญในหลายธุรกิจ และมีผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนโดยรวมของผลิตภัณฑ์และการบริการ ซึ่งต้นทุนการขนส่งจะแปรผันตรงกับปริมาณหรือน้ำหนักของสินค้าที่บรรทุก ระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่ง ส่วนระยะเวลาในการรอคอยอาจหมายถึงความพึงพอใจของลูกค้าที่ได้รับการตอบสนองในเวลาอันรวดเร็วสามารถตีเป็นมูลเงินก็ได้ ยิ่งในสภาวะปัจจุบันเศรษฐกิจโลกที่ผันผวนอย่างมาก การแข่งขันธุรกิจมีความรุนแรง โดยเฉพาะรูปแบบการขนส่งสินค้าทางถนน ต้นทุนด้านค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยต้นทุนที่สำคัญ เมื่อราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นทำให้ผู้ประกอบการด้านการขนส่งต้องแบกรับภาระต้นทุนในด้านการขนส่งที่สูงขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้น จำเป็นต้องทำการวางแผนการขนส่งให้มีประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการขนส่งมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้วิธีการจัดเส้นทางการขนส่งและการใช้ปริมาณของพาหนะขนส่งที่เหมาะสมจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ผู้ประกอบ การสามารถดำเนินการได้ ทั้งนี้ ยังเป็นแนวทางการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและลดความสูญเสียค่าใช้จ่ายหรือเวลาที่ไม่จำเป็นออกไป

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งกรณีที่พาหนะขนส่งมีหลายขนาด การขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows: FSMVRPTW) ด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสาน (Ant Colony System and Hybrid Local Search Algorithms) ที่สามารถค้นหาจำนวนการใช้พาหนะขนส่งที่เหมาะสม พร้อมทั้งระยะทางที่ใช้ในการบริการที่สั้นที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Vehicle Routing Problems: VRP) มีหลายประเภทแบ่งออกได้ เช่น การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งแบบเปิด (Open VRP) การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งกรณีที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi-depot VRP) การจัดเส้นทางการขนส่งแบบพาหนะขนส่งมีหลายประเภท (Mix fleet VRP) การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งแบบทยอยสินค้าจัดส่ง (Split-delivery VRP) การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งตามช่วงเวลา (Periodic VRP) และการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ความต้องการสินค้าไม่แน่นอน (Stochastic VRP) [3] [4], [6], [7], [8], [9], [10] และ [11] เป็นต้นสำหรับเทคนิคค้นหาเส้นทางพาหนะขนส่ง (VRP) มีนักวิจัยได้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาไว้หลายวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีจะให้คุณภาพคำตอบที่แตกต่างกันออกไป เช่น วิธีการค้นหาคำตอบแบบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) [5] ศึกษาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย โดยใช้วิธีการแตกกิ่งและการกำจัดขอบเขต (Branch and Bound Algorithm) และวิธีการค้นหาคำตอบแบบค่าใกล้เคียงกับค่าดีที่สุด (Nearly Optimal Solution) ซึ่งได้รับความนิยมมากกว่าวิธีแรกเพราะใช้การคำนวณค่อนข้างน้อยกว่าและให้คำตอบที่รวดเร็วกว่า ฉะนั้น นักวิจัยส่วนใหญ่จึงมักนำวิธีที่สองมาแก้ปัญหากับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ๆ วิธีการค้นหาคำตอบแบบค่าใกล้เคียงกับค่าดีที่สุด อันได้แก่ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetics Algorithm; GA) วิธีซิมมูเลเตดแอนเนลลิ่ง (Simulated Annealing; SA) วิธีค้นหาตาบู (Tabu Search; TS) และวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization; ACO) เหล่านี้เป็นต้นรูปแบบโดยทั่วไปของการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (Vehicle Routing Problem with Time Windows; VRPTW) ข่ายงานแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยคลังสินค้ากลางมีหนึ่งแห่ง ลูกค้ามีจำนวน 9 ราย (C1-C9) ลูกค้าแต่ละรายมีปริมาณความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันและทราบจำนวนปริมาณความต้องการสินค้าที่แน่นอน โดยลูกค้าแต่ละรายนั้นมีกรอบเวลาที่ต้องการสินค้าที่ชัดเจน เช่น ลูกค้ารายที่ C1 มีกรอบเวลาที่ต้องการสินค้าในช่วงเวลา 9.00-10.30 น. ลูกค้ารายที่ C2 มีกรอบเวลาที่ต้องการสินค้าในช่วงเวลา 9.00-13.00 น. ตามลำดับ กรอบเวลาให้บริการแก่ลูกค้า สำหรับปัญหา VRPTW พบว่าลูกค้าแต่ละรายมีช่วงเวลาที่ต้องการสินค้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น e หมายถึงช่วงเวลาที่ลูกค้าต้องการสินค้าเร็วที่สุด และ l หมายถึงช่วงเวลาที่ลูกค้าต้องการสินค้าช้าที่สุด และพาหนะส่งจะหยุดเพื่อลำเลียงสินค้าลงจากพาหนะขนส่งด้วยเวลา s ซึ่งในกรณีของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีที่พาหนะขนส่งมีหลายขนาดการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (FSMVRPTW) มีความแตกต่างจากปัญหา VRPTW โดยทั่วไปมีเพียงประเด็นเดียว คือ FSMVRPTW พาหนะขนส่งมีหลายขนาด (หลายประเภท) ส่วนปัญหา VRPTW นั้น พาหนะขนส่งมีเพียงประเภทเดียว จากงานวิจัยในอดีตพบว่าวิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System) เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง เนื่องมาจากมีโครงสร้างอัลกอริทึมที่ไม่มีความซับซ้อน สามารถประยุกต์ใช้งานได้ง่ายให้คำตอบที่ดีและรวดเร็วเนื่องจากวิธีระบบอาณานิคมมดถูกสร้างขึ้นมาแก้ปัญหาโดยเฉพาะนั่นเอง ยิ่งถ้าหากนำมาใช้ร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่ (Local Search Algorithms) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบเชิงลึกทั้งในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกัน (Intra-Routes) และระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่ง (Inter-Routes) ก็ยิ่งสามารถค้นหาคำตอบได้ดี เช่น จำนวนการใช้พาหนะขนส่งและระยะทางที่ใช้ในการบริการที่สั้นที่สุด



