การจัดระบบขนส่งด้านโลจิสติกส์ที่เหมาะสม โดยวิธีการเส้นทางด้วยตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษา บริษัทเครื่องดื่มในประเทศไทย

อดิธร ศรีประเสริฐ[1], รัตนสิทธิ์ ตั้งกิจเจริญมงคล[2*], อรรถกร จารุเธียร[2]

[1] สาขาโลจิสติกส์โครงการร่วมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300 โทร 0-2243-2240 โทรสาร 0-2243-2248 E-mail {sing_ha2500@hotmail.com}

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170 โทร 0-2889-2138 ต่อ 6201 โทรสาร 0-2889-2138 E-mail {*brilliant115@gmail.com, dr_attakorn3@hotmail.com}

บทคัดย่อ

จากปัญหาเนื่องจากต้นทุนด้านพลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้บริษัทเอกชนหลายแห่งต้องทำการบริหารจัดการเพื่อให้เกิดผลกำไรจากส่วนต่างของราคาขายและต้นทุน โดยบทความนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เชิงปริมาณถึงการเปรียบเทียบวิธีการจัดการขนส่งที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน เทียบกับการนำวิธีวิเคราะห์ด้วยตัวโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาและวางแผนการขนส่ง ซึ่งมีแนวทางในการศึกษาและวางแผนการขนส่งด้วยกัน 2 รูปแบบ นั่นคือ รูปแบบที่ 1 รูปแบบการขนส่งที่กำหนดพื้นที่การขนส่งแน่นอน (Fixed zone), รูปแบบที่ 2 ทำการวางแผนการขนส่งด้วยวิธี Capacity Vehicle Routing Problem ในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าให้กับบริษัท โดยรูปแบบที่ 1 เป็นวิธีการจัดเส้นทางขนส่งของบริษัทที่ยังใช้อยู่ในปัจจุบัน ส่วนรูปแบบที่ 2 รูปแบบการขนส่งที่นำเสนอให้กับผู้ประกอบการ และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 รูปแบบมาทำการเปรียบเทียบ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จากผลการศึกษาพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบที่ 2 หรือการจัดการขนส่งด้วยวิธี Capacity Vehicle Routing Problem ดีกว่าแบบที่ 1 โดยประหยัดระยะทางไปได้ 8.7% ทั้งในเรื่องการประหยัดระยะทางและประสิทธิภาพการบรรทุกสินค้าต่อเที่ยว

คำสำคัญ: Outbound logistics, Vehicle Routing algorithm, mathematical model, beverage industry, transportation planning

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โลกของธุรกิจการค้ามีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการค้าในยุคของโลกาภิวัฒน์ที่การสื่อสารโทรคมนาคมสามารถสื่อสารกันได้อย่างไร้พรมแดน และส่งผลให้การแข่งขันทางการค้าทวีความรุนแรงมากขึ้น กิจกรรมโลจิสติกส์และการขนส่งได้กลายเป็นมิติที่สำคัญของการดำเนินธุรกิจทั้งในระดับภูมิภาคและระดับโลก เพราะว่ากิจกรรมโลจิสติกส์และการขนส่งเป็นกิจกรรมพื้นฐานที่สำคัญในโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์และการบริการ (Product and Service Supply Chain) ในการนำส่งคุณค่าซึ่งเป็นทั้งสินค้าและบริการไปสู่ลูกค้า ซึ่งวิธีการบริหารจัดการ การขนส่งแบบเดิม ถือว่าเป็นการจัดการขนส่ง เป็นกิจกรรมตามหน้าที่ ที่อยู่ในวงแคบเฉพาะภายในบริษัทฯ แต่เนื่องจากการบริโภคนิยมที่มากขึ้น และมีเทคโนโลยีที่พร้อม

ช่วยสนับสนุนการขนส่งสินค้า บริษัทต่างๆจึงควรหาวิธีที่จะช่วยการปฏิบัติการขนส่งที่มีประสิทธิ์ภาพสูงสุด ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่า ไม่ว่าจะขนส่งด้วยวิธีใด และระบบการทำงานที่รองรับโลกาภิวัฒน์ เพื่อพัฒนาระบบให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดต้นทุนในระบบการขนส่ง ทำให้ได้เปรียบคู่แข่ง

