

การพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการ
ด้านธุรกิจขนส่งสินค้า

Development on Vehicle Routing Problem Program: A Case Study of a Transportation
Service Provider

ชุลีกร ชนะสิทธิ์ สรวชญ์เยาวสุวรรณไชย
Chuleekorn Chanasit , Sorawit Yaovasuwanchai

คณะบัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Graduate School of Management and Innovation, King Mongkut's University of Technology Thonburi,

E-mail: chuleekorn.ch@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าของบริษัทที่ศึกษาไปยังกลุ่มลูกค้าที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางในการเดินทางขนส่งสินค้า ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Google map) ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มลูกค้าภายในพื้นที่บริเวณต่างๆ เพื่อความแม่นยำในการคำนวณที่มากขึ้น และใช้แนวคิดการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก (Heuristics) ในการหาคำตอบ โดยเลือกใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) นำมาสร้างรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP) และปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem; VRP) ผ่านโปรแกรมวีบีเอ (Visual Basic for Applications; VBA) โดยการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าแบบ TSP-NNH และแบบ VRP-NNH และการปรับปรุงเส้นทางแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt นั้นพบว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ TSP-NNH สามารถลดระยะทางในการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าได้ดีกว่าการจัดเส้นทางแบบเดิมของบริษัทที่ศึกษา คิดเป็นร้อยละ 11.79 และจากการปรับปรุงทัวร์หรือเส้นทางแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt สามารถลดระยะทางในการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าได้ดีกว่าการจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH คิดเป็นร้อยละ 6.13 และ 12.89 ตามลำดับ จากการวิจัยสรุปได้ว่าการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าบริษัทที่ศึกษาได้

คำสำคัญ: ฮิวริสติก โปรแกรมวีบีเอ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

Abstract

This research aims to develop a computer program for scheduling the delivery routes for the number of trucks owned by a food supply company. The company's customers are located in Bangkok and nearby provinces. This target is to find out the shortest routes possible. Google Map technology was utilized to locate each customers and to create a precise delivery trucks' route map. We chose to adopt the Nearest Neighbor Heuristics (NNH) concept of the Heuristics so-called theory in order to get the best solution for the Travelling Salesman problem (TSP) and the Vehicle Routing problem. By analyzing the data through our program developed on Visual Basic for Application (VBA) and Microsoft Excel, it is discovered that the distance of the new route generated by TSP-NNH method is decreased by 11.79 percent comparing with the current one. For VRP-NNH method, the new routes from 2-opt and 3-opt could reduce the total distance by 6.13 percent and 12.89 percent accordingly. It is proven that the computer program developed could assist the company to manage their delivery trucks' routing system more effectively and efficiently.

Keywords: Heuristics Method, Visual Basic for Application (VBA), Vehicle Routing Problem (VRP)



1. บทนำ

ในปัจจุบันการแข่งขันทางด้านธุรกิจมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้กระบวนการจัดการโลจิสติกส์เข้ามามีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการธุรกิจ เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันให้มากกว่าคู่แข่ง โดยกระบวนการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการจัดการโลจิสติกส์ ธนศ ทักษิณวรจาร (2543) กล่าวว่า กิจกรรมในกระบวนการจัดการโลจิสติกส์ที่ถือว่าเป็นกิจกรรมหลักและมีความสำคัญอย่างยิ่งกับการดำเนินธุรกิจของหลายๆองค์กร คือ กระบวนการขนส่งสินค้า และในปัจจุบันการขนส่งทางรถยนต์ถือได้ว่าเป็นที่นิยมและเป็นหัวใจสำคัญที่องค์กรจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว จากสถิติปริมาณสินค้าในประเทศปี พ.ศ. 2552 ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พบว่าปริมาณสินค้าที่ขนส่งทางถนนมีจำนวน 423.7 ล้านตัน จากปริมาณการขนส่งสินค้าทั้งหมด 505.8 ล้านตัน เห็นได้ว่า รูปแบบการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับการขนส่งทางถนนเป็นหลัก เพราะการขนส่งทางถนนเป็นรูปแบบการขนส่งที่สามารถเข้าถึงผู้ต้องการบริการได้รวดเร็วและสะดวกกว่ารูปแบบอื่น ยิ่งไปกว่านั้น ระบบการขนส่งสินค้ายังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับศูนย์กระจายสินค้า เพราะเป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการสนับสนุนต่อการขายสินค้า การจัดการใช้ระบบขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสภาวะราคาน้ำมันที่ไม่คงที่ ได้ส่งผลต่อภาคธุรกิจที่อาศัยการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักขององค์กร ดังนั้น การบริหารจัดการระบบการขนส่งสินค้าที่มีประสิทธิภาพนับเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ทุกองค์กรควรให้ความสำคัญและคำนึงถึง แต่ในปัจจุบันกระบวนการขนส่งสินค้ายังพบปัญหาและอุปสรรค ได้แก่ ระบบการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องมาจากกระบวนการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าตามจุดต่างๆนั้นจะอาศัยจากการตัดสินใจและประสบการณ์ของพนักงานขับรถเป็นส่วนใหญ่ จึงเกิดเป็นงานวิจัยนี้ขึ้น ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์ในส่วนของการขนส่งสินค้าเป็นหลัก โดยศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ระบบการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า ที่มีประสิทธิภาพขึ้นมาได้ โดยใช้รูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP) และปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem; VRP) ในการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้านี้ได้ใช้แนวคิดแบบฮิวริสติก (Heuristics) โดยใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics ในการวิเคราะห์สำหรับพัฒนาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าผ่านโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) in Microsoft Excel เพื่อลด

ระยะทางในการเดินรถขนส่งสินค้า และสามารถจัดเส้นทางสำหรับการขนส่งได้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบการจัดเส้นทางเดินรถของบริษัทกรณีศึกษา
2. พัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาและสามารถลดระยะทางในการจัดส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา
3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาต่อไป