รูปที่ 1 ข่ายงานการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด
ที่มา: สุพรรณ สุดสนธิ์ (2558)

3. วิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสาน

การพัฒนาอัลกอริทึมวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสาน (Ant Colony System and Hybrid Local Search Algorithms; ACS-HLS) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีที่พาหนะขนส่งมีหลายขนาดการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (FSMVRPTW) ผู้วิจัยพัฒนาวิธีการโดยมี 2 กระบวนงานหลัก ดังนี้

3.1 การใช้กลไกของวิธีระบบอาณานิคมมด (ACS)

ก. กำหนดจุดเริ่มต้นให้มดงานแต่ละตัว

ข. มดงานคัดเลือกจุดเดินทางโดยการใช้กฎเปลี่ยนสถานะหรือมดงานใช้กฎความน่าจะเป็นสะสมพร้อมกับทำการปรับปรุงความเข้มข้นสารฟีโรโมนเฉพาะที่

ค. ทำไปจนกระทั่ง (Until) มดงานทุกตัวสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งที่สมบูรณ์

ง. เลือกเฉพาะเส้นทางที่ดีที่สุดมาทำการปรับปรุงความเข้มข้นสารฟีโรโมนวงกว้าง

จ. ทำไปจนกระทั่ง (Until)

ฉ. ให้หยุดเมื่อครบเงื่อนไขกำหนด

3.2 การใช้กลไกการค้นหาคำตอบเชิงลึก (Local Search)

การค้นหาคำตอบเชิงลึกเป็นการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่ (Local Search Algorithms) ทั้งในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกัน (Intra-Route) และระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่ง (Inter-Routes) โดยให้ดำเนินการหลังการใช้กลไกของ ACS ในขั้นตอนที่ ค. ดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นให้นำคำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่ค้นหาได้ในขณะนั้นมาทำในขั้นตอนที่ ง. ของกลไกของ ACS

