

วิธีฮิวริสติกเพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับรถที่มีความจุจำกัดในปัญหา การจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา

A Heuristic to Minimize Cost for Capacitated Vehicles in Vehicle Routing Problem with Time Windows

ธีรศักดิ์ หุมละออ

เจริญชัย โขมพัฒนารักษ์¹

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows: VRPTW) มีความสำคัญในอุตสาหกรรมปัจจุบัน โดยเฉพาะผู้ส่งมอบสินค้าให้แก่โรงงานที่อิงระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time) ในกรณีที่ผู้ส่งมอบบริหารจัดการจัดส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าเอง ผู้ส่งมอบจะต้องจัดเส้นทางรถขนส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขเวลาการส่งมอบของลูกค้าด้วย ปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาของคลังอู่มินิอัสลอสต์ บริษัทผู้ผลิตรายหนึ่งของบริษัทอยู่จำนวนหนึ่ง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งทางบริษัทจะใช้รถที่มีอยู่ของบริษัทในการส่งสินค้าก่อน หากมีความจำเป็นจึงจะพิจารณาเช่ารถขนส่งเพิ่มซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่ารถของบริษัท โดยเส้นทางรถขนส่งจะเริ่มจากคลังสินค้าที่มีเพียงแห่งเดียวของบริษัทเสมอและจบที่อาคารขนส่งที่คลังเช่นกัน รถที่ใช้ขนส่งทั้งหมดทั้งของบริษัทและที่เช่าเพิ่มมีความจุเท่ากัน จุดประสงค์ของปัญหาคือการจัดเส้นทางรถขนส่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด ข้อกำหนดเรื่องกรอบเวลาในงานวิจัยนี้เป็นข้อกำหนดที่ยึดหยุ่นไม่ได้ (Hard Constraint) ซึ่งต่างจากงานวิจัยหลายๆชิ้นที่เกี่ยวกับ VRPTW สำหรับการแก้ปัญหาได้วิธีฮิวริสติกซึ่งอิงกรอบเวลา ความจุของรถ และเวลารอคอยเป็นหลัก ผลการศึกษพบว่าวิธีฮิวริสติกที่ใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งของบริษัทได้ประมาณ 25% หรือลดค่าใช้จ่ายในการเช่ารถเพิ่มได้เกือบ 1.6 ล้านบาทต่อปี จากปัจจุบันซึ่งใช้ความชำนาญเฉพาะของบุคลากรเพียงอย่างเดียวในการจัดเส้นทาง

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางรถขนส่ง, กรอบเวลา, ฮิวริสติกส์, การลดค่าใช้จ่าย, คลังอู่มินิอัสลอสต์

Abstract

Vehicle routing problem with time windows (VRPTW) is an important problem in industry, particularly for suppliers who serve manufacturing plants with a Just-in-Time based production system. For the suppliers that manage their own fleet, one of the issues is to minimize the transportation cost, while satisfying the time windows specified by the

¹ E-mail address: ckthomp@gmail.com, โทรสาร 0-2872-9081

customers. In this study, the supplier who manufactures aluminum alloy wheel hubs may consider renting additional trucks, but this option is only implemented when necessary since the rental cost of a truck is higher than the operating cost of their own truck. All trucks must start and end every trip at the supplier's lone warehouse. Both supplier's and rental trucks are assumed to have the same capacity. The objective is to minimize the transportation cost via efficiently routing the trucks. Unlike many other studies of VRPTW, the time window constraints are hard constraints (cannot be violated) in this study. A computer executable heuristic that considers time windows, vehicle capacity, and waiting time is proposed to solve the aforementioned problem, instead of manual routing currently used in the company. The results show that the heuristic can improve the company's truck utilization by 25%, and potentially saves the company almost 1.6 million baht a year in truck rental cost.

Keywords: Vehicle Routing, Time Windows, Heuristic, Cost Minimization, Aluminum Alloy Wheel Hubs

1. บทนำ

ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีที่มีการประยุกต์ใช้กันในปัจจุบันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ช่วงเวลาความต้องการสินค้าเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการจัดส่งสินค้า ยิ่งหากผู้ผลิตมีลูกค้า ที่ต้องส่งสินค้าให้อยู่เป็นจำนวนมาก การบริหารจัดการส่งสินค้าที่มีอยู่ก็ยังเป็นสิ่งสำคัญ และซับซ้อนมากตามไปด้วย ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตต้องมีนโยบายแผนการ และ ระเบียบปฏิบัติ ในการใช้รถที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมา เช่น ไม่มีจำนวนรถเพียงพอในบางช่วงเวลาค่าจ้างล่วงเวลาคนขับมาก ต้องเช่ารถขนส่งเพิ่มมากกว่าที่ควรจะเป็น ปัญหาเหล่านี้ล้วนกระทบต่อต้นทุนของบริษัททั้งสิ้น นอกจากนี้การจัดส่งไม่ทันเวลายังส่งผลให้ลูกค้าขาดความเชื่อมั่นในบริษัทด้วย

ปัญหาการจัดส่งสินค้าที่มีข้อจำกัดของเวลา หรือเรียกกันว่าปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา เป็นการเขียนขยายปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) ให้ทั่วไป (General) มากขึ้น และมีความยากในการแก้ปัญหามากกว่าปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งปกติ [12] จุดประสงค์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยมีกรอบเวลาโดยทั่วไป คือ การลดจำนวนรถขนส่ง หรือการลดค่าขนส่งโดยรวม และมักมีสมมติฐานประหนึ่งว่ามีจำนวนรถไม่จำกัด [10] แต่ในทาง

ปฏิบัติแล้ว บริษัทต่าง ๆ มีจำนวนรถขนส่งจำกัด Lau และคณะ [10] ได้คำนึงถึงข้อจำกัดด้านจำนวนรถในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา แต่ในการศึกษาครั้งนั้นอนุญาตให้ข้อจำกัดเรื่องเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นได้ (Soft Constraint) กล่าวคือหาไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขของกรอบเวลาได้จะไปเพิ่มโทษ (Penalty) ในสมการเป้าหมายแทน