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เพื่อการพัฒนาโปรแกรมในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้ากรณีศึกษาบริษัทขนส่งสินค้า โดยแบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. ศึกษาและเก็บข้อมูลกระบวนการทำงานในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา

ได้ศึกษากระบวนการทำงานจริง รวมถึงสัมภาษณ์ผู้จัดการคลังสินค้าและขนส่ง หัวหน้าฝ่ายคลังสินค้าและขนส่ง ตลอดจนพนักงานที่ปฏิบัติงาน เป็นต้น ทางบริษัทมีรถขนส่งสินค้าเป็นรถกระบะ 4 ล้อติดตู้บรรทุกสินค้า ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษากลุ่มลูกค้าที่อยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลเท่านั้น ทางบริษัทกรณีศึกษาได้แบ่งพื้นที่กลุ่มลูกค้าเป็น 11 เขตพื้นที่ในสายการขนส่งสินค้า เพื่อความสะดวกในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโดยมีคลังสินค้า 1 แห่ง โดยในแต่ละวันจะมีการขนส่งสินค้าตามความต้องการของลูกค้า

จากการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด 3 ชุด ข้อมูล เนื่องจากมีข้อมูลครบถ้วนตามความเป็นจริงมากที่สุด ประกอบเป็นช่วงวันที่มีสถิติการขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด และมีขนาดข้อมูลรวมถึงจำนวนลูกค้าในแต่ละเขตพื้นที่สายการขนส่งสินค้าแตกต่างกัน โดยมีจำนวนลูกค้าทั้งหมด 136 ราย เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่เป็นเพียงรายชื่อและที่อยู่ ยังไม่มีการกำหนดพิกัดตำแหน่งของลูกค้า ผู้วิจัยจึงเก็บรวบรวมค่าพิกัดตำแหน่งลูกค้าเพิ่มเติม รวมถึงตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาเช่นเดียวกับตำแหน่งที่ตั้งลูกค้าของบริษัท

2. นำวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้มีการแบ่งลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางเพื่อพัฒนาโปรแกรมจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าออกเป็น 2 แบบคือ 1) เป็นการวิจัยจากการจัดลำดับเส้นทางเดินรถของแต่ละ 1 เขต

พื้นที่จากทั้งหมด 11 เขตพื้นที่ในสายการขนส่งสินค้า โดยมีศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว พบว่าปัญหาดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem, TSP) และ 2) เป็นการวิจัยโดยการจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมด เช่น จัดจำนวนรถรถ แต่ละคันจะวิ่งไปยังจุดไหนบ้าง โดยไม่คำนึงถึงเขตพื้นที่เดิมของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งพบว่าการวิจัยแบบที่สองพบว่ามีผลคล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางรถ (Vehicle Routing Problem, VRP) ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกโดยเลือกใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดส่ง (Node) ที่เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง

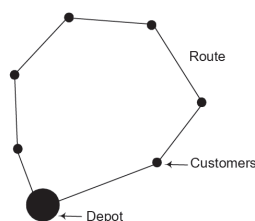
ขั้นตอนที่ 2 หาจุดที่ระยะทางจากจุดส่งที่ถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางแล้วไปยังจุดส่งข้างเคียงที่น้อยที่สุดและนำจุดส่งที่เลือกเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนสามารถผ่านจุดส่งทุกจุด แล้วจึงบรรจบจุดส่งสุดท้ายเข้ากับจุดส่งที่เริ่มต้น

ในการคำนวณแต่ละครั้งจะมีจำนวนครั้งในการคำนวณเท่ากับ n^2 ครั้ง โดย n แทนจำนวนจุดส่ง (node) แต่การคำนวณอาจต้องทำซ้ำเป็นจำนวน n ครั้ง เนื่องจากจะต้องเลือกจุดส่งเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นใหม่เป็นจำนวน n ครั้ง เพื่อหาเส้นทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด เนื่องจากวิธี NNH เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการหาคำตอบไม่นานและเป็นคำตอบที่สามารถยอมรับได้ ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก โดยวิธี NNH ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาที่ต้องการความรวดเร็วในการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าแบบวันต่อวัน

3. การพัฒนาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าแบบ TSP-NNH

การพัฒนาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าจากกระบวนการขนส่งสินค้าแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษามีลักษณะสอดคล้องกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางรถเพียง 1 เส้นทาง ภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การจัดเส้นทางรถแบบ TSP

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถ

เดินทางขนส่งสินค้าของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เพื่อให้ได้เส้นทางที่แตกต่างกันหลายรูปแบบและคำนึงถึงระยะทางในการขนส่งด้วย โดยจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางขนส่งสินค้าในแต่ละวัน สามารถกำหนดสัญลักษณ์ได้ดังนี้

กำหนดให้

N = เซตของจุดที่ตั้งของกลุ่มลูกค้าทั้งหมดที่พิจารณา ; $N = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$

n = กลุ่มของลูกค้า

S = สับเซต (subset) ใดๆที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ N ; $S \subset N$ โดยที่ $S \neq 0$ และ $S \neq N$

$|S|$ = จำนวนสมาชิกของเซต S

i = ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของแต่ละเส้นทางย่อยภายในเส้นทางรวม $i \in N$ โดยที่ $i = 0$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ คลังสินค้า โดยเป็น จุดเริ่มต้นของเส้นทางและ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ กลุ่มลูกค้า ในเส้นทาง

j = ตำแหน่งปลายทางของแต่ละเส้นทางย่อยภายในเส้นทางรวม $i \in N$ โดยที่ $j = 0$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ คลังสินค้า โดยเป็นจุดสิ้นสุดของเส้นทางและ $j = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ กลุ่มลูกค้า ในเส้นทาง