ผังรายละเอียดการดำเนินการของวิธี Ant Colony System and Hybrid Local Search Algorithms; ACS-HLS ดังในรูปที่ 2 ขั้นตอน ACS-HLS อธิบายพอสังเขปดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับวิธีระบบอาณานิคมมด เช่น ความเข้มข้นสารฟีโรโมนเริ่มต้น (τ_0) น้ำหนักความสำคัญสารฟีโรโมน (α) น้ำหนักความสำคัญระยะทาง (β) และอัตราการระเหยสารฟีโรโมน (ρ)

ขั้นตอนที่ 2 จำนวนรอบกระทำซ้ำ (Number of iterations; NC)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดให้มดแต่ละตัว (K) ประจำที่ ณ คลังสินค้ากลาง

ขั้นตอนที่ 4 ให้มดแต่ละตัวที่ K สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solutions) หรือมดสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยการเลือกลูกค้าเข้ามาในเส้นทาง โดยมดมีกฎการเลือกลูกค้า 2 กฎ ดังนี้

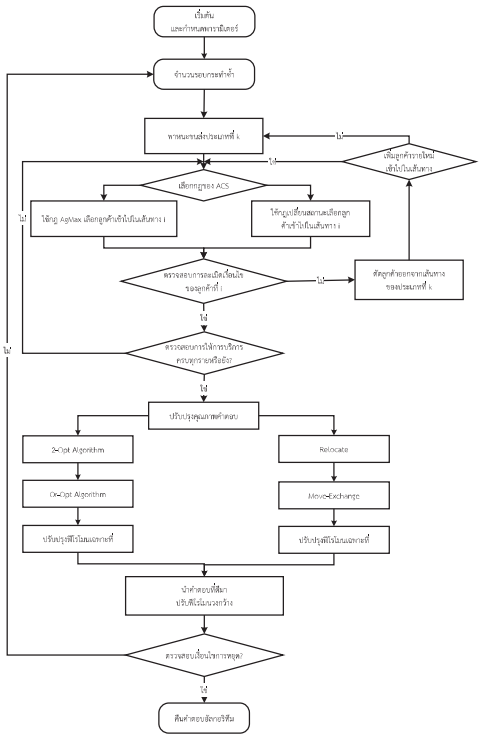
กรณีที่ 1

$$p_k(r,s) = \frac{[\tau(r,s)]^{\alpha}[\eta(r,s)]^{\beta}}{\sum_{u \in J_k}[\tau(r,s)]^{\alpha}[\eta(r,s)]^{\beta}} \qquad if\ s \in J_k(\mathrm{r})$$

กรณีที่ 2

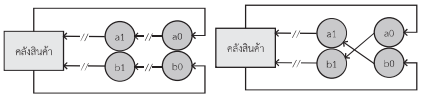
$$s = \arg\max \frac{[\tau(r,s)]^{\alpha}[\eta(r,s)]^{\beta}}{\sum_{u \in J_k}[\tau(r,s)]^{\alpha}[\eta(r,s)]^{\beta}} \qquad if\ s \in J_k(\mathrm{r})$$

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบการบรรทุกสินค้าและตรวจสอบกรอบเวลาการเดินทางของมดต้องไม่ละเมิดเงื่อนไขตามที่ลูกค้าแต่ละรายกำหนดไว้ และเมื่อมดทำการเลือกลูกค้ารายนั้นๆ เข้ามาในเส้นทางเรียบร้อยแล้ว ให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 และ 4 ทำไปจนกระทั่งลูกค้าทั้งหมดจะถูกจัดเข้าไปในเส้นทางพาหนะขนส่งทั้งหมด

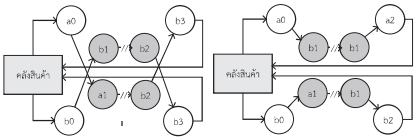


รูปที่ 2 ผังดำเนินการ ACS-HLS

ขั้นตอนที่ 6 นำเส้นทางพาหนะขนส่งทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนของวิธีอาณานิคมมดมาทำการปรับปรุงคุณภาพเส้นทางพาหนะขนส่งให้ดีขึ้นโดยทำการแลกเปลี่ยนหรือสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ากันภายในเส้นทางเดียวกัน หรือระหว่างเส้นทางเพื่อค้นหาว่าเมื่อมีการสลับตำแหน่งลูกค้ากันแล้ว ตำแหน่งใหม่ของลูกค้ารายใดที่ทำให้คุณภาพเส้นทางพาหนะขนส่งดีขึ้น (ระยะทางที่ลดลงจากเดิม) โดยเรียกขั้นตอนนี้ว่า การค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสาน ขั้นตอนย่อยที่ 6.1 การปรับปรุงคุณภาพเส้นทางพาหนะขนส่งเริ่มจากทำการปรับ *2-Opt* และตามด้วย *Or-Opt* เช่น