ความสำคัญของปัญหาบริษัท เครื่องดื่ม จำกัด เป็นบริษัทในเครือเพื่อดูแลธุรกิจเครื่องดื่มและรับผิดชอบในการบริหารและการทำการตลาดผลิตภัณฑ์ เบียร์ โซดา น้ำดื่ม ชาเขียวพร้อมดื่ม และเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพภายใต้เครื่องหมายการค้า ยี่ห้อหนึ่ง ดำเนินการบริหารโรงเบียร์ 3 แห่ง และโรงงานผลิตโซดาและน้ำดื่มรวม 6 แห่ง ในจุดสำคัญทั่วทุกภูมิภาค พร้อมทั้งพัฒนาความรู้ความสามารถของผู้แทนจำหน่ายด้านการให้บริการ เพื่อรองรับความต้องการของตลาด รวมถึงตอบสนองผู้บริโภคให้ได้อย่างทั่วถึง โดยมีเครือข่ายเอเย่นต์ จำนวน 300 รายจัดจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ทั่วราชอาณาจักรและมีตัวแทนจำหน่ายกว่า 40 ประเทศทั่วโลก และด้วยเกียรติบัตร ISO 9001:2000 รับรองมาตรฐานการผลิตและรางวัลเหรียญทองจากประเทศต่างๆ ทำให้ผู้บริโภคทั้งในประเทศไทยและทั่วโลกมั่นใจคุณภาพสินค้าและบริการ แต่จากปัญหาทางด้านค่าใช้จ่ายและต้นทุนทางด้านพลังงานที่ปรับตัวสูงขึ้น อันส่งผลต่อต้นทุนด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังลูกค้า ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายต่อต้นทุนทั้งหมดถึง 30% จากการใช้ระบบขนส่งแบบในปัจจุบันอันเป็นลักษณะกำหนดเขตการขนส่งแบบแน่นอน (Fixed Zone) ดังนั้นบริษัทฯจึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่ง ในการบริหารจัดการ การขนส่งสินค้าที่ให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาในปัจจุบัน ทั้งในเรื่องความต้องการสินค้าของผู้บริโภค และเพื่อให้มั่นใจว่าจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันต่อความต้องการที่แท้จริงและหาวิธีลดต้นทุนการขนส่งสินค้า โดยหาเส้นทางที่เหมาะสม ดีที่สุด เร็วที่สุดและต้นทุนที่เหมาะสม

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาเส้นทางเดินรถ

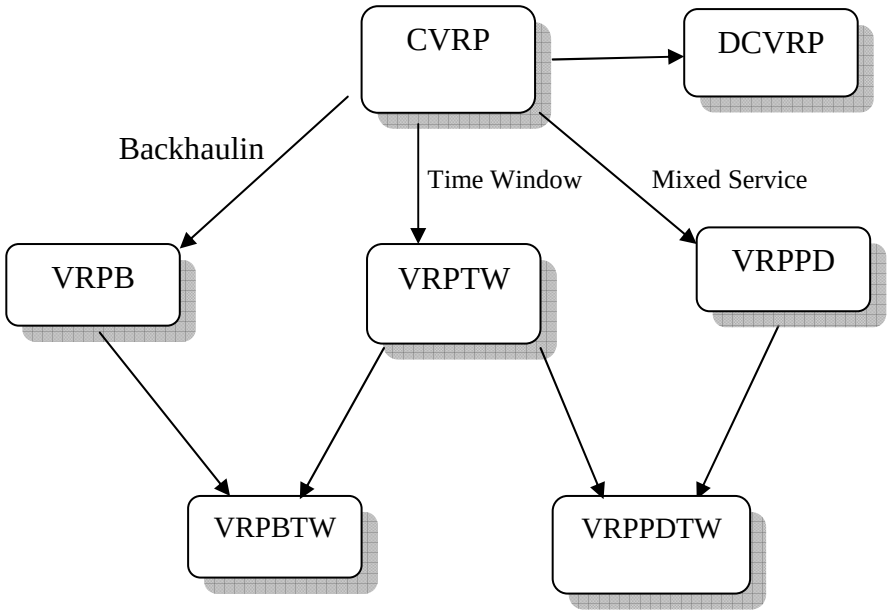
ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาของการจัดเส้นทาง เพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินรถที่มีความเหมาะสมไปยังลูกค้าต่างๆในแต่ละเส้นทาง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของธุรกิจ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในส่วนของระยะทาง เวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่สำคัญต่อการจัดเส้นทางเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาที่ซับซ้อน (NP-Hard) ซึ่งเป็นปัญหาที่หาคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก โดยจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) ตามจำนวนจุดของสาขาที่เพิ่มมากขึ้น และในการหาคำตอบยังจะต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนจุดของสาขาที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