D_{ij} = ระยะทางจากตำแหน่ง i ไปยังตำแหน่ง j

X_{ij} = แสดงถึงเส้นทางระหว่างตำแหน่ง i และ j , $X_{ij} = 1$ เมื่อมีการเดินทางจากตำแหน่ง i ไป j มิฉะนั้น $X_{ij} = 0$

แบบจำลองคณิตศาสตร์การจัดเส้นทางรถแบบ TSP

$$\text{Minimize } \text{ระยะทาง} = \sum_{i,j \in N} X_{ij} D_{ij} \quad (2.1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2.3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (2.5)$$

สมการที่ 2.1 แสดงถึงการหาระยะทางที่ต่ำที่สุด สมการที่ 2.2 กำหนดให้เดินทางจากจุดเริ่มต้นใดๆแล้วจะมีจุดปลายทางเพียงจุดเดียวเท่านั้น สมการที่ 2.3 กำหนดให้จุดปลายทางใดๆ จะมีจุดเริ่ม

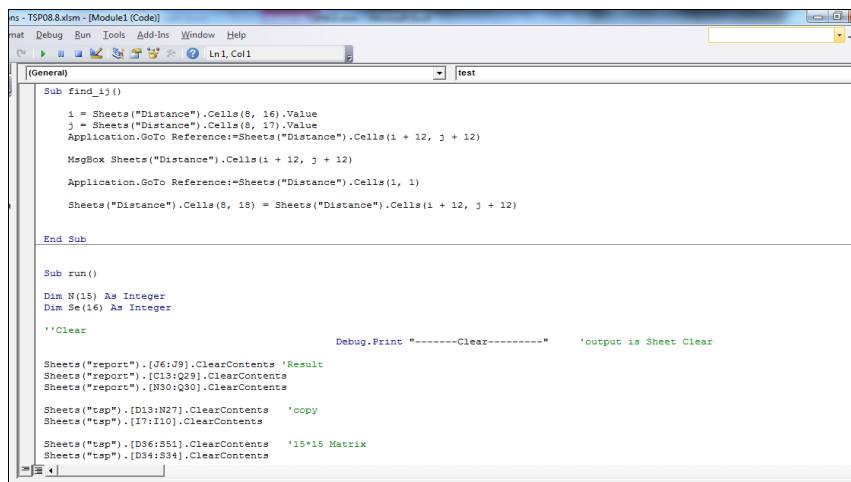
ต้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น สมการที่ 2.4 เป็นการกำจัดเส้นทางย่อย (Sub-tour Elimination) สมการที่ 2.5 กำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจ มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

การจัดเส้นทางการเดินทางส่งสินค้าแบบ TSP เป็นการจัดลำดับการส่งสินค้าที่ใช้เส้นทางเดียวให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากคลังสินค้าเดียว วิธีการแก้ไขปัญหานี้ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีแบบฮิวริสติกส์ โดยใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics ในการหาคำตอบซึ่งเป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาของบริษัทการศึกษา มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหาเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือโปรแกรม Google map โดยใช้เส้นรุ้ง (Latitude) และเส้นแวง(Longitude) แล้วแปลง

ค่าเส้นรุ้งและเส้นแวงเป็นระยะทางระหว่างจุดในแต่ละตำแหน่งทั้งหมด 136 จุด จากจำนวนลูกค้า 136 ราย และหาระยะทางระหว่างจุดที่ตั้งคลังสินค้ากับลูกค้าและระหว่างลูกค้ากับลูกค้า โดยใช้ระยะจุดและลองจิจูดจากการหาพิกัดข้างต้น จากนั้น สร้างตารางเมตริกซ์ระยะทาง 136×136 โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือโปรแกรม Google map ในการหาข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งลูกค้าแต่ละจุดมาบันทึกลงบน Microsoft Excel เพื่อหาระยะทางระหว่างจุดในรูปแบบตารางเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix)

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ระยะทางระหว่างจุดที่ตั้งทั้งหมด ดังตารางเมตริกซ์ นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการเขียนโปรแกรม VBA ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 โปรแกรม VBA in Microsoft Excel

ขั้นตอนที่ 3 ในส่วนของโปรแกรม VBA in Microsoft Excel (Visual Basic for Applications in Microsoft Excel) มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. ทำการเลือกลูกค้าจากแต่ละพื้นที่จากจำนวนลูกค้าทั้งหมดในหนึ่งวัน โดยมีการป้อนข้อมูลลูกค้า ดังรูปที่ 3.3 (a)โปรแกรมจะแสดงตารางเมตริกซ์หรือตารางแสดงระยะทางระหว่างจุดต่างๆในสายการขนส่งของพื้นที่นั้น ดังภาพที่ 3.3 (b)

lipboardFontAlignmentNumberFormatingStyles

FontAlignmentNumberFormatingStyles

B C D E F G H I J K L M N O

ขั้นตอนการประมวลผล

1. แสดงข้อมูลลูกค้าจากการบันทึกของพนักงานจาก Input Data

ส่งสินค้าวันที่	20
เดือน	12
พ.ศ.	2554
เส้นทางขนส่งสายที่	3

Node	ลูกค้า	สถานที่	ID
1	AK	อาคาร ถ.สุขุมวิท	11
2	BE	ข.สุขุมวิท14 ถ.สุขุมวิท	31
3	BF	สุขุมวิท 14	32
4	BG	ถ.สุขุมวิท แขวงคลองเตย	33
5	BS	ข.สุขุมวิท4 ถ.สุขุมวิท	45
6	CP	สุขุมวิท12 ถ.สุขุมวิท	68
7	CQ	สุขุมวิท8	69
8	CR	มหาตมเลี้ยว1	70
9	CS	มหาตมเลี้ยว2	71
10	CT	ถ.เพลินจิต ลุมพินี	72
11	CU	ถ.วิทยุ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน	73
12			
13			
14			
15			