Sam [11] ประยุกต์รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาเพื่อลดค่าใช้จ่ายของการขนส่งโดยคำนวณเฉพาะค่าใช้จ่ายจากเวลาเดินทางจากลูกค้าหนึ่งไปยังลูกค้าถัดไปในที่ขบวนส่งหนึ่งๆเท่านั้น และแยกเวลารอคอยกับเวลาให้บริการแต่ละลูกค้าเป็นเวลาพบปะลูกค้า โดยไม่ได้นำมาคิดเป็นค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังยอมให้ส่งสินค้าได้ก่อนและหลังเวลาที่กำหนดได้แต่ไปเพิ่มโทษในสมการเป้าหมายแทน ทำนองเดียวกัน Landrieu และคณะ [9] ได้ประยุกต์รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาเพื่อลดต้นทุนการขนส่งแบบ Pickup and Deliver Time แต่ไม่ยอมให้รถไปถึงช้ากว่ากรอบเวลาที่กำหนด แต่ถ้ามาถึงก่อนเวลาจะต้องรอนถึงกรอบเวลาที่กำหนดส่งมอบได้ ตัวอย่างของงานวิจัยที่คำนึงถึงกรอบเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นไม่ได้คือ Tan และคณะ [14] ซึ่งกำหนดระยะเวลาที่รถสามารถวิ่งได้สูงสุดต่อหนึ่งเส้นทางทุกๆคันเป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมจากการที่รถแต่ละคัน

มีความจำกััดเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งต่ำลง

ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาเป็นปัญหา NP-hard [13]มีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบโดยใช้วิธีฮิวริสติกส์ต่างๆ เช่น อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetics Algorithm: GA) [5] ขบวนการ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) [8] อัลกอริทึม Simulated Annealing (SA) [4] วิธี Multi-Start Local Search โดย Bräysy และคณะ [3] วิธี Branch and Bound โดย Kolen และคณะ [7] และวิธีฮิวริสติกส์อื่นๆใน [1,2,14] เป็นต้น

ฮิวริสติกที่เสนอในงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น โดยเริ่มจากการเรียงกรอบเวลาที่ต้องส่งสินค้าในแต่ละวันตามลำดับก่อนหลังของเวลา จากนั้นเปรียบเทียบลำดับเวลาเพื่อลดหรือเพิ่มจุดที่จะส่งมอบในแต่ละเส้นทาง กรอบเวลาเหล่านี้ถือเป็นข้อจำกัดที่ขัดหยุ่นไม่ได้ (Hard Constraint) ซึ่งต่างจากงานของ Lau และคณะ [10]

ในหัวข้อต่อไปกล่าวถึงตัวแบบคณิตศาสตร์ทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา จากนั้นเป็นรายละเอียดและข้อจำกัดเฉพาะของปัญหาวิจัยหัวข้อที่ 4 กล่าวถึงฮิวริสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และท้ายที่สุดเป็นบทสรุป

2. ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลา

ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาต่อไปนี้ดัดแปลงมาจาก [6,14,15] ประกอบด้วยจุดขนส่ง $i, j \in \{0,1,2,...,N\}$ กำหนดให้คลังสินค้าแทนด้วยตำแหน่ง 0 โดยรถแต่ละคันเริ่มเส้นทางจากคลังและกลับมาจบที่คลังเสมอ ความต้องการสินค้าที่ตำแหน่ง j มีค่าเป็น m_j ใช้รถบรรทุก $k \in \{1,2,...,K\}$ ที่มีความจุ q_k เท่ากันทุกคันในการขนส่ง รถแต่ละคันมีเวลาใช้งานต่อวันเท่ากับ r_k กำหนดให้ x_{ijk} คือตัวแปรตัดสินใจ ซึ่ง $i \neq j$ โดยที่ x_{ijk} มีค่าเป็น 1 ถ้ารถ k วิ่งจากจุด i ไปยังจุด j

และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น ระยะทางระหว่างตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j คือ d_{ij} ซึ่งใช้เวลาเดินทาง t_{ij} และเสียค่าใช้จ่าย c_{ij}

ให้ t_i เป็นเวลาที่รถออกจากตำแหน่ง i จากนั้นเมื่อรถเดินทางถึง j เวลาที่สามารถขนถ่ายสินค้าที่ตำแหน่ง j ได้เร็วและช้าที่สุดคือ e_j และ l_j ตามลำดับ หากรถมาถึงตำแหน่ง j ก่อนหมายกำหนดการต้องรอเป็นเวลา w_j และ f_j คือ เวลาที่ใช้ขนถ่ายที่ตำแหน่ง j

เราสามารถเขียนตัวแบบคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \quad k \in \{1,2,...,K\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} = 1 \quad k \in \{1,2,...,K\} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ijk} \leq 1 \quad i, j \in \{1,2,...,N\}, i \neq j \quad k \in \{1,2,...,K\} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N m_j \sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} \leq q_k \quad k \in \{1,2,...,K\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{ijk} (t_i + f_j + w_j) \leq r_k \quad k \in \{1,2,...,K\} \quad (6)$$

$$t_0 = w_0 = f_0 = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} (t_i + t_{ij} + f_j + w_j) \leq t_j \quad j \in \{1,2,...,N\} \quad (8)$$

$$e_j \leq (t_j + w_j) \leq l_j \quad i, j \in \{1,2,...,N\}, i \neq j \quad (9)$$