Holmes และ Parker (1976) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมาตรฐาน ซึ่งทราบความจุที่แน่นอนในการบรรทุกและความต้องการของลูกค้าที่แน่นอน เพื่อที่นำมาหาเส้นทางของยานพาหนะที่ทำให้ต้นทุนโดยประมาณต่ำสุด โดยทำการพัฒนาขยายความจากงานวิจัยของ Clarke และ Wright เพื่อให้เหมาะสมกับระบบต้นทุนไปกลับระหว่างจุด ซึ่งมีลักษณะสมมาตรกันและไม่สมมาตรกัน ซึ่งเมื่อได้คำตอบสุดท้ายแล้วจะทำการเปรียบเทียบกับคำตอบเริ่มแรก หรือคำตอบที่ดีที่สุด หากได้คำตอบที่ดีขึ้นก็จะตัดเส้นทางนั้นออกและเลือกเส้นทางเดิม โดยทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งได้คำตอบเส้นทางยานพาหนะที่ดีที่สุด

Golden et al. (1977) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะจากคลังพัสดุไปยังลูกค้าหลายๆราย ซึ่งมีปริมาณความต้องการที่แตกต่างกัน เพื่อที่ ใช้ให้ครอบคลุมลูกค้าทั้งหมด โดยมีระยะทางที่สั้นที่สุด โดยมีข้อจำกัดในความจุของยานพาหนะในการขนส่ง และข้อจำกัดระยะเวลาสูงสุดในการขนส่ง 1 รอบ

เส้นทางการจัดส่งทุกยานพาหนะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดเดียวกันคือคลังพัสดุกลาง ซึ่งเห็นว่าถ้าข้อจำกัดในระยะเวลาสูงสุดในการขนส่งถูกเพิกเฉยได้ จะเป็นปัญหา ในการจัดเส้นทางยานพาหนะมาตรฐาน (Standard Vehicle Routing Problem VRP)



รูปที่ 1: รูปแบบปัญหาพื้นฐานของ VRP และความสัมพันธ์ของปัญหารูปแบบต่างๆ (Toth and Vigo, 2002)

ชัยวัฒน์ (2550) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ วิธีการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งแบบปัจจุบัน Fixed Zoning กับการจัดเส้นทางวิธีมูลค่าประหยัด Savings ผลที่ได้ การจัดส่งสินค้าแบบวิธีมูลค่าประหยัด Savings แสดงให้เห็นถึงการลดลงของระยะทางสำหรับการจัดส่งสินค้าทั้งหมดลดลงได้โดยประมาณ 6.1%

เครือวัลย์ (2547) ทำการศึกษาเรื่อง “ การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้า “ โดยได้วิเคราะห์หมายกำหนดการในการขนส่งสินค้า เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งสินค้าตามหมายกำหนดการ และการแสดงผลแผนที่เส้นทางเดินรถเชิงเลขเพื่อใช้ช่วยในการตัดสินใจ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนาขึ้นนี้ จากกระบวนการแก้ปัญหาเส้นทางแบบศึกษาสำนึก (Heuristics) โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วนย่อย ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์หมายกำหนดการในการขนส่งสินค้า ด้วยวิธีการแก้ปัญหาเส้นทางแบบศึกษาสำนึก (Heuristics) โดยคำนึงถึงจำนวนรถขนส่งที่มีอยู่อย่างจำกัด ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อ และกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดในการรับสินค้าเป็นสำคัญ ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งสินค้าตามหมายกำหนดการ จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนาขึ้น กับผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าระบบดั้งเดิม พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง และดีกว่าการจัดการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการดั้งเดิม จึงสรุปได้ว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนาขึ้นจะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อจัดเส้นทางเดินรถ สำหรับการขนส่งสินค้าเพื่อการบริโภคสู่ร้านค้าปลีก ในสถานบริการน้ำมัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 รูปแบบปัญหาเส้นทางเดินรถ มีพื้นฐานโดยเริ่มจากความต้องการของจุดต่างๆ และจะถูกบริการด้วยรถขนส่งโดยไม่มีข้อจำกัด ทางด้านระยะเวลาและปริมาณที่จะถูกบริการ ปัญหาดังกล่าวจะถูกแก้ปัญหาโดยให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำสุด และมีเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม วิธีการแก้ปัญหา ได้มีผลงานทางด้าน Operations Research ไว้มากมาย (ดังรูปที่ 1) เช่น

2.1.1. The Traveling Salesman Problem (TSP) เป็นรูปแบบปัญหาการเดินทาง ของพนักงานขาย 1 คน โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องเดินทางผ่านทุกเมืองและเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น มีระยะทางที่สั้นที่สุด

2.1.2. The Chinese Postman Problem (CPP) เป็นการหาระยะทางที่สั้นที่สุด ซึ่งจะต้องผ่านเส้นเชื่อมระหว่างเมืองต่างๆอย่างน้อย 1 ครั้ง สามารถแก้ปัญหานี้โดยวิธี Polynomially-Bounded Algorithms