DistanceDataTSPReport

(a)

2. จากระบบข้อมูล 1. ไม่ก่อกำหนด Run Program เพื่อแสดงระยะทาง (Metric Distance)															
DC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	99999	18.4	17.6	17.5	18	18.2	17.8	18.3	17.2	17.4	16.6	15			
2	15	99999	0.6	0.5	3.4	1.5	0.8	1.3	3.2	3.4	2.6	3			
3	16.9	1.1	99999	0.1	4.5	1.2	0.5	1	3	3.2	2.4	2.8			
4	16.8	1	0.1	99999	4.4	1.2	0.4	0.9	2.9	3.1	2.3	2.7			
5	17.7	4.2	3.4	3.3	99999	4.3	3.6	4.1	6	6.2	5.4	5.8			
6	15.6	0.6	1.3	1.2	4	99999	1.5	1.2	3.1	3.3	2.5	2.9			
7	16.5	0.8	1.4	1.9	4.2	1	99999	0.7	2.6	2.8	2	2.4			
8	16.4	2.8	3.4	3.3	6.2	2.3	3.6	99999	2.5	2.7	1.9	2.3			
9	15.7	7	6.2	6.1	9.1	3.9	6.4	6.9	99999	0.4	3.4	1.8			
10	15.6	6.9	6.1	6	9	4	6.3	6.8	0.4	99999	3.2	1.6			
11	16	7.4	6.6	6.5	9.5	5.3	6.8	7.3	0.6	0.8	99999	2.2			
12	14.1	5.5	4.7	4.6	7.6	5.7	4.9	5.4	2.2	2.4	1.6	99999			
13															
14															
15															

(b)

ภาพที่ 3.3 การป้อนข้อมูล

2. เมื่อใส่ข้อมูลลูกค้าในโปรแกรมครบทุกจุดแล้ว โปรแกรมจะนำข้อมูลไปประมวลผล เพื่อจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการส่งสินค้า พร้อมแสดงเส้นทางขนส่งและ ระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสุดท้าย ดังภาพที่ 3.4

จุดเริ่มต้น (Node)	จุดปลายทาง	สถานที่	ระยะทาง (ไมล์เมตร)
0	DC	บริษัทการค้า	-
11	CU	ถ.วิทยุ แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน	15
20	CT	ถ.เพลินจิต ลุมพินี	1.6
8	CR	มหาตมเลี้ยว 1	0.6
9	CS	มหาตมเลี้ยว 2	0.4
5	BS	ข.สุขุมวิท 4 ถ.สุขุมวิท	4
1	BE	อาคาร ถ.สุขุมวิท	0.6
3	BF	สุขุมวิท 14	0.5
2	BE	ข.สุขุมวิท 14 ถ.สุขุมวิท	0.1
6	CP	สุขุมวิท 12 ถ.สุขุมวิท	0.5
7	CO	สุขุมวิท	0.7
4	BG	ถ.สุขุมวิท แขวงคลองเตย	6.2
0	DC	บริษัทการค้า	17.7
ระยะทางทั้งหมด (ไมล์)			47.90

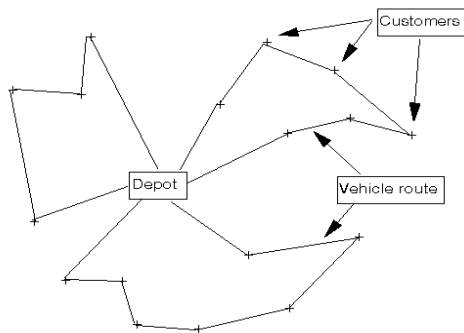
ภาพที่ 3.4 ผลที่ได้จากการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH

3. จัดพิมพ์เอกสารการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้าของสายนั้นๆ ให้แก่พนักงานขับรถขนส่ง เพื่อใช้ในการขนส่งสินค้าไปยังจุดต่างๆ ในแต่ละเส้นทาง

4. การพัฒนาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH

ในการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP เป็นปัญหาที่ประยุกต์มาจากปัญหาแบบ TSP การออกแบบเส้นทางเดินรถ (ทัวร์) ในแต่ละคันให้เหมาะสมที่สุด เช่น ปริมาณความจุ เวลาในการขนส่งสินค้าจากจุด การขนส่งจะเริ่มต้นจากคลังสินค้า ไปสู่กลุ่มลูกค้าที่ทราบจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งในแต่ละราย และทราบปริมาณความต้องการสินค้า ที่แน่นอนล่วงหน้า (Keenan, 1997) เป็นการหาจำนวนเส้นทางเดินรถและลำดับการส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังจุดต่างๆ ดังภาพที่ 3.5 โดยคำนึงถึงผลรวมของระยะทางในการขนส่งของรถทุกคันมีค่าน้อยที่สุด

จะแตกต่างจากปัญหา TSP เนื่องจากเป็นปัญหาการจัดเส้นทางรถเพียง 1 เส้นทาง



ภาพที่ 3.5 การจัดเส้นทางรถแบบ VRP

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem, VRP) เพื่อให้ได้เส้นทางที่แตกต่างกันหลายรูปแบบและคำนึงถึงระยะทางที่สั้นที่สุดในการขนส่งด้วย สามารถกำหนดสัญลักษณ์ได้ดังนี้

กำหนดให้

N = เซตของจุดที่ตั้งของกลุ่มลูกค้าทั้งหมดที่พิจารณา
 $N = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$

n = กลุ่มของลูกค้า

D_{ij} = ระยะทางในการเดินทางจากจุดลูกค้า i ไปยังจุดลูกค้า j
 (กิโลเมตร)

K = จำนวนรถขนส่งสินค้า

S = สับเซต (subset) ใดๆที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ N ; $S \subset N$
 โดยที่ $S \neq \emptyset$ และ $S \neq N$