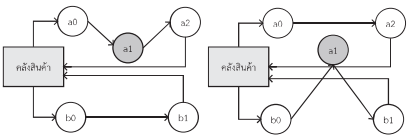


รูปที่ 3 วิธี *2-Opt*

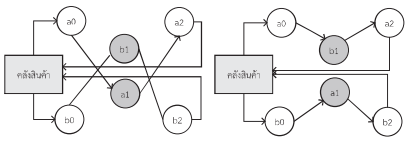


รูปที่ 4 วิธี *Or-Opt*

ขั้นตอนย่อยที่ 6.2 ปรับปรุงคุณภาพเส้นทางพาหนะขนส่งเริ่มจากทำการปรับ Relocate และตามด้วย Move-Exchange เช่น



รูปที่ 5 วิธี Relocate



รูปที่ 6 วิธี Move-Exchanges

ขั้นตอนที่ 7 ให้นำคำตอบที่ดีที่สุดในขั้นตอนย่อยที่ 6.1 และ 6.2 มาเปรียบเทียบกันและหากคำตอบใดให้ค่าระยะทางที่สั้นที่สุดให้นำคำตอบนั้นมาทำการปรับปรุงฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local updating pheromone) ทันทีตามสมการข้างล่าง

$$\tau(r,s) \rightarrow (1-\rho)\tau(r,s) + \rho \triangle \tau_s(r,s)$$

โดย ρ อัตราการระเหยสารฟีโรโมนมีค่าอยู่ระหว่าง $0 < \rho < 1$ $\triangle \tau_k(r,s) = \tau_0$ และ $\tau_0 = (n.L_{nn})^{-1}$

ขั้นตอนที่ 8 ให้นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบกระทำซ้ำหนึ่งมาเปรียบเทียบกันและหากคำตอบในรอบกระทำซ้ำใดให้ค่าระยะทางที่สั้นที่สุดให้นำคำตอบนั้นมาทำการปรับปรุงฟีโรโมนวงกว้าง (Global updating pheromone)

$$\tau(r,s) \rightarrow (1-\rho)\tau(r,s) + \rho \triangle \tau_k(r,s)$$

โดย $\triangle \tau_k(r,s) \rightarrow (L_{gb})^{-1}$ if $(r,s) \in$ global best tour

เมื่อ L_{gb} ระยะทางของเส้นทางวงปิดที่ดีที่สุด (Globally best tour)

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบจำนวนรอบกระทำซ้ำ NC= รอบกระทำซ้ำสูงสุดหรือไม่ ถ้าไม่ให้กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 กรณีอื่นๆ ให้คืนคำตอบและแสดงผลคำตอบโดยภาพรวมที่ได้จากวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสาน

4. ผลการทดสอบ

การทดสอบวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับการค้นหาคำตอบที่ดีเฉพาะที่แบบผสมผสานผู้วิจัยทดสอบอัลกอริทึม ACS-HLS บนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium Intel(R) Core™2Dual CPU 2.20 Ghz 0.99 Gb of RAM โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ACS ดังนี้ ความเข้มข้นสารฟีโรโมน เริ่มต้นที่ 0.5 น้ำหนักความสำคัญสารฟีโรโมนที่ 1.0 น้ำหนักความสำคัญระยะทางที่ 0.1 อัตราการระเหยที่ 0.1 และกำหนดให้เป็นรอบกระทำซ้ำ (Number of iterations; NC) ทุกปัญหาทดสอบที่ 100 รอบกระทำซ้ำ

4.1 การทดสอบปัญหา

ผู้วิจัยทดสอบกับปัญหา VRPTW ที่มีจำนวนลูกค้า 50 -100 ราย ของ Solomon [12] จำนวน 12 ปัญหา

4.2 การกำหนดความสามารถในการบรรทุกสินค้าสูงสุดของพาหนะขนส่งแต่ละประเภท

จากงานวิจัยของธรินี มณีศรี [1] มีการกำหนดประเภทพาหนะขนส่งที่แตกต่างกันซึ่งแบ่งประเภทพาหนะขนส่งเป็น 2 ประเภท ตามความสามารถในการบรรทุกสินค้าสูงสุด ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดประเภทพาหนะขนส่ง

ที่	ปัญหา	Solomon ใน OR-Library (QA): หน่วย	ธรินี มณีศรี [1]	
			ประเภทที่ 1 (QA) : หน่วย	ประเภทที่ 2 (QB) : หน่วย
1	R101.50	200	200	100
2	R101.100	200	200	100
3	R201.50	1000	1000	500
4	R201.100	1000	1000	500
5	C101.50	200	200	100
6	C101.100	200	200	100
7	C201.50	700	700	350
8	C201.100	700	700	350
9	RC101.50	200	200	100
10	RC101.100	200	200	100
11	RC201.50	1000	1000	500
12	RC201.100	1000	1000	500

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบที่ได้จาก ACS-HLS มาทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จาก Tabu Search (TS) [1]

ปัญหา	คำตอบจากวิธี ACS-Hybrid Local Search					คำตอบใน Tabu Search (TS) ธรินี มณีศรี [1])					%deff.NV	%deff.LT
	NV	QA	QB	LT	CPU.Time	NV	QA	QB	LT	CPU.Time	ACS-TS	ACS-TS
R101.50	13	7	6	1178.03	261.22	15	7	8	1255	368	-13.300	-6.100
R101.100	24	13	11	2350.89	287.93	25	14	11	1829	6975	-4.000	28.500
R201.50	3	2	1	1197.72	355.62	14	8	6	1263	267	-78.600	-5.200
R201.100	5	3	2	2172.16	984.85	25	14	11	2056	6490	-80.000	5.600
C101.50	7	4	3	412.56	168.75	10	4	6	1033	775	-30.000	-60.100
C101.100	14	7	7	1155.08	444.5	18	8	10	2578	24668	-22.200	-55.200
C201.50	2	1	1	444.96	300.69	10	4	6	1085	1497	-80.000	-59.000
C201.100	4	2	2	633.22	177.03	18	8	10	2488	38539	-77.800	-74.500
RC101.50	10	5	5	1099.73	169.54	21	8	13	1768	726	-52.400	-37.800
RC101.100	21	11	10	2358.57	304.15	31	15	16	2416	7918	-32.300	-2.400
RC201.50	3	2	1	1582.71	281.27	17	10	7	1572	575	-82.400	0.700
RC201.100	5	3	2	2579	793.91	30	16	14	2776	24876	-83.300	-7.100
ค่าเฉลี่ย (Averages)											-53.025	-22.717

NV = จำนวนพาหนะขนส่งทั้งหมด(คัน)
QA = จำนวนพาหนะขนส่งประเภท A
QB = จำนวนพาหนะขนส่งประเภท B
LT = ความยาวเส้นทางโดยรวม(ระยะทาง)
CPU.Time = เวลาประมวลผล(วินาที)
ACS-HLS = คำตอบผู้วิจัย
Tabu Search =คำตอบของธรินี มณีศรี [1]

$$\Delta\% = \left(\frac{ACSBest - LingoBest}{LingoBest}\right) * 100$$

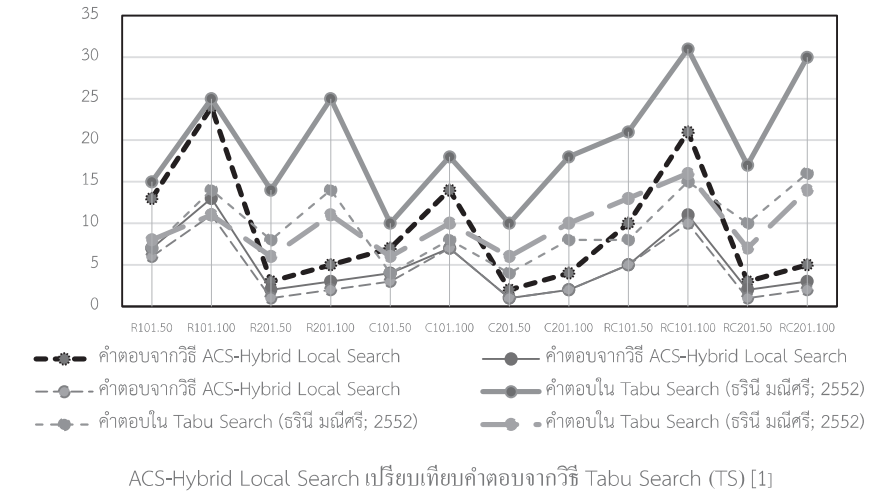
ผู้วิจัยนำเอาผลการทดสอบที่ได้จาก ACS-HLS มาทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากงานวิจัยของธรินี มณีศรี [1] ซึ่งมาจากวิธี Tabu Search (TS) [1] นั้น สรุปได้ดังในตารางที่ 2