2.1.3. The M-Traveling Salesman Problem (TSP-M) เป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหาการเดินรถของพนักงานขาย 1 คน เป็นปัญหาของพนักงาน M คนซึ่งจะเหมาะกับปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงมากกว่า

2.1.4. The Single Depot, Multiple Vehicle, Node Routing Problem (Classical Vehicle Routing Problem, VRP) เป็นรูปแบบปัญหาที่กล่าวถึงชุดเส้นทางของยานพาหนะที่ใช้ขนส่งจากคลังสินค้า 1 แห่ง ไปยังจุดต่างๆที่มีความต้องการที่แน่นอน(Deterministic) โดยมีระยะทางทั้งหมดสั้นที่สุด

2.1.5. The Multiple Depot, Multiple Vehicle, Node Routing Problem ซึ่งเป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนามาจากรูปแบบปัญหาที่ 2.1.4 โดยมีคลังสินค้า หลายแห่ง

2.1.6. The Single, Depot, Multiple Vehicle, Node Routing Problem with Stochastic Demands เป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนามาจากรูปแบบปัญหาที่ 2.1.4 แต่ความต้องการของจุดต่างๆ ไม่ทราบแน่นอน (Certainly) เช่น ความต้องการเป็นการกระจายสินค้าแบบ Poison

2.1.7. The Capacitated Chinese Postman Problem เป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนามาจากรูปแบบปัญหาที่ 2.1.2 เป็นรูปแบบสำหรับโครงข่ายแบบ Undirect

2.2 สมการรูปแบบคณิตศาสตร์พื้นฐานในการจัดการขนส่งรถ (CVRP) (Toth and Vigo, 2002)

$$\text{Min} \sum_{k\in K}\sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ijk} \tag{1}$$

Subject to

$$\sum_{k\in K}\sum_{j\in\Delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \qquad \forall i \in N, \tag{2}$$

$$\sum_{j\in\Delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \qquad \forall k \in K, \tag{3}$$

$$\sum_{j\in\Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{j\in\Delta^+(j)} x_{ijk} = 0 \qquad \forall k \in K, j \in N, \tag{4}$$

$$\sum_{j\in\Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \qquad \forall k \in K, \tag{5}$$

$$\sum_{i=N} di \sum_{j\in\Delta^+(i)} x_{ijk} \le C \qquad \forall k \in K, \tag{6}$$

$$x_{ijk} \ge 0 \qquad \forall k \in K,(i,j) \in A, \tag{7}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall k \in K,(i,j) \in A. \tag{8}$$

โดยที่ c_{ij} เป็นต้นทุนในการขนส่ง สมการที่ (1) เป็นสมการวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด สมการที่ (2) เป็นเงื่อนไขในการกำหนดให้ใช้รถหนึ่งคันต่อหนึ่งเส้นทาง สมการที่ (3 - 5) เป็นการแสดงถึงการวิ่งของจำนวนรถ k สมการที่ (6) แสดงถึงการจัดตารางเดินรถนั้นจำนวนสินค้าที่ขนส่งต้องไม่เกินความสามารถในการขนของรถ สมการที่ (7 - 8) เงื่อนไขของค่าตัวแปรที่หาต้องเป็นคำตอบในรูปจำนวนเต็ม

3. ขั้นตอนการศึกษา

จากการวิจัยได้ทำการเลือกพื้นที่การศึกษาจากข้อมูลที่ทางบริษัทได้ทำการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าในแต่ละรายดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลของการขนส่งกระจายสินค้าที่ใช้เป็นข้อมูลทุกๆวันตลอดหนึ่งเดือนของการกระจายสินค้าของบริษัทเครื่องดื่มจำกัด ในช่วงเวลา 1 ถึง 31 พฤษภาคม 2553

รูปที่ 2: แผนที่ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า และร้านค้าของลูกค้าแต่ละราย

จากการเก็บข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาสามารถสรุปความต้องการของสินค้า รวมถึงรายละเอียดข้อมูลการขนส่งสินค้าออกเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 1: ข้อกำหนดในการศึกษาวิจัยและทรัพยากรการขนส่ง

ข้อมูลการขนส่ง	จำนวน
จำนวนลูกค้าที่สามารถจัดส่งสินค้าได้	52 ลูกค้า
ปริมาณสินค้าที่สามารถจัดส่งได้ในแต่ละรอบการส่งเฉลี่ย	45.89 ลูกบาศก์เมตร/200 หน่วย
จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ต่อรอบการขนส่ง	5 คัน
จำนวนวันทำงานต่อหนึ่งเดือน	24 วัน

3.1 วิธีการในการจัดเส้นทางการขนส่ง

3.1.1 การจัดเส้นทางการกระจายสินค้าแบบ Fixed Zoning (วิธีปัจจุบัน)