$|S|$ = จำนวนสมาชิกของเซต S

x_{ij} = ตัวแปรตัดสินใจ แสดงถึงเส้นทางระหว่างตำแหน่ง i และ j ,

$x_{ij} = 1$ เมื่อมีการเดินทางจากตำแหน่ง i ไป j มิฉะนั้น

$x_{ij} = 0$

$X_{ij}^k = 1$ ถ้ารถขนส่งสินค้า K ขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i
 และไปยังลูกค้า j มิฉะนั้น $X_{ij}^k = 0$

i = ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของแต่ละเส้นทาง; $i \in N$ โดยที่
 $i = 0$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ คลังสินค้า โดยเป็น
 จุดเริ่มต้นของเส้นทางและ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อ
 ตำแหน่งที่พิจารณาคือ กลุ่มลูกค้า ในเส้นทาง

j = ตำแหน่งปลายทางของแต่ละเส้นทาง; $j \in N$ โดยที่
 $j = 0$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ คลังสินค้า โดยเป็น
 จุดสิ้นสุดของเส้นทางและ $j = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อตำแหน่ง

ที่พิจารณา คือ กลุ่มลูกค้า ในเส้นทาง

แบบจำลองคณิตศาสตร์การจัดเส้นทางรถแบบ VRP

$$\text{Minimize ระยะทาง} = \sum_{i,j \in N} D_{ij} X_{ij} \quad (2.6)$$

Subject to

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ip}^k - \sum_{j=0}^N X_{pj}^k = 0 \quad \forall p \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i0}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.11)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad (2.12)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (2.13)$$

สมการที่ (2.6) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด สมการที่ (1.2) และ (2.7) และ (2.8) แสดงว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากรถขนส่งสินค้าเพียงคันเดียว สมการที่ (2.9) แสดงว่าเมื่อรถขนส่งสินค้าเข้ามาถึงจุดส่งสินค้าแล้วรถขนส่งสินค้าจะออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการที่ (2.10) และ (2.11) กำหนดว่ารถขนส่งสินค้าแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น สมการที่ 2.12 เป็นการกำจัดเส้นทางย่อย (Sub-tour Elimination) สมการที่ 2.13 กำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจ มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

ปัญหา VRP ได้มีการหาเมตริกซ์ระยะทาง ดังขั้นตอนที่ 1 ในข้อที่ 3 ก่อนที่จะนำวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกโดยใช้วิธี NNH เขียนลงโปรแกรม VBA เช่นเดียวกับปัญหา TSP การออกแบบโปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ มีส่วนที่เป็นข้อมูลพื้นฐานคือ ข้อมูลระยะทางระหว่างแต่ละจุด เพื่อสร้างตารางเมตริกซ์ระยะทาง เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางรถในแต่ละวันของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางรถแบบ VRP จึงใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกด้วยวิธี NNH โดยเขียนลงในโปรแกรม VBA ของลูกค้าที่เลือกส่งสินค้าก่อนนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษามากที่สุดก่อนจากนั้นจึงเลือกตำแหน่งลูกค้าต่อไปที่ไกลจากจุดเดิมเป็นลำดับถัดไป โดยมีขั้นตอนการหาคำตอบจากโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่ง ดังนี้

4.1 รวบรวมข้อมูลลูกค้าที่มีการสั่งซื้อสินค้าทั้งหมดป้อนลงในโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า ดังภาพที่ 3.6

ID	ลูกค้า	สถานที่
26	AZ	เขื่อนศรีนครินทร์
27	BA	เขื่อนศรีนครินทร์
16	AP	รามอินทรา กม.2
59	CG	อ.ประจักษ์ศิลปาคม หนองคาย
60	CH	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
61	CI	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
62	CJ	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
63	CK	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
64	CL	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
66	CN	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
11	AK	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
31	BE	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
32	BF	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
33	BG	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
68	CP	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
45	BS	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
69	CQ	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
70	CR	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
71	CS	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)
72	CT	ลาดพร้าว 4 (อ.เมือง)

ภาพที่ 3.6 การป้อนข้อมูล

4.2 เลือกวิธีในการหาคำตอบ จากการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าแบบ VRP โปรแกรมจะนำ

ข้อมูลไปประมวลผล เพื่อหาเส้นทางในการจัดส่งสินค้าที่สั้นที่สุด ลำดับการจัดส่งสินค้า และจำนวนรถที่ใช้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 วิธีในการหาคำตอบจากการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทาง

4.3 เลือกรายการรถคันที่ n เพื่อจัดพิมพ์เอกสารการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้าให้แก่พนักงานขับรถขนส่งเพื่อใช้ในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า

5. การปรับปรุงเส้นทางรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt

แม้ว่าวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) จะสามารถจัดกลุ่มข้อมูลได้ง่าย ไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่มีข้อเสียคือ ปัญหาที่แต่ละจุดมีระยะห่างกันเป็นจำนวนมาก ค่าคำตอบที่ได้ อาจไม่ดีเท่าที่ควร ทางผู้วิจัยจึงได้มีการปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt เพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดจากเส้นทางเดิมที่มีอยู่ดังนี้

5.1 วิธี 2-opt ใช้วิธีการหาคำตอบผ่านโปรแกรม VBA เช่นเดียวกับวิธีแบบ VRP-NNH แต่จะเพิ่มเติมในการหาคำตอบ ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า เพื่อค้นหาวิธีที่ดีที่สุดที่ผ่านจุดลูกค้าทั้งหมดในเส้นทางนั้นๆ โดยใช้วิธี Tour Improvement Procedures เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นทางเป็นเส้นทางที่มีอยู่แล้วซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดมาปรับปรุงเส้นทาง โดยการสลับหรือแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้เส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นเป็นคำตอบที่ดี คือ วิธีการเปลี่ยนเส้นทางขนส่งครั้งละ 2 เส้นทาง (2-opt) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเส้นทางเริ่มต้นก่อน โดยเลือกจากทุกจุดที่เป็นไปได้