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบปัญหา FSMVRPTW

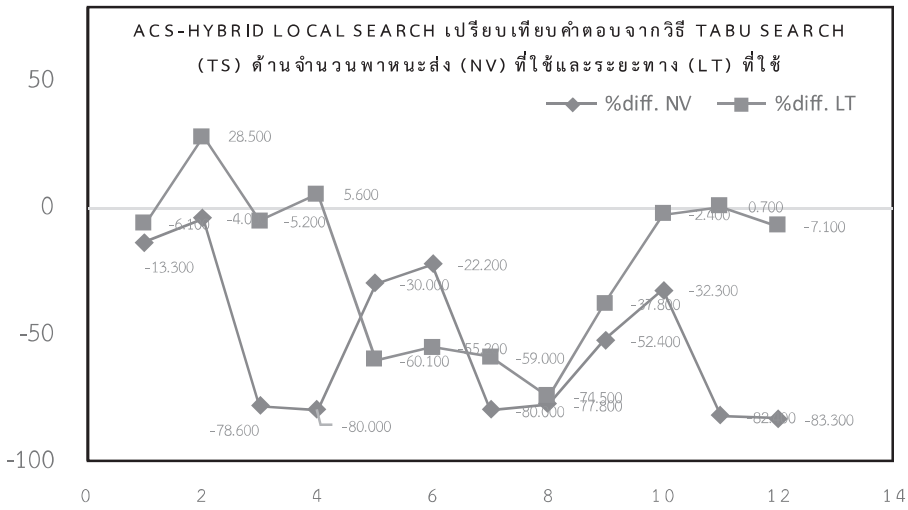
สรุปผลการวิเคราะห์จากการทดสอบปัญหา FSMVRPTW คำตอบที่ได้จาก ACS-HLS เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี TS [1] นั้น มีดังนี้

1) การเปรียบเทียบด้านจำนวนการใช้พาหนะขนส่ง (NV) ทั้งสองประเภท (QA-QB) ระหว่างคำตอบที่ได้จากวิธี ACS-HLS จะให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าวิธี TS [1] ถึง 53.025% ซึ่งหมายถึงด้านจำนวนการใช้พาหนะขนส่งมีจำนวนที่น้อยกว่า ซึ่งสามารถประหยัดทั้งด้านต้นทุนการจัดหาพาหนะขนส่งที่ถือว่าเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ด้านจำนวนการใช้พาหนะขนส่งโดยรวมในการดำเนินการขนส่งสินค้า ผลการทดสอบปัญหา FSMVRPTW ในภาพรวมดังในรูปที่ 7