ในการจัดเส้นทางการกระจายสินค้าในแบบปัจจุบันนั้นทางศูนย์มีวิธีการจัดเส้นทางกระจายสินค้าที่เรียกว่า Fixed Zoning หมายถึง การจัดเส้นทางแบบกำหนดตายตัวนั่นคือ การจัดเส้นทางที่อ้างอิงถึงกลุ่มของลูกค้าเป้าหมายซึ่งแบ่งได้ตามพื้นที่การปกครองหรือถนนสายหลัก เช่น เขตบางนา หรือ ถนนวิภาวดี เป็นต้น เมื่อจัดกลุ่มลูกค้าเป้าหมายทั้งหมดแล้วจึงใช้เทคนิคการเรียงลำดับการส่งมอบสินค้าต่อลูกค้าในกลุ่มเป้าหมาย ยานพาหนะที่ทำการขนส่งลักษณะนี้ จะใช้เส้นทางการขนส่งที่ถูกจัดไว้แล้วโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ทั้งสิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบัน

3.1.2 การจัดเส้นทางการกระจายสินค้าแบบ Vehicle Routing Problem (Toth and Vigo, 2002)

วิธีนี้จะยากในการคำนวณแต่เมื่อทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปแล้วง่ายที่จะนำมาปฏิบัติและสามารถใช้วิธีการจัดลูกค้าให้ตรงกับยานพาหนะขนส่งได้ เพื่อจัดเส้นทางยานพาหนะให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่สามารถส่งของได้ ณ สถานที่รับสินค้าและข้อจำกัดอื่นๆ เทคนิคนี้จะใช้ได้ดีที่สุดเมื่อมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันมากมายที่ต้องตอบสนองในตารางการจัดส่ง โดยมีเงื่อนไขที่ว่าจัดให้รถขนส่งคันแรกจะมีการใช้งานมากที่สุดเท่าที่จะขนส่งได้ หากปริมาณสินค้าเกินกว่าที่รถขนส่งคันแรกขนได้ก็จะทำการจัดสินค้าในรถคันถัดไป

โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงแนวทางและวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมให้กับผู้ประกอบการในการนำไปใช้ในการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ สามารถลดจำนวนเที่ยวการขนส่ง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานการขนส่ง รวมทั้งเพิ่มประสิทธิผลในการบรรทุกสินค้าให้เต็มคันรถได้ดีขึ้น โดยทำการคำนวณจากสมการที่ (1) ถึง (8) ในโปรแกรม Visual Studio 2008 โดยใช้ภาษา C# ในการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบประมวลผล Core 2 Duo, แรมประมวลผล 2 กิกะไบต์ บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Window XP Service Pack 3

4. ผลของการวิเคราะห์วิจัย

จากผลการศึกษา ได้ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางได้เป็นดังตารางที่ 3 - 7 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 3: ตารางเปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถของสินค้าเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ของรถขนส่งคันที่ 1

Date	Fixed Zones		Vehicle Routing Problem	
	Distance (km)	Utilization (%)	Distance (km)	Utilization (%)
1	74.0	94.0	89.4	93.5
3	68.7	86.0	81.3	97.5
4	81.8	85.5	67.0	86.0
6	83.3	84.0	82.0	97.0
7	70.0	98.5	50.6	80.5
8	70.8	89.5	79.7	96.5
10	75.7	95.5	68.5	96.0
11	77.8	87.5	80.6	96.0
12	74.4	89.0	78.4	95.0
13	66.5	83.0	71.4	98.5
14	65.7	80.0	75.1	94.5
15	69.3	88.5	88.1	97.5
17	75.7	88.5	51.9	98.5
18	77.8	90.0	89.6	100
19	74.4	89.0	71.2	93.5
20	70.8	88.0	86.1	98.5
21	67.3	91.0	100.8	96.5
22	68.0	78.5	82.3	86.0
24	80.2	87.5	91.1	95.0
25	78.3	90.0	79.3	95.5
26	56.9	80.0	64.4	61.0
27	80.4	89.0	79.2	97.5
29	73.5	82.5	96.1	98.5
31	73.6	85.0	50.4	81.0
Total	1754.9	87.5	1854.5	92.9

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการขนส่งทั้ง 24 วันทำการ เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละวันจะพบว่า การจัดการขนส่งโดยวิธี CVRP จะมีระยะทางในแต่ละวันโดยเฉลี่ยมากกว่าของการจัดส่งแบบ Fixed Zone แต่เมื่อพิจารณาต่อถึงปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งคันที่ 1 จะพบว่าวิธีการขนส่งแบบ CVRP จะมีปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งที่ 92.9% ซึ่งมากกว่าวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ที่ 87.5% โดยสาเหตุที่มีระยะทางในการขนส่งของรถคันที่ 1 ของวิธี CVRP มากกว่าเพราะเงื่อนไขของการบรรทุกสินค้าที่ทำการจัดสินค้าในรถคันแรก ๆให้เต็มก่อนโดยที่ใช้ระยะทางในการขนส่งน้อยตามเงื่อนไขของสมการ CVRP เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด

ตารางที่ 4: ตารางเปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถของสินค้าเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ของรถขนส่งคันที่ 2

Date	Fixed Zones		Vehicle Routing Problem	
	Distance (km)	Utilization (%)	Distance (km)	Utilization (%)
1	64.7	77.5	91.0	96.5
3	69.3	90.0	87.5	97.0
4	65.8	87.5	90.7	99.0
6	66.7	93.5	86.2	99.5
7	71.3	83.5	80.1	95.5
8	65.3	74.0	83.9	98.5
10	63.9	92.5	67.2	98.5
11	66.7	85.0	89.2	100
12	63.9	80.0	72.0	81.0
13	71.9	84.0	90.0	100
14	67.4	88.0	77.7	99.5
15	75.9	89.5	60.8	86.0
17	67.5	91.0	74.7	98.5
18	72.1	87.5	75.2	93.5
19	67.5	92.0	81.6	92.5
20	73.1	78.0	83.5	97.0
21	74.2	85.0	51.4	86.0
22	61.8	78.5	55.8	100
24	73.0	86.5	74.9	97.5
25	63.5	85.5	73.0	98.5
26	74.9	80.5	70.4	100
27	73.7	82.5	79.5	96.0
29	69.3	85.0	90.5	100
31	71.8	89.0	67.7	98.5
Total	1655.2	85.5	1854.5	96.2

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการขนส่งทั้ง 24 วันทำการ เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละวันจะพบว่า การจัดการขนส่งโดยวิธี CVRP จะมีระยะทางในแต่ละวันโดยเฉลี่ยมากกว่าของการจัดส่งแบบ Fixed Zone เช่นเดียวกันกับการขนส่งในรถคันที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาต่อถึงปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งคันที่ 2 จะพบว่าวิธีการขนส่งแบบ CVRP จะมีปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งที่ 96.2% ซึ่งมากกว่าวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ที่ 85.5% โดยสาเหตุที่มีระยะทางในการขนส่งของรถคันที่ 2 ของวิธี CVRP มากกว่าเพราะเงื่อนไขของการบรรทุกสินค้าที่ทำการจัดสินค้าในรถคันแรกๆให้เต็มก่อนโดยที่ใช้ระยะทางในการขนส่งน้อยตามเงื่อนไขของสมการ CVRP เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด

ซึ่งจากปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกจะพบว่าในการขนส่งของรถคันที่สองมีการบรรทุกเต็มคันรถได้ถึง 100% ถึง 5 วันใน 1 เดือน จึงเรียกได้ว่าเป็นการช่วยให้มีการใช้รถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งกว่าการบรรทุกสินค้าด้วยวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ทำให้สามารถประหยัดเที่ยวรถในการขนส่งรวมทั้งประหยัดพลังงานจากการขนส่งได้มากกว่า

ตารางที่ 5: ตารางเปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถของสินค้าเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ของรถขนส่งคันที่ 3

Date	Fixed Zones		Vehicle Routing Problem	
	Distance (km)	Utilization (%)	Distance (km)	Utilization (%)
1	73.3	87.0	60.9	97.0
3	66.0	84.5	65.4	94.5
4	56.9	79.5	51.0	93.0
6	67.9	89.5	64.0	95.0
7	54.1	63.0	52.9	80.5
8	63.9	75.0	52.2	90.0
10	68.2	89.5	81.6	91.5
11	62.2	65.0	49.8	86.0
12	49.3	38.5	37.0	66.0
13	51.1	67.5	68.6	100
14	71.2	83.5	52.8	87.5
15	49.1	85.0	51.3	90.5
17	70.8	88.5	87.4	92.0
18	58.0	70.0	46.8	87.5
19	53.5	71.0	44.9	83.5
20	64.7	84.0	47.2	86.5
21	50.3	48.5	65.6	97.5
22	58.0	72.5	79.9	92.0
24	63.3	68.5	64.6	97.0
25	38.1	65.0	66.4	86.0
26	58.3	45.5	44.9	85.5
27	66.6	75.0	53.1	69.0
29	61.5	81.5	57.0	94.0
31	64.9	83.5	86.7	99.0
Total	1441.2	83.5	1432	89.2