ขั้นตอนที่ 2 ปรับปรุงเส้นทางโดยการสลับตำแหน่งใหม่ ใช้วิธี 2-opt โดยลบเส้นทางเดิมที่มีอยู่ 2 เส้นทางจากนั้นแทนที่เส้นทางใหม่แทนเส้นทางเดิม ที่ทำให้เส้นทางผ่านทุกจุดส่ง หลังจากนั้น

ตรวจสอบเส้นทางใหม่ที่ปรับปรุงวาระทาง หรือมีค่าใช้จ่ายขนส่งที่ต่ำกว่าเส้นทางเดิมหรือไม่ ถ้าเส้นทางที่ได้ใหม่มีค่าต่ำกว่าเส้นทางเดิม แสดงว่าเส้นทางใหม่ที่ได้เป็นคำตอบที่ดีกว่า ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

5.2 วิธี 3-opt ใช้วิธีการหาคำตอบผ่านโปรแกรม VBA in Microsoft Excel เช่นเดียวกันวิธีแบบ VRP-NNH แต่จะใช้วิธีการปรับปรุงทัวร์ (Tour Improvement Procedures) โดยการสลับหรือแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้เส้นทางใหม่พัฒนาขึ้นเป็นคำตอบที่ดีด้วยวิธีการเปลี่ยนเส้นทางขนส่งครั้งละ 3 เส้นทาง (3-opt) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเส้นทางเริ่มต้นก่อน โดยเลือกจากทุกจุดที่เป็นไปได้

ขั้นตอนที่ 2 ปรับปรุงเส้นทางโดยการสลับตำแหน่งใหม่ ใช้วิธี 3-opt โดยลบเส้นทางเดิมที่มีอยู่ 3 เส้นทางจากนั้นแทนที่เส้นทางใหม่แทนเส้นทางเดิม ที่ทำให้เส้นทางผ่านทุกจุดส่ง หลังจากนั้นตรวจสอบเส้นทางใหม่ที่ปรับปรุงวาระทาง หรือมีค่าใช้จ่ายขนส่งที่ต่ำกว่าเส้นทางเดิมหรือไม่ ถ้าเส้นทางที่ได้ใหม่มีค่าต่ำกว่าเส้นทางเดิม แสดงว่าเส้นทางใหม่ที่ได้เป็นคำตอบที่ดีกว่า

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีการปรับปรุงเส้นทางเดินทางขนส่งสินค้าแบบ VRP ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt สามารถหาคำตอบโดยการคำนวณตามขั้นตอนได้เช่นเดียวกับข้อ 4 โดยเลือกวิธีในการคำนวณเพื่อหาคำตอบจากการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินทางขนส่งสินค้าด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt ตามลำดับ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาและเก็บข้อมูลกระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา

จากการเข้าไปศึกษาและเก็บข้อมูลกระบวนการทำงานฝ่ายคลังสินค้าและฝ่ายขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งจัดจำหน่ายสินค้าอุปโภคและบริโภคเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าเพื่อและศึกษากระบวนการทำงาน เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา ได้ผลดังต่อไปนี้

1. กระบวนการทำงานของแผนกคลังสินค้าและขนส่ง มีดังนี้

1.1 การรับสินค้าจาก supplier มีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการรับสินค้าจาก supplier

1.2 การจัดเก็บสินค้า มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4.2 เพื่อศึกษากระบวนการทำงาน เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา ได้ผลดังต่อไปนี้



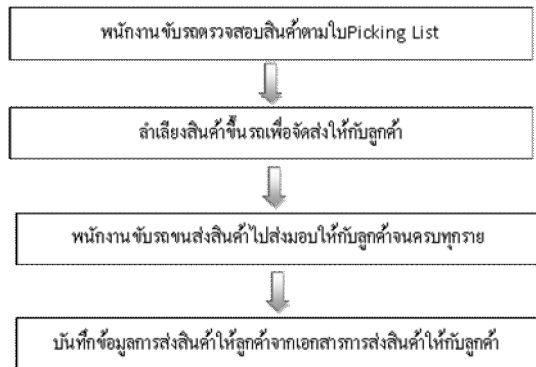
ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนการเก็บสินค้า

1.3 การจ่ายสินค้าให้แก่ลูกค้า มีขั้นตอนการทำงานภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ขั้นตอนการจ่ายสินค้า

1.4 การส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า มีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ขั้นตอนการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า

2. การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นของฝ่ายขนส่งสินค้า

จากการศึกษากระบวนการทำงานฝ่ายขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า กระบวนการขนส่งสินค้ายังประสบปัญหาในเรื่องของเส้นทางและลำดับในการจัดส่งสินค้า โดยขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความตัดสินใจของพนักงานขับรถเพียงผู้เดียว พนักงานขับรถแต่ละคนจะได้รับมอบหมายให้ขนส่งสินค้าวันละ 1 เที่ยว 1 พื้นที่ ซึ่งเส้นทางที่พนักงานขับรถแต่ละคนเลือกนั้นมักจะอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของตนเอง ทำให้เส้นทางที่เลือกนั้นไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นเส้นทางที่ดีหรือเหมาะสมที่สุด จากการสัมภาษณ์พนักงานขับรถ ในบางครั้งเส้นทางขนส่งสินค้าก็ไม่ได้เป็นไปตามที่พนักงานขับรถได้กำหนดไว้ก่อน เนื่องจากยังไม่มีระบบการกำหนดเส้นทางในการจัดส่งสินค้าที่แน่นอน ดังตัวอย่างข้อมูลการจัดส่งสินค้าแสดงในตารางที่ 4.1 โดยแสดงเส้นทางขนส่งสินค้าของพนักงานขับรถในสายที่ 1 ที่พนักงานขนส่งต้องไปส่งสินค้าในแต่ละที่ตั้ง

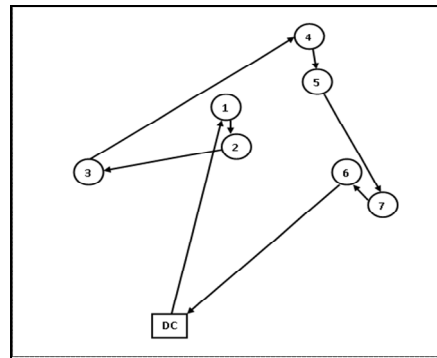
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลลูกค้าในเขตพื้นที่สายการขนส่งที่ 1 ของชุดข้อมูลที่ 1

จำนวนที่	ลูกค้า	ที่ตั้ง
1	AA	โรบินสันรัชดา
2	BH	เซ็นทรัลพระราม9
3	BI	ถ.บำรุงเมือง คลองมหานาค
4	AO	บิ๊กซี ลาดพร้าว
5	BJ	ลาดพร้าว94(ปัญจมิตร)
6	BK	พัฒนาการ46
7	BL	ถ.เสรี6 สวนหลวง

จากการศึกษากระบวนการขั้นตอนในการจัดส่งสินค้าครั้งนี้ สามารถสรุปปัญหาที่พบได้ ดังนี้

1. บริษัทกรณีศึกษา ยังไม่มีการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าที่เป็นมาตรฐานของบริษัท แต่จะอาศัยการความชำนาญและประสบการณ์ของพนักงานขับรถแต่ละคน
2. พนักงานแต่ละคนอาจไม่มีความชำนาญและประสบการณ์เพียงพอเส้นทางที่วิ่งในแต่ละสายจึงมีระยะทางมากเกินไปจริง ส่งผลให้ต้นทุนค่าน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย
3. พนักงานขับรถแต่ละคนมีเกณฑ์การพิจารณา เพื่อจัดเส้นทางเดินรถของตนเองแตกต่างกัน จึงไม่สามารถควบคุมประสิทธิภาพของการจัดลำดับเส้นทางเดินรถได้

จากตัวอย่างข้อมูลการจัดส่งสินค้าแสดงในตารางที่ 4.1 สามารถแสดงตัวอย่างเป็นแผนภาพเส้นทางขนส่งสินค้า ได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 เส้นทางขนส่งโดยพนักงานขับรถในเขตพื้นที่การขนส่งสินค้าสายที่ 1 ของชุดข้อมูลที่ 1

4.2 ผลการหาคำตอบแบบฮิวริสติกในการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา

จากการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือโปรแกรม Google map เพื่อหาข้อมูลระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างตำแหน่งคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษากับตำแหน่งของลูกค้าทั้งหมด และระยะทางระหว่างทุกจุดจากจำนวนลูกค้า 136 ราย ได้ดังภาพที่ 4.6 แล้วใช้ละติจูดและลองจิจูดจากการหาพิกัดเส้นรุ้ง (Latitude) และเส้นแวง (Longitude) ข้างต้น สร้างตารางเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) ทั้งหมด ขนาด 136 x 136 แล้วบันทึกลงบน Microsoft Excel ได้ดังภาพที่ 4.7

ข้อมูลลูกค้า				
ID	ลูกค้า	สถานที่	ละแฉ่ง	ละแฉ่ง
0	คลังสินค้า (DC)	บริษัทกรณิศศึกษา	13.646659	100.528609
1	AA	โรบินสัน ชิมดา	13.770383	100.572506
2	AB	เซ็นทรัล บางนา	13.669569	100.534465
3	AC	เซ็นทรัล พระราม5	13.697908	100.538069
4	AD	เซ็นทรัล ลาดพร้าว	13.816754	100.561080
5	AE	ศูนย์การค้าเซ็นทรัลเวิลด์	13.746493	100.539536
6	AF	ศูนย์การค้าเซ็นทรัลเวิลด์	13.741188	100.572777
7	AG	ถนนสุขุมวิท ถนนสีลม	13.730651	100.533469
8	AH	สยามสแควร์ ถนนสีลม	13.746951	100.531704
9	AI	เซ็นทรัล งามวิจิตร	13.725055	100.515049
10	AJ	เซ็นทรัล งามวิจิตร	13.903846	100.528121
11	AK	ลาดพร้าว 3	13.737970	100.559025
12	AL	ศูนย์การค้าสยามเซ็นเตอร์	13.746524	100.531785
13	AM	ศูนย์การค้าเซ็นทรัลเวิลด์	13.746493	100.539536
14	AN	ท่าอากาศยาน บางนา	13.728609	100.530051
15	AO	ท่าอากาศยาน บางนา	13.785633	100.611999
16	AP	ท่าอากาศยาน บางนา	13.868080	100.611048
17	AQ	ศูนย์การค้า งามวิจิตร	13.685691	100.603200
18	AR	อิมเม็ค เมืองทองธานี	13.912240	100.548327
19	AS	อิมเม็ค เมืองทองธานี	13.845216	100.510674
20	AT	สนามบินสุวรรณภูมิ	13.694692	100.750637
21	AU	สนามบินสุวรรณภูมิ	13.728663	100.535003

ภาพที่ 4.6 พิกัดที่ตั้งของลูกค้า

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		

Distance Matrix

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
คลังสินค้าB	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
0 คลังสินค้าB	0	21.8	23.8	9.2	24.6	17.2	19.7	15.2	17.1	12.4	34.3	18.4	17.8	17.2	13.9
1 AA	22.6	0	21.5	15.4	9.6	8.7	6.3	12.6	9	15.1	21.1	7	9.4	8.7	13.5
2 AB	28.3	19.5	0	21.1	29.5	22.1	18.8	20.2	23.4	23.1	39	19.3	22.7	22.1	21
3 AC	9.3	9.5	14.6	0	15.3	8.3	8	6	8.9	5.8	28.8	6.5	8.9	8.3	4
4 AD	23.9	8.6	23.5	16.8	0	11	11.5	14	9	16.8	15.2	10.6	11.7	11	14
5 AE	15.7	6	17.3	9.9	10	0	5.2	3.9	1	5.6	21.6	4.1	1	0	3
6 AF	17.8	5.8	12.5	9.7	13.9	6	0	8.1	6.7	11.1	24.9	4.2	6.7	6	
7 AG	13.8	9.4	15.7	8	11	3.9	8.6	0	3.5	3.7	23.2	7.1	3.4	3.9	
8 AH	14.9	7.6	16.8	9.1	9.1	1.1	6	3.1	0	4.8	20.8	4.9	0.4	1.1	2
9 AI	11.5	12.8	17.5	5.7	13.9	7.4	10.4	2.9	6.2	0	23.4	8.9	5	7.4	2
10 AJ	34.1	20	36.9	28.3	14.1	22.7	24.8	24.3	21.6	24	0	23.6	22	22.7	25
11 AK	15	4.3	15.1	6.9	11.1	3.2	2.9	5.3	3.8	8.3	23.4	0	3.8	3.2	6
12 AL	15	7.7	16.9	9.2	9.2	1.1	6	3.2	0.1	4.9	20.8	4.9	0	1.1	2
13 AM	15.7	6	17.3	9.9	10	0	5.2	3.9	1	5.6	21.6	4.1	1	0	3
14 AN	14.3	13.4	16	8.5	11.6	3.7	9	0.6	2.7	2	24	7.4	2.7	3.7	
15 AO	28.8	11	19.2	21.6	11.9	15	10.3	20.7	15.3	20.4	22.5	14.6	15.7	15	21
16 AP	35.7	15.1	29.9	28.6	12.5	22.8	21.5	25.8	18.3	26.6	10.5	22.4	23.5	22.8	26

ภาพที่ 4.7 ตารางเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix)

การพัฒนาโปรแกรมมี 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) การพัฒนาโปรแกรมจัดเส้นทางการเดินทางส่งสินค้าแบบ TSP-NNH 2) การพัฒนาโปรแกรมจัดเส้นทางการเดินทางส่งสินค้าแบบ VRP-NNH และ 3) การปรับปรุงเส้นทางการเดินทางส่งสินค้าแบบ VRP ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt โดยใช้ชุดข้อมูลทั้งหมด 3 ชุด

4.3 ผลการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางส่งสินค้าแบบ TSP-NNH

เป็นการจัดเส้นทางการเดินทางส่งสินค้าโดยพิจารณาจากเขตพื้นที่ลูกค้าเดิมของบริษัทกรณิศศึกษา มีผลการวิจัยดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลเปรียบเทียบการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH ของชุดข้อมูลที่ 1

การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าของชุดข้อมูลที่ 1				
พื้นที่ในการขนส่ง	A) การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ (กิโลเมตร)	B) การจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH (กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B	
			กิโลเมตร	ร้อยละ
1	95	82.4	12.6	15.29
2	141	132.4	8.6	6.5
3,7	57	42.1	14.9	35.39
3,8	53	51.9	1.1	2.12
5	45	43.7	1.3	2.97
6,9	45.5	33.8	11.7	34.62
10	92	82.40	9.6	11.65
รวม	528.5	468.7	59.8	12.76

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 1 มีพื้นที่การขนส่งทั้งหมดดังตาราง โดยมีจำนวนรถในการวิ่งทั้งหมด 7 คัน การจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH ผ่าน

โปรแกรม VBA ได้ระยะทางรวม 468.7 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ มีระยะทางรวมทั้งหมด 528.5 กิโลเมตร ลดลง 59.8 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 12.76

ตารางที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH ของชุดข้อมูลที่ 2

การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าของชุดข้อมูลที่ 2				
พื้นที่ในการขนส่ง	A) การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ (กิโลเมตร)	B) การจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH (กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B	
			กิโลเมตร	ร้อยละ
1	132	124.4	7.6	6.11
3	52	47.9	4.1	8.56
4	61	52.9	8.1	15.31
5	56	47.3	8.7	18.39
7,11	126	116	10	8.62
8	47	44.4	2.6	5.86
10	100	85.7	14.3	16.69
รวม	574	518.6	55.4	10.68

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 2 มีพื้นที่การขนส่งดังตาราง มีจำนวนรถในการวิ่งทั้งหมด 7 คันโดยการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH ผ่านโปรแกรม VBA ได้ระยะทางรวม 518.6 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับการจัด

เส้นทางโดยพนักงานขับรถ มีระยะทางรวมทั้งหมด 574 กิโลเมตร ลดลง 55.4 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 10.68

ตารางที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH ของชุดข้อมูลที่ 3

การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าของชุดข้อมูลที่ 3				
พื้นที่ในการขนส่ง	A) การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ (กิโลเมตร)	B) การจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH (กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B	
			กิโลเมตร	ร้อยละ
2	131	121.8	9.2	7.55
3,4	56	48.8	7.2	14.75
6,9	48	37.3	10.7	28.69
7,11	152	144.9	7.1	4.90
รวม	387	352.8	34.2	9.69

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 3 มีพื้นที่การขนส่งดังตาราง มีจำนวนรถในการวิ่งทั้งหมด 4 คันโดยการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH ผ่านโปรแกรม VBA ได้ระยะทางรวม 352.8 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับการจัด

เส้นทางโดยพนักงานขับรถ มีระยะทางรวมทั้งหมด 387 กิโลเมตร ลดลง 34.2 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 9.69

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถของทั้ง 3 ชุดข้อมูลระหว