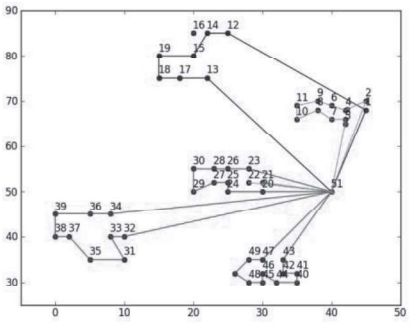
2) การเปรียบเทียบด้านระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทางนั้นคำตอบที่ได้จากวิธี ACS-HLS จะให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าวิธี TS [1] ถึง 22.717% ซึ่งแสดงเห็นว่าการใช้ระยะทางของพาหนะขนส่งในทุกเส้นทางรวมกันแล้ววิธี ACS-HLS ให้ระยะทางโดยรวมที่สั้นที่สุดในการดำเนินการขนส่งสินค้าแต่ทั้งนี้ พบว่าในปัญหา R101.100 และ R201.100 คำตอบที่ได้จากวิธี ACS-HLS จะให้ระยะทางที่ยาวกว่าวิธี TS [1] สูงถึง 28.500 และ 5.600 หน่วย ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในแง่การใช้ระยะทางดูเสมือนว่า ACS-HLS จะใช้ระยะทางที่ยาวกว่าวิธี TS [1] หรือคำตอบที่แย่กว่า แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของจำนวนพาหนะขนส่งที่นำมาใช้งาน พบว่า ในปัญหา R101.100 วิธี ACS-HLS ใช้พาหนะขนส่งเพียง 24 คัน แต่วิธี TS [1] ใช้พาหนะขนส่งจำนวน 25 คัน ส่วนในปัญหา R201.100 วิธี ACS-HLS ใช้พาหนะขนส่งเพียง 5 คัน แต่วิธี TS [1] ใช้พาหนะขนส่งสูงถึง 25 ซึ่งในแง่การลงทุนด้านจัดซื้อจัดหาพาหนะขนส่งมาใช้งานแล้ว วิธี ACS-HLS ก็ให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าวิธี TS [1] อย่างแน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 8 และตัวอย่างเส้นทางพาหนะขนส่งที่ดีที่สุดของวิธี ACS-HLS ดังรูปที่ 9-11



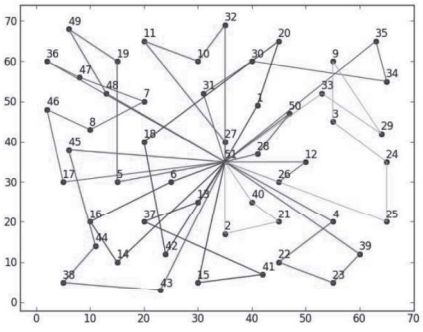
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบคำตอบในภาพรวม



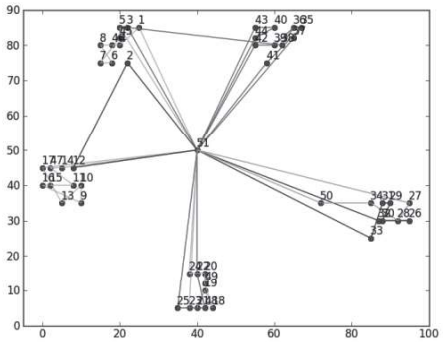
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบคำตอบด้านจำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้ (NV) และระยะทางพาหนะขนส่งที่ใช้ (LT)



รูปที่ 9 ตัวอย่างเส้นทางพาหนะขนส่งที่ดีที่สุดปัญหา C101.50



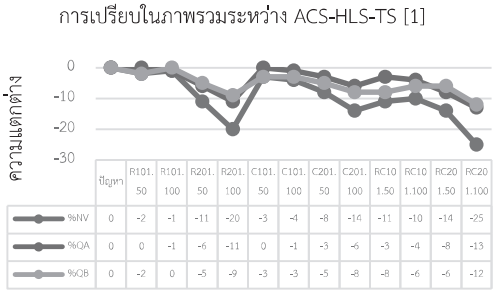
รูปที่ 10 ตัวอย่างเส้นทางพาหนะขนส่งที่ดีที่สุดปัญหา R101.50



รูปที่ 11 ตัวอย่างเส้นทางพาหนะขนส่งที่ดีที่สุดปัญหา RC101.50

5. สรุปผล

ผลการทดสอบและการประเมินคุณภาพคำตอบที่ได้โดยนำคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม ACS-HLS เปรียบเทียบเพื่อหาคุณภาพคำตอบที่ได้จากวิธี Tabu Search (TS) จากงานวิจัยของ ธรินี มณีศรี [1] พบว่า ผลการทดสอบโดยวิธี ACS-HLS ที่ผู้ดำเนินโครงการพัฒนาขึ้นมานั้นสามารถค้นหาคำตอบได้ดีกว่าวิธี TS [1] ทั้งในแง่ของจำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้ ระยะเวลาโดยรวมการใช้เส้นทางพาหนะขนส่ง และเวลาที่ใช้ประมวลคำตอบที่เหมาะสม ดังรูปที่ 12



ปัญหา	R101.50	R101.100	R201.50	R201.100	C101.50	C101.100	C201.50	C201.100	RC101.50	RC101.100	RC201.50	RC201.100
%NV	0	-2	-1	-11	-20	-3	-4	-8	-14	-11	-10	-14	-25
%QA	0	0	-1	-6	-11	0	-1	-3	-6	-3	-4	-8	-13
%QB	0	-2	0	-5	-9	-3	-3	-5	-8	-8	-6	-6	-12

รูปที่ 12 เปรียบเทียบโดยภาพรวม
ระหว่าง ACS-HLS-TS [1]

ผลการเปรียบเทียบคำตอบจากวิธี ACS-HLS และวิธี TS [1] พบว่า ด้านจำนวนการใช้พาหนะขนส่ง (NV) วิธี ACS-HLS ใช้พาหนะขนส่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ย (%deff NV) ถึง 53.025% ซึ่งหมายถึงมีจำนวนการใช้พาหนะขนส่งที่จำนวนน้อยกว่า วิธี TS [1] ซึ่งจะสามารถประหยัดทั้งด้านต้นทุนการจัดหาพาหนะขนส่งที่ถือว่าเป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ส่วนการใช้ระยะทางที่ในแต่ละเส้นทาง นั้นคำตอบที่ได้จากวิธี ACS-HLS จะให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าวิธี TS [1] ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%deff LT) ถึง 22.717% ผลจากทดสอบอัลกอริทึมทำให้ผู้วิจัยมั่นใจได้ว่าวิธี ACS-HLS นั้น ผู้ประกอบการด้านการขนส่งโลจิสติกส์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการวางแผนหรือกำหนดกลยุทธ์ในการขนส่งได้อย่างประสิทธิภาพและสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าและยังสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ลดความสูญเสียค่าใช้จ่ายและเวลาที่ไม่จำเป็น รวมทั้งวิธี ACS-HLS สามารถค้นหาคำตอบที่ดีโดยใช้เวลาประมวลคำตอบที่เหมาะสมประมาณ 377.455 วินาที/ปัญหา ดังนั้น งานวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่ง จึงเป็นงานที่ดำเนินการเพื่อให้เกิดการดำเนินการมีความคุ้มค่าในการลงทุน จึงจำเป็นต้องมีการจัดการวางแผน ลำดับก่อน-หลังของเส้นทาง จากผู้จำหน่ายสินค้าไปยังลูกค้าเพื่อสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้ามากที่สุด และสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้ามากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณประเภทวิจัยทั่วไป กองทุนมหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ประจำปี 2556 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ธรินี มณีศรี, การประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้ โดยมีการใช้พาหนะขนส่งที่ประเภทพาหนะขนส่งที่แตกต่างกัน, ทุนอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยศรีปทุม. 2552

[2] สุพรรณ สุดสนธิ์ (2558) วิธีอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง.-- ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[3] Eksioglu B, Vural AV, and Reisman A, “The vehicle routing problem: A taxonomic review”. Computers and Industrial Engineering. 2009; 57(4):1472-83. 2009.

[4] Laporte, G. “The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms”. European Journal of Operational Research.1992; 59, 345-58.

[5] Little, J.D.C.; Murty, K.G.; Sweeney, D.W. & Karel, C. “An algorithm for the traveling saleman problem”. Operations Research, Vol. 11. 1963; pp. 972–89.

[6] Parragh, S., K. Doerner, and R. Hartl. “A survey on pickup and delivery problems. part I: Transportationbetween customers and depot”. Journal fur Betriebswirtschaft 58 (1), 21–51. 2008a.

[7] Parragh, S., K. Doerner, and R. Hartl. “A survey on pickup and delivery problems. part II: Transportation between pickup and delivery locations”. Journal fur Betriebswirtschaft.2008b; 58 (1), 81–117.

[8] Solomon, Marius M. and Jacques Desrosiers. “Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems: A Survey”. Transportation Science. 1986; 22 (1), 1-11.

[9] Solomon, M., Desrosiers, J. “Time window constrained routing and scheduling problems”. Transportation Science. 1988; 22, 1–13.

[10] Toth, P and Vigo, D. “Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem”, Discrete Applied Mathematics. 2002b; 123, 487-512.

[11] Toth, P and Vigo, D. “The Granular Tabu Search and its application to the vehicle routing problem”, INFORMS Journal on Computing. 2003; 15(4), 333-346. [12] VRP benchmark problems URL: http://www.bernabe.dorronsoro.es/vrp/ Accessed May