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการขนส่งทั้ง 24 วันทำการ เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละวันจะพบว่า การจัดการขนส่งโดยวิธี CVRP ได้ระยะทาง 1432 กิโลเมตรมีระยะทางในแต่ละวันโดยเฉลี่ยน้อยกว่าของการจัดส่งแบบ Fixed Zone ที่ได้ระยะทาง 1441.2 กิโลเมตร แต่เมื่อพิจารณาต่อถึงปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งคันที่ 3 จะพบว่าวิธีการขนส่งแบบ CVRP จะมีปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งที่ 89.2% ซึ่งมากกว่าวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ที่ 83.5% โดยแสดงให้เห็นว่าในการจัดเส้นทางด้วยวิธี CVRP สามารถช่วยในการประหยัดระยะทางในการขนส่ง รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันที่ 3 ได้มากขึ้น เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด

ซึ่งจากปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกจะพบว่าในการขนส่งของรถคันที่สามมีการบรรทุกเต็มคันรถได้ถึง 100% จึงเรียกได้ว่าเป็นการช่วยให้มีการใช้รถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งกว่าการบรรทุกสินค้าด้วยวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ทำให้สามารถประหยัดเที่ยวรถในการขนส่ง รวมทั้งประหยัดพลังงานจากการขนส่งได้มากกว่า

ตารางที่ 6: ตารางเปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถของสินค้าเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ของรถขนส่งคันที่ 4

Date	Fixed Zones		Vehicle Routing Problem	
	Distance (km)	Utilization (%)	Distance (km)	Utilization (%)
1	67.2	78.5	61.1	96.0
3	74.2	86.0	31.7	42.5
4	58.8	68.5	59.4	91.5
6	72.9	71.0	54.2	90.5
7	48.1	51.0	64.6	92.0
8	57.4	56.0	49.7	67.0
10	49.0	86.0	62.3	92.5
11	58.8	68.5	54.4	92.5
12	58.4	63.5	57.8	90.0
13	58.6	56.0	34.2	42.0
14	48.6	56.0	51.3	88.5
15	74.4	73.5	42.6	35.0
17	54.1	83.5	71.0	92.5
18	73.3	68.5	67.8	96.0
19	59.1	53.5	61.1	97.0
20	48.1	51.0	50.6	89.0
21	62.4	68.5	40.1	47.5
22	67.6	63.5	52.6	65.0
24	51.6	78.5	68.2	89.0
25	84.9	78.5	52.1	100
26	48.6	48.5	60.0	80.5
27	47.9	78.5	33.8	57.5
29	84.9	76.0	46.8	87.5
31	51.1	81.0	53.1	87.5
Total	1460	68.5	1280.5	79.5

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการขนส่งทั้ง 24 วันทำการ เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละวันจะพบว่า การจัดการขนส่งโดยวิธี CVRP ได้ระยะทาง 1280 กิโลเมตรมีระยะทางในแต่ละวันโดยเฉลี่ยน้อยกว่าของการจัดส่งแบบ Fixed Zone ที่ได้ระยะทาง 1460 กิโลเมตร แต่เมื่อพิจารณาต่อถึงปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งคันที่ 4 จะพบว่าวิธีการขนส่งแบบ CVRP จะมีปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งที่ 79.5% ซึ่งมากกว่าวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ที่ 68.5% โดยแสดงให้เห็นว่าในการจัดเส้นทางด้วยวิธี CVRP สามารถช่วยในการประหยัดระยะทางในการขนส่ง รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันที่ 4 ได้มากขึ้น เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด

ซึ่งจากปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกจะพบว่าในการขนส่งของรถคันที่สี่มีการบรรทุกเต็มคันรถได้ถึง 100% จึงเรียกได้ว่าเป็นการช่วยให้มีการใช้รถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งกว่าการบรรทุกสินค้าด้วยวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ทำให้สามารถประหยัดเที่ยวรถในการขนส่ง รวมทั้งประหยัดพลังงานจากการขนส่งได้มากกว่า

ตารางที่ 7: ตารางเปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถของสินค้าเครื่องดื่มบรรจุภัณฑ์ของรถขนส่งคันที่ 5

Date	Fixed Zones		Vehicle Routing Problem	
	Distance (km)	Utilization (%)	Distance (km)	Utilization (%)
1	50.7	76.0	18.4	30.0
3	55.4	77.5	65.7	92.5
4	50.2	86.5	7.6	20.0
6	41.7	70.0	18.4	26.0
7	54.5	72.5	7.6	20.0
8	42.0	77.5	7.6	20.0
10	54.5	70.0	35.4	55.0
11	58.0	68.5		
12	44.8	61.0		
13	41.7	70.0	7.6	20.0
14	44.1	62.5		
15	39.7	70.0	53.3	97.5
17	56.1	77.5	16.2	25.0
18	43.7	61.0		
19	47.1	72.5	8.6	11.5
20	41.7	70.0		
21	44.1	62.5	20.7	28.0
22	39.7	70.0	7.6	20.0
24	56.1	77.5	7.6	20.0
25	39.7	61.0		
26	60.1	72.5		
27	41.7	70.0	54.3	80.0
29	50.5	77.5	17.3	22.5
31	46.2	82.5	30.8	55.0
Total	1144	71	384.7	37.8