ความหมายของสมการข้างต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

สมการที่ 1 คือ สมการเป้าหมายเพื่อหาค่าใช้จ่ายการขนส่งที่น้อยที่สุด

สมการที่ 2 คือ รถทุกคันต้องเริ่มต้นออกจากคลังสินค้าเสมอ

สมการที่ 3 คือ รถทุกคันต้องกลับมาที่คลังสินค้าเสมอ

สมการที่ 4 คือ รถแต่ละคันสามารถแวะที่จุดแต่ละจุดได้ไม่เกิน 1 ครั้ง

สมการที่ 5 คือทุกเส้นทางสามารถบรรทุกได้สูงสุดไม่เกิน q_k

สมการที่ 6 คือ ระยะเวลาสูงสุดต่อเส้นทางต้องไม่เกิน r_k

สมการที่ 7, 8, 9 คือ ข้อกำหนดของกรอบเวลา

3. ปัญหาที่ศึกษา

ปัญหาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ สืบเนื่องจากการที่ลูกค้าของบริษัทเพิ่มกำลังการผลิต ยังผลให้มีความต้องการพื้นที่ในคลังเพื่อเก็บสินค้าที่ผลิตแล้วเพิ่มขึ้น และไม่สามารถรองรับวัตถุดิบจำนวนมากๆได้ในคราวเดียว ลูกค้าจึงกำหนดให้ทางบริษัททยอยส่งสินค้าให้หลายครั้งในแต่ละวัน แทนการจัดส่งครั้งละมากๆ เช่นเดิม ทางบริษัทมีรถจัดส่งอยู่จำนวนหนึ่ง ผู้วางแผนการจัดส่งจะพยายามจัดเส้นทาง และใช้รถของบริษัทก่อน หากมีความจำเป็นจึงจะเช่ารถเพิ่มเฉพาะช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งการเช่ารถเพิ่มจะเสียค่าใช้จ่ายต่อคันมากกว่าการใช้รถของบริษัทเอง เพื่อเป็นการลดลดค่าใช้จ่ายในการเช่ารถเพิ่มจึงต้องหาแนวทางที่จะใช้ รถบริษัทที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพ จุดประสงค์ของงานวิจัยคือ การหาแนวทางในการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อให้การใช้รถขนส่งมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

สมมติฐานและข้อจำกัดอื่นๆ นอกเหนือจากข้อจำกัดที่กล่าวไว้ในตัวแบบคณิตศาสตร์ข้างต้นแล้วมีดังต่อไปนี้

1. ความจุบรรทุกสูงสุด q_k ของรถแต่ละคันคือ 300 ชิ้นต่อเที่ยว
2. ปริมาณความต้องการของลูกค้าของแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันมีความแน่นอน แต่อาจเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน
3. ไม่ยอมให้สินค้าถึงที่หมายช้ากว่ากรอบเวลาที่กำหนด แต่ไม่จำเป็นต้องถึงพร้อมกัน
4. เวลาทำงานปกติของคันขับรถเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน และแต่ละคนสามารถทำช่วงเวลาได้ไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน, ดังนั้นรถแต่ละคันมีเวลาเดินทาง r_k ไม่เกิน 16 ชั่วโมงต่อ

วัน

5. บริษัทมีรถขนส่งอยู่ 6 คัน แต่เมื่อรถเดินทางกลับเข้าคลังสินค้าแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
6. การเดินทางออกจากคลังไปตามจุดส่งของต่างๆ และกลับเข้ามาที่คลังนับเป็น 1 เที่ยว
7. สินค้ามีพร้อมเมื่อต้องมีการจัดส่ง
8. เวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเส้นทางถือเป็นค่าคงที่

เนื่องจาก ปัญหา การจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาเป็นปัญหา NP-hard การแก้ปัญหานี้ในงานวิจัยนี้ จึงใช้วิธีฮิวริสติกซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

4. วิธีฮิวริสติก

วิธีฮิวริสติกที่ใช้เริ่มจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วจัดเรียงเวลาที่ต้องส่งมอบสินค้าจากเร็วที่สุดจนกระทั่งช้าที่สุดของวัน จากนั้นทำการตรวจสอบจำนวนที่ต้องการของจุดขนส่งนั้นๆ แล้วจัดสินค้าลงรถขนส่ง บันทึกเส้นทางระยะทาง และเวลาเดินทาง จัดเส้นทางเช่นนี้ให้มากที่สุดตามความจุของรถ จากนั้นจึงกำหนดให้รถกลับเข้าคลังเป็นอันเสร็จสิ้นการขนส่งในเที่ยวนั้น ทำเช่นนี้จนครบทุกจุดขนส่งรายละเอียดของวิธีฮิวริสติกมีดังนี้

1. การกำหนดค่าที่ควรเริ่มต้น $k = 1$, จุดเริ่มต้น $i = 0$ และ j ความจุต่อคัน $q_k = 300$ ชิ้นต่อเที่ยว
2. ป้อนความต้องการลูกค้าในวันที่จะทำการจัดส่ง m_j และกำหนด Set $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$
3. เรียงสมาชิกของ Set M จากเวลาส่งก่อนไปหาเวลาส่งสุดท้าย (e_j เร็วที่สุดไปหา e_j ช้าที่สุด)
4. จัดเส้นทางจากตำแหน่ง j ใน Set M คำนวณเวลาที่เริ่มออกจากคลังที่สามารถไปทันเวลาส่งสินค้า ณ จุด j ของเที่ยว k (เวลาที่รถเริ่มออกจากคลัง $= e_j - t_{ij}$) และเช็คความต้องการกับตำแหน่งที่จะส่ง โดยมี 2 เงื่อนไข
 - 4.A. ถ้า m_j น้อยกว่าความสามารถบรรทุกของรถ ข้ามไปทำข้อ 5.A.
 - 4.B. ถ้า m_j มากกว่าหรือเท่ากับความสามารถบรรทุกของรถ ข้ามไปทำข้อ 5.B.

5. จัดเส้นทางเดินรถ

5.A. จัดความต้องการทั้งหมดใส่ที่เขวารถที่ k บันทึกเส้นทาง จากนั้น update ความจุที่ยังสามารถบรรทุกได้เป็น $q'_k = q_k - m_j$ ปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดต่อไปตามข้อ 6.

5.B. แยกพิจารณาเป็น 2 กรณี

5.B.1. ถ้าความต้องการ m_j จัดแบ่งด้วยความจุรถ q_k ได้เต็มคันรถพอดี (m_j/q_k แล้วได้จำนวนเต็ม) เพิ่มจำนวนรถ $k = m_j/q_k$ คัน โดยแต่ละคันออกจากคลังมาส่งที่จุด j โดยตรงแล้วกลับเข้าคลัง เวลาที่รถเริ่มออกจากคลังคือ $e_0 - t_{0j}$ บันทึกเส้นทางของเที่ยวรถ

5.B.2. ถ้าความต้องการ m_j จัดแบ่งด้วยความจุรถ q_k ได้ไม่เต็มทุกคันพอดี (m_j/q_k แล้วมีเศษ) จะแยกเป็น 2 ขั้นตอน

5.B.2.1. จัดคันที่บรรทุกเต็มพอดี โดยเพิ่มจำนวนรถ $k = (\text{rounddown}(m_j/q_k))$ คัน แต่ละคันออกจากคลังมาส่งที่ j แล้วกลับเข้าคลัง เวลาที่รถเริ่มออกจากคลังคือ $e_0 - t_{0j}$ บันทึกเส้นทาง แล้วไป

5.B.2.2. ต่อ

5.B.2.2.1. คำนวณจำนวนความต้องการที่เหลือ ณ จุด j เป็น $m'_j = m_j - (\text{rounddown}(m_j/q_k)) \times q_k$ ถ้า $m'_j = m_j$ ให้เปลี่ยน $m_j = m'_j$ ก่อนไปข้อ 6.B. ถ้าไม่ใช่ให้เปลี่ยน $m_j = m'_j$ ก่อนไปเริ่มเช็คข้อ 4.A. และ 4.B. และปฏิบัติตามเงื่อนไขของรถคันที่ยังจัดไม่เต็มความจุนี้ใหม่

6. บันทึกจุดที่ส่งแล้วและเลื่อนจุดส่ง

6.A. บันทึกว่าจุด j ได้ทำการจัดแล้วและไม่นำกลับมาจัดอีก และให้ $i = j$ แล้วทำ 6.B. ต่อ

6.B. เลื่อนจุดส่งต่อไป โดยให้ $j = j+1$ เริ่มตรวจก่อนว่า $j = N+1$ หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อ 7. ถ้าไม่ใช่ คำนวณเวลาที่จะต้องเดินทางจาก i ไปตำแหน่งใหม่ j

จาก

$$e_j \leq (t_{ij} + w_j) \leq l_j \quad (10)$$

หาก (10) เป็นจริงให้กลับไปตรวจข้อ 4.A. และ

4.B. และปฏิบัติตามเงื่อนไขนั้น ถ้าไม่เป็นจริงให้ทำข้อ 6.B. อีกรอบ

7. เมื่อ $j = N+1$ แสดงว่าเราตรวจจนถึงจุดขนส่งสุดท้ายของวันแล้ว จึงบังคับให้รถย้อนกลับคลังได้เลย คือให้จุดส่งต่อไปเป็น $j = 0$ บันทึกเส้นทางและเวลาที่ใช้ จากนั้นตรวจดูว่ายังมีจุดส่งของใดที่ยังไม่ได้ส่งบ้าง (ดูว่า Set M เป็นเซตว่างหรือไม่) ถ้าไม่มีให้หยุดโปรแกรม ถ้ายังมีจุดที่ยังไม่ได้ส่งอีกให้ตรวจว่า k ปัจจุบันมีค่าเป็นเท่าไร แล้วจึงเพิ่มค่า $k = k+1$ เริ่มจัดเส้นทางรถคัน k ใหม่โดยเริ่มจากคลัง $i = 0$ และ j เป็นดัชนีของสมาชิกตัวแรกใน Set M ที่ยังไม่ได้จัดใส่รถ แล้วกลับไปข้อ 4.

เมื่อจบโปรแกรมแล้วนำจำนวนเที่ยวขนส่งทั้งหมด k จากการจัดเส้นทางมาจัดตารางการใช้รถในแต่ละวัน โดยที่เวลาของแต่ละเที่ยวจัดส่งต้องไม่ทับซ้อนกันและต้องไม่เกินเวลาทำงานรวม 16 ชั่วโมงต่อวัน จะได้เป็น จำนวนรถที่ต้องการใช้จริงในวันนั้น (รถหนึ่งคันอาจส่งได้หลายเที่ยว จำนวนเที่ยวจึงมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนรถที่ต้องการเสมอ) จากนั้นนำผลที่ได้มาคิดค่าใช้จ่ายรวมในการจัดส่ง ค่าล่วงเวลา ระยะเวลาการจัดส่งแต่ละเที่ยว ระยะเวลาการจัดส่งต่อคันต่อวัน และค่าเช่ารถเพิ่ม

5. ผลการทดลอง

วิธีวิธีสถิติข้างต้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ กับปัญหาการเส้นทางเดินรถของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งเป็นผู้ผลิตคอมพิวเตอร์มินิคอมพิวเตอร์สำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยทดสอบการจัดเส้นทางเพื่อส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย เพื่อให้การจัดส่งมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดค่าใช้จ่ายหลักประกอบด้วย 3 รายการ คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้รถของบริษัทที่มีอยู่ทั้งหมด 6 คัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเช่ารถเพิ่มเมื่อรถของบริษัทมีไม่เพียงพอต่อการส่งของวันนั้นๆ และค่าใช้จ่ายในการจ้างคนขับรถ (ซึ่งนำมาคิดเฉพาะ

ค่าล่วงเวลา เพราะเป็นค่าใช้จ่ายที่จะเพิ่มมากขึ้น จากการจ้างในเวลากลางคืนหากการจัดการการขนส่งไม่เหมาะสมพอ) ส่วนข้อกำหนดอื่นๆ เช่น ความจุบรรทุกนั้นได้กล่าวไว้แล้วในเบื้องต้น

ปัจจุบันทางบริษัทใช้การจัดเส้นทางเดินรถจากความชำนาญของพนักงานจัดเพียงอย่างเดียว ผู้วิจัยได้ตรวจสอบข้อมูลการจัดเส้นทางจริงทั้งปี 2548 พบว่ามีการเช่ารถเพิ่มสูงที่สุดในช่วงเดือน กันยายน ถึง ธันวาคม จึงนำข้อมูลในช่วงดังกล่าวมาทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย โดยในแต่ละเดือนทำการสุ่ม 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน ดังได้ผลตามตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 สังเกตว่าในช่วงเวลา 16 วันที่ทดสอบมีการใช้รถของบริษัทรวม 141 เที่ยว และเช่าเพิ่มอีก 130 เที่ยว หรือคิดเป็นการใช้รถของบริษัทเพียง $141/(141+130) = 52\%$ ส่วนค่าเฉลี่ยของจำนวนเที่ยวที่ใช้รถบริษัท และรถเช่านั้นประมาณ 9 และ 8 เที่ยวต่อวัน ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการจัดส่งสินค้าทั้ง 16 วัน มีมูลค่า 591,207 บาท โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากรถบริษัท 228,987 บาท (รวมค่าน้ำมันแล้ว) ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเช่ารถ 349,200 บาท และค่าทำงานล่วงเวลาคนขับคิดเป็นเงิน 13,020 บาท

เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเช่ารถเพิ่ม ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก โดยแยกการทดสอบเป็น 2 รูปแบบ คือ

1.รูปแบบการจัดเส้นทางที่ไม่คำนึงเวลารอคอยเมื่อรถเดิน ทางถึงจุดส่งสินค้า ในกรณีที่ไปถึงก่อนเวลาส่งของครบเวลา กล่าวคือหากสามารถบรรทุกได้และไปถึงไม่ช้ากว่าเวลากำหนดส่งก็ให้จัดรถไปส่งได้

2.รูปแบบการจัดเส้นทางที่คำนึงเวลารอคอย ในกรณีนี้จะเปรียบเทียบเวลาที่ต้องรอ ณ จุดส่ง j เทียบกับเวลาเดินทางที่ใช้ในการเดินทางกลับเข้าคลัง ถ้าหากเวลารอคอยมากกว่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาเดินทางจากจุดขนส่งสุดท้ายกลับเข้าคลัง ($w_j > t_{ij}$) ให้รถเดินทางกลับคลังแทน

ผลการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกในทั้ง 2 รูปแบบ กับข้อมูลการขนส่งใน 16 วันข้างต้น ได้ผลดังตารางที่ 2 และ 3 จากตารางที่ 2 ผลการวางแผนเส้นทางเดินรถรายวันโดย

วิธี ฮิวริสติกในรูปแบบที่ 1 ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในการจัดส่งสินค้าทั้ง 16 วันตัวอย่างมีมูลค่า 510,079.50 บาท โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากรถบริษัท 367,460 บาท (รวมค่าน้ำมันการจัดส่งแล้ว) ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเช่ารถ 129,700 บาท และค่าทำงานล่วงเวลาของคนขับคิดเป็นเงิน 12,920 บาท ทั้งนี้เนื่องจากการที่สามารถวางแผนการจัดส่งโดยใช้รถบริษัทในการส่งสินค้าเพิ่มเป็น 182 เที่ยว จากทั้งหมด 235 เที่ยว และสังเกตได้ว่าจำนวนเที่ยวรถวิ่งทั้งหมดลดลงจากเดิม $141+130 = 271$ เที่ยวด้วย โดยสามารถคิดเป็นอัตราการใช้รถบริษัทในการจัดส่งสินค้าด้วยรูปแบบนี้เท่ากับ 77% และใช้รถเช่า 23% ฉะนั้นวิธีการนี้ถือได้ว่ามีประโยชน์ในการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยรวม

ตารางที่ 3 เป็นผลที่เกิดจากการวางแผนเส้นทางเดินรถรายวันโดยวิธีฮิวริสติกในรูปแบบที่ 2 ซึ่งจากชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในการจัดส่งสินค้ามีมูลค่า 517,873 บาท โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากรถบริษัท 381,440 บาท (รวมค่าน้ำมันการจัดส่งแล้ว) ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเช่ารถ 123,600 บาท และค่าทำงานล่วงเวลาของคนขับคิดเป็นเงิน 12,833 บาท วิธีฮิวริสติกในรูปแบบที่ 2 นี้สามารถวางแผนการจัดเส้นทางโดยใช้รถบริษัทในการส่งสินค้าเพิ่มเป็น 210 เที่ยวจากทั้งหมด 256 เที่ยว จำนวนเที่ยวรถวิ่งทั้งหมดเพิ่มขึ้นมาก และสามารถทำให้การใช้รถบริษัทมากกว่ารูปแบบที่ 1 โดยสามารถคิดเป็นอัตราการใช้รถบริษัทในการจัดส่งสินค้าด้วยรูปแบบนี้เท่ากับ 82% และที่เหลือเป็นรถเช่า หากคิดถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถของบริษัทเพียงอย่างเดียว ก็ถือได้ว่าวิธีการนี้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถบริษัทได้ดีกว่ารูปแบบที่ 1 แต่เมื่อ ได้ทำการตรวจสอบค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่เกิดจากการจัดเส้นทางทั้งสองรูปแบบพบว่ารูปแบบที่ 1 เป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่ารูปแบบที่ 2 เนื่องจากการจัดเส้นทางใน รูปแบบที่ 1 แม้เกิดการสูญเสียด้านเวลารอคอยและต้องเช่ารถเพิ่มขึ้นแต่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนี้ยังน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่ตามมาจากการใช้รถบริษัทมากขึ้น

รูปที่ ก. สรุปค่าใช้จ่ายรวมรายวันที่เกิดจากการจัดเส้นทางทั้ง 3 วิธีของชุดข้อมูลตัวอย่าง รูปที่ ข. และ ค. แสดงค่าใช้จ่ายจากการใช้รถบริษัท และจำนวนเที่ยวจากการใช้รถบริษัทที่เกิดจากการจัดเส้นทางรถส่งสินค้าทั้ง 3 วิธี

จากผลการทดลองกับชุดข้อมูล สามารถแยกการวิเคราะห์และสรุปเป็น 2 ประเด็น

1. การจัดเส้นทางรถขนส่งที่ดีขึ้น ส่งผลให้การเช่ารถเพิ่มของบริษัทตัวอย่างลดลงและเสียค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยลง ซึ่งการจัดเส้นทางรถขนส่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกที่คิดขึ้นใน 2 รูปแบบ โดยแตกต่างกันที่การคำนึง หรือ ไม่คำนึงถึงเวลารอคอยที่จุดขนส่งสินค้าเทียบกับเวลาในการเดินทางกลับคลัง
2. ค่าใช้จ่ายโดยรวมเป็นการคิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดจากการจัดส่ง ซึ่งในการทดลองนี้ได้รวมค่าน้ำมันเข้าไปในต้นทุนที่เกิดจากรถบริษัทแล้ว นอกจากนี้ยังรวมถึงค่าเช่ารถเพิ่ม และค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานจัดส่ง จากตารางที่ 1 ถึง 3 พบว่าการใช้พนักงานจัดส่งเส้นทางขนส่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 591,207 บาท แต่วิธีฮิวริสติก รูปแบบที่ 1 จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดลง $591,207 - 510,079.50 = 81,127.50$ บาท ส่วนรูปแบบที่ 2 จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดลง $591,207 - 517,873 = 73,334$ บาทสำหรับชุดข้อมูลทั้ง 16 วัน

6. บทสรุป

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของรถที่มีความจุจำกัดแบบมีกรอบเวลาในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีฮิวริสติกที่เริ่มจากการเรียงกำหนดการส่งมอบของความต้องการของลูกค้า จากนั้นจัดเส้นทางตามกรอบเวลา ตรวจสอบเงื่อนไขความสามารถในการบรรทุก ซึ่งงานวิจัยนี้มีการนำเสนอรูปแบบในการจัดเส้นทางรถขนส่ง 2 รูปแบบ

รูปแบบแรกไม่คำนึงถึงเวลารอคอย คือจัดเส้นทางตามความจุของรถกับกรอบเวลาเท่านั้น รูปแบบที่ 2 มีการตรวจสอบเวลารอคอย ณ จุดค้าที่จะไปส่งต่อไป ถ้าวรรค

นานกว่าเวลาที่รถใช้วิ่งกลับคลังให้เลือกที่จะวิ่งกลับคลังแทนเพื่อรอการวิ่งไปยังลูกค้าอื่นต่อไป เป็นการลดเวลารอคอยโดยรวม ส่วนการจัดเส้นทางที่ไม่คำนึงเวลารอคอยที่จุดลูกค้าใดๆเป็นการเพิ่มความสามารถการบรรทุกในเส้นทางนั้น เมื่อนำวิธีฮิวริสติกใน 2 รูปแบบมาทดสอบกับปัญหาจริงพบว่า การจัดเส้นทางรถโดยวิธีตรวจสอบเวลารอคอยในรูปแบบที่ 2 ได้ผลดีในเชิงการเพิ่มการใช้รถของบริษัท และลดค่าใช้จ่ายในการเช่ารถได้ แต่เมื่อพิจารณาผลกระทบของการสูญเสียเชื้อเพลิงร่วมกับค่าใช้จ่ายในการใช้รถบริษัทจะพบว่า รูปแบบที่ 1 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยรวมมากกว่ารูปแบบที่ 2 โดยคิดเป็นเงิน 5,025 บาทต่อวัน หรือ 1,567,800 บาทต่อปี

จากผลการศึกษาพบว่า สามารถเพิ่มการใช้รถของบริษัทได้ $77 - 52 = 25\%$ หรือลดค่าเช่ารถได้ $(81,127.50 / 16) \times 26 \times 12 = 1,581,986.10$ บาทต่อปี จากปัจจุบันซึ่งใช้ความชำนาญของบุคลากรในการจัดเส้นทาง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ. พงมาน เตียวัฒนรัฐติกาล คร.อัยญา จิระประยุตต์เลิศ ผศ.ดร.เดือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ และ รศ.ดร.วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ สำหรับคำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้และขอขอบคุณบริษัทเอนโกไทย ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยในโอกาสนี้ด้วย

บรรณานุกรม

- [1] Bräysy, O., Gendreau, M., Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms, Transportation Science, Vol. 39(1), pp. 104-118, 2005.
- [2] Bräysy, O., Gendreau, M., Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics, Transportation Science, Vol. 39(1), pp. 119-139, 2005.

- [3] Bräysy, O., Hasle, G., Dullaert, W., A Multi-start Local Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *European Journal of Operational Research*, Vol. 159, pp. 586-605, 2004.
- [4] Chiang, W.C., Russell, R.A., Simulated Annealing Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Annals of Operations Research*, Vol. 63, pp. 3-27, 1996.
- [5] Homberger, J., Gehring, H., Two Evolutionary Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Information Systems and Operational Research*, Vol. 37, pp. 297-318, 1999.
- [6] Kohl, N., Madsen, O.B.G., An Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on Lagrangian Relaxation, *Operations Research*, Vol. 45(3), pp. 395-406, 1997.
- [7] Kolen, A.W.J., Rennooy Kan, A.H.G., Trienekens, H.W.J.M., Vehicle Routing with Time Windows, *Operations Research*, Vol. 35(2), pp. 266-273, 1987.
- [8] Kontoravdis, G.A., Bard, J.F., A GRASP for the Vehicle Routing Problems with Time Windows, *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 7, pp. 10-23, 1995.
- [9] Landrieu, A., Mati, Y., Binder, Z., A Tabu Search Heuristic for the Single Vehicle Pickup and Delivery Problem with Time Windows, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 12, pp. 497-508, 2001.
- [10] Lau, H.C., Sim, M., Tao, K.M., Vehicle Routing Problem with Time Windows and a Limited Number of Vehicles, *European Journal of Operational Research*, Vol. 148, pp. 559-569, 2003.
- [11] Sam, R.T., Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms, submitted to the book on *Application Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers*, pp. 253-277, 1995.
- [12] Savelsbergh, M., Local Search in Routing Problem with Time Windows, Report 05-R 8409, Center for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, 1984.
- [13] Solomon, M.M., Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, *Operations Research*, Vol. 35(2), pp. 245-265, 1987.
- [14] Tan, K.C., Lee, L.H., Zhu, Q.L., Ou, K., Heuristic Methods for Vehicle Routing with Time Windows, *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 15, pp. 281-295, 2001.
- [15] นลินี อุดมสมบัติมีชัย, พีรยุทธ ชาญเศรษฐิกุล, การประยุกต์วิธีศึกษาสำนึกสำหรับจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา, *Proceedings of the 5th GS1/TLAPS/Thai VCML Industrial-Academic Annual Conference on Supply Chain and Logistics Management*, Bangkok, Thailand, น. 131-153, 2005.

ตารางที่ 1 แสดงผลที่เกิดจากการจัดแผนงานจัดเส้นทางแบบวิถีปัจจุบัน

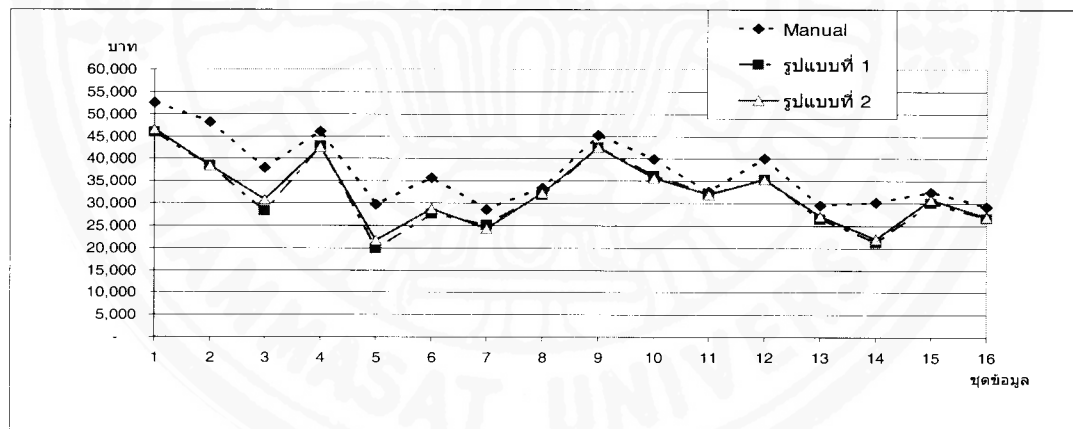
ผลจากพนักงานวางแผนจัดส่ง											
ชุดข้อมูล	จำนวน ยอดสั่งซื้อ	จำนวน เที่ยว	จำนวนรถ ทุกเส้นทาง	จำนวนเที่ยว รถบริษัท	ค่าน้ำมัน	ค่าใช้จายรวม รถบริษัท	จำนวน เที่ยวรถที่เช่า	ค่าเช่ารถรวม ทุกเส้นทาง	ชั่วโมงการทำงาน งานลงเวลา	ค่าลงเวลา พนักงาน	ค่าใช้จายรวม ทั้งหมดทุกเส้นทาง
1	5,841	24	N/A	14	N/A	21,800	10	29,800	32	960	52,560
2	5,040	21	N/A	8	N/A	13,900	13	33,200	38	1,140	48,240
3	3,690	16	N/A	8	N/A	16,650	8	20,400	30	900	37,950
4	5,751	20	N/A	7	N/A	4,000	13	41,000	35	1,050	46,050
5	2,743	13	N/A	7	N/A	12,500	6	16,400	28	840	29,740
6	4,165	17	N/A	8	N/A	13,700	9	21,200	28	840	35,740
7	3,170	13	N/A	7	N/A	10,500	6	17,400	24	720	28,620
8	4,105	16	N/A	9	N/A	12,950	7	20,000	14	420	33,370
9	5,310	22	N/A	13	N/A	18,735	9	25,800	21	630	45,165
10	4,936	19	N/A	10	N/A	17,950	9	20,800	38	1,140	39,890
11	4,050	16	N/A	10	N/A	16,252	6	16,000	12	360	32,612
12	4,780	19	N/A	9	N/A	15,600	10	24,100	13	390	40,090
13	3,150	12	N/A	6	N/A	10,450	6	18,000	34	1,020	29,470
14	2,699	14	N/A	7	N/A	12,500	7	16,300	45	1,350	30,150
15	3,660	15	N/A	9	N/A	14,600	6	17,000	27	810	32,410
16	3,360	14	N/A	9	N/A	16,900	5	11,800	15	450	29,150
N/A = ไม่สามารถระบุได้		271	-	141	-	228,987	130	349,200	434	13,020	8591,207.00
จำนวนเที่ยวโดยเฉลี่ยต่อวัน				9				8			

ตารางที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยวิธีสถิติในรูปแบบที่ 1

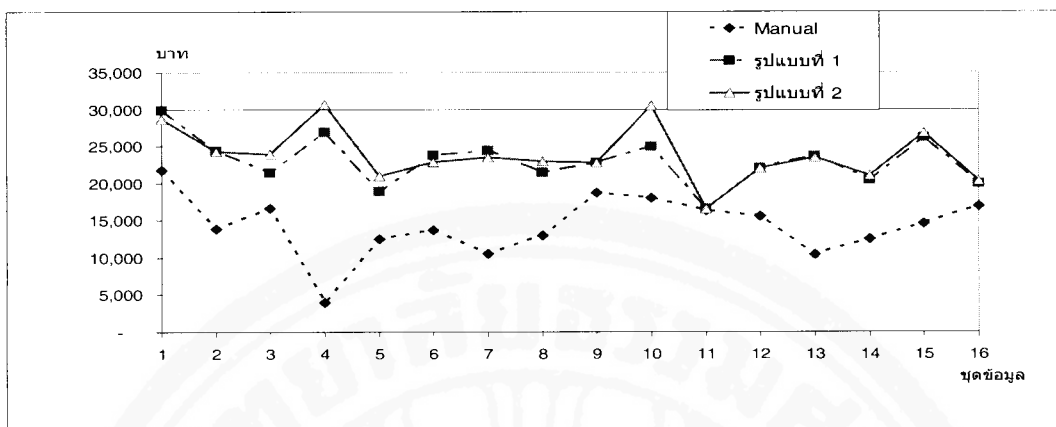
ผลที่เกิดจากใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดรถขนส่งโดยใช้เคเวลารอคอย (รูปแบบ 1)														
ชุดข้อมูล	จำนวน ยอดสั่งซื้อ	จำนวน เที่ยวทั้งหมด	จำนวนรถ ทุกเส้นทาง	จำนวน รถบริษัท	จำนวนเที่ยว ที่รถบริษัทวิ่ง	ค่าใช้จ่ายรวม รถบริษัท	จำนวน รถที่เช่า	จำนวนเที่ยว ที่รถเช่าวิ่ง	ค่าเช่ารถรวม ทุกเส้นทาง	เวลารวมทุก เส้นทาง	ชั่วโมง ลงเวลา	ค่าลงเวลา	ค่าน้ำมัน	ค่าใช้จ่ายรวม ทั้งหมดทุกเส้นทาง
1	5,841	22	11	6	16	29,850	4	6	14,900	115	36	1,078	21,913	45,828
2	5,040	19	11	6	14	24,300	5	5	13,000	100	38	1,142	19,954	38,442
3	3,690	14	8	6	12	21,405	2	2	6,000	81	30	887	18,274	28,292
4	5,751	19	11	6	12	26,875	5	7	14,800	116	39	1,162	22,407	42,837
5	2,743	9	6	6	9	18,905	0	0	0	73	29	870	18,834	19,775
6	4,165	13	8	6	11	23,740	2	2	3,000	75	30	887	18,188	27,627
7	3,170	6	6	6	6	24,415	0	0	0	67	26	782	17,370	25,197
8	4,105	15	10	6	11	21,410	4	4	10,000	79	14	427	15,885	31,837
9	5,310	19	13	6	12	22,750	7	7	19,000	95	23	675	15,928	42,425
10	4,936	18	10	6	13	24,940	4	5	10,000	109	41	1,240	22,968	36,180
11	4,050	16	12	6	10	16,600	6	6	15,000	74	13	390	11,924	31,990
12	4,780	17	11	6	12	22,050	5	5	13,000	82	11	337	15,304	35,387
13	3,150	12	7	6	11	23,660	1	1	2,000	71	23	695	17,328	26,355
14	2,699	10	6	6	10	20,380	0	0	0	69	30	898	19,000	21,278
15	3,660	13	7	6	12	26,170	1	1	3,000	83	30	908	19,200	30,078
16	3,360	13	8	6	11	20,010	2	2	6,000	71	18	543	14,732	26,553
	66,450	235	145	96	182	367,460	48	53	129,700	1,361	431	12,920	289,208	8510,079.50
จำนวนเที่ยวโดยเฉลี่ยต่อวัน					11		3							

ตารางที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยฮิริสติกในรูปแบบที่ 2

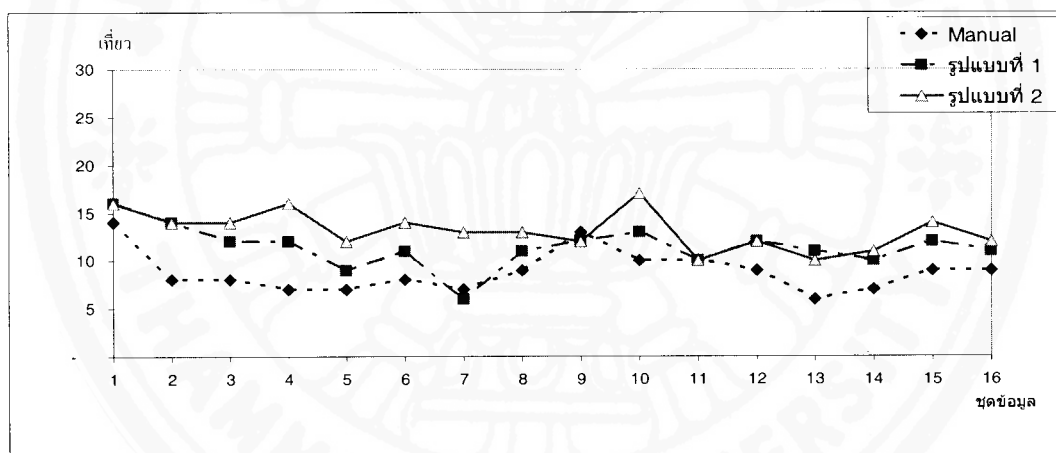
ผลที่เกิดจากใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดรถขนส่งโดยใช้เวลาลดน้อยลง (รูปแบบ 2)														
ชุดข้อมูล	จำนวน ยอดสั่งซื้อ	จำนวน เที่ยวทั้งหมด	จำนวนรถ ทุกเส้นทาง	จำนวน รถบริษัท	จำนวนเที่ยว ที่รถบริษัทวิ่ง	ค่าใช้จ่ายรวม รถบริษัท	จำนวน รถที่เช่า	จำนวนเที่ยว ที่รถเช่าวิ่ง	ค่าเช่ารถรวม ทุกเส้นทาง	เวลารวมทุก เส้นทาง	ชั่วโมง	ค่าล่วงเวลา	ค่าน้ำมัน	ค่าใช้จ่ายรวม ทั้งหมดทุกเส้นทาง
1	5,841	23	12	6	16	28,700	4	7	16,800	118	36	1,078	21,934	46,578
2	5,040	19	11	6	14	24,300	5	5	13,000	100	38	1,142	20,729	38,442
3	3,690	16	8	6	14	23,950	2	2	6,000	81	30	887	18,792	30,837
4	5,751	21	10	6	16	30,700	4	5	10,800	107	40	1,190	23,161	42,690
5	2,743	12	5	5	12	20,950	0	0	0	65	28	852	17,026	21,802
6	4,165	16	8	6	14	22,850	2	2	5,000	79	30	888	18,705	28,738
7	3,170	13	6	6	13	23,520	0	0	0	71	26	792	18,576	24,312
8	4,105	17	10	6	13	22,900	4	4	9,000	77	14	418	15,799	32,318
9	5,310	16	10	6	12	22,750	4	4	19,000	95	23	675	16,187	42,425
10	4,936	19	8	6	17	30,470	2	2	4,000	97	42	1,267	23,570	35,737
11	4,050	16	12	6	10	16,600	6	6	15,000	73	13	390	12,183	31,990
12	4,780	17	11	6	12	22,050	5	5	13,000	82	11	337	15,304	35,387
13	3,150	11	7	6	10	23,450	1	1	3,000	67	19	555	16,186	27,005
14	2,699	11	6	6	11	21,050	0	0	0	70	32	947	18,791	21,997
15	3,660	15	7	6	14	26,850	1	1	3,000	80	30	890	19,609	30,740
16	3,360	14	8	6	12	20,350	2	2	6,000	67	18	525	14,981	26,875
	66,450	256	139	95	210	381,440	42	46	123,600	1,329	428	12,833	291,532	8517,873.00
จำนวนเที่ยวโดยเฉลี่ยต่อวัน					13			3						



รูปที่ 6 แสดงค่าใช้จ่ายรวมรายวันที่เกิดจากการส่งสินค้าของทั้ง 3 วิธี



รูปที่ ข แสดงค่าใช้จ่ายจากการใช้รถของบริษัทในการส่งสินค้าของทั้ง 3 วิธี



รูปที่ ค แสดงจำนวนเที่ยวรถของบริษัทจากการจัดเส้นทางรถส่งสินค้าของทั้ง 3 วิธี