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการขนส่งทั้ง 24 วันทำการ เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดของแต่ละวันจะพบว่า การจัดการขนส่งโดยวิธี CVRP ที่ 17 วันได้ระยะทาง 384.7 กิโลเมตรมีระยะทางในแต่ละวันโดยเฉลี่ยน้อยกว่าของการจัดส่งแบบ Fixed Zone ที่ 24 วันได้ระยะทาง 1144 กิโลเมตร แต่เมื่อพิจารณาต่อถึงปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งคันที่ 4 จะพบว่าวิธีการขนส่งแบบ CVRP จะมีปริมาณการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกของรถขนส่งที่ 17 วันจากทั้งหมด 24 วันโดยค่าเฉลี่ยในการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกอยู่ที่ 37.8% ซึ่งเทียบกับวิธีการขนส่งแบบ Fixed Zone ที่ขนส่งทั้ง 24 วันที่ 71% โดยแสดงให้เห็นว่าในการจัดเส้นทางด้วยวิธี CVRP สามารถช่วยในการประหยัดระยะทางในการขนส่ง รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันที่ 5 ได้มากขึ้น เพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด

5. บทวิจารณ์และบทสรุป

จากผลการวิเคราะห์จะได้ข้อสรุปเป็นไปดังตารางที่ 8 ในการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นดังนี้

ตารางที่ 8: ตารางสรุปผลการจัดเส้นทางในแต่ละรูปแบบการขนส่งทั้งสองวิธีเปรียบเทียบ

คันที่	วิธีจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า			
	Fixed Zones		Vehicle Routing Problem	
	Distance (km)	Utilization (%)	Distance (km)	Utilization (%)
1	1754.9	87.5	1854.5	92.9
2	1655.2	85.5	1854.5	96.2
3	1441.2	83.5	1432.0	89.2
4	1460.0	68.5	1280.5	79.5
5	1144.0	71.0	384.7	37.8
Total	7455.3	79.2	6806.2	79.1

ซึ่งจากตารางจะพบว่าระยะทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธี Fixed Zone หรือวิธีการขนส่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีปริมาณ 7455.3 กิโลเมตร ซึ่งมากกว่าที่ได้จากการจัดเส้นทางด้วยวิธี CVRP ที่มีระยะทาง 6806.2 กิโลเมตร โดยมากกว่ากันถึง 649 กิโลเมตรหรือ 9.54% เมื่อมาพิจารณาต่อถึงการใช้ประโยชน์จากการบรรทุกสินค้าของรถในแต่ละรูปแบบการขนส่ง จะพบว่ามีการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายคันรถจะพบว่า มีการใช้ประโยชน์ในการบรรทุกเพิ่มมากขึ้น ดังเช่น ในรถขนส่งคันที่ 1 ที่เพิ่มขึ้นจาก 87.5% เป็น 92.9% แต่สาเหตุที่รถคันที่ 5 มีปริมาณการใช้ประโยชน์น้อยเนื่องจากรถคันที่ 5 ถูกใช้ในการขนส่งทั้งปริมาณสินค้าและจำนวนเที่ยวการขนส่งน้อย ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการจัดเส้นทางการขนส่งแบบ Capacity of Vehicle Routing Problem จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถประหยัดต้นทุนการขนส่งสินค้าไปให้กับลูกค้า รวมทั้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบรรทุกให้ได้เต็มคันรถได้มากขึ้นอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

เครือวัลย์ จำปาเงิน. (2547). การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้า เพื่อการบริโภคสู่ร้านค้าปลีกในสถานบริการน้ำมันในจังหวัดนนทบุรี.วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาภูมิศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัยวัฒน์ สุขไมตรี. (2550). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าโดยวิธีมูลค่าประหยัด. สารนิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.

Golden, B.L., Magnanti, T.L. and Nguyen, H.Q., (1977). Implementing vehicle routing algorithms. Networks, Vol. **7**, pp. 113–148.

Holmes, R. A., R. G. Parker. (1976). A vehicle scheduling procedure based upon savings and a solution perturbation scheme. Operation Research Quarters, Vol. 27 No.1 pp: 83-92.

Toth, P. and Vigo, D., (2002). The Vehicle Routing Problem, Society for Industrial and Applied Mathematics. ISBN 0-89871-579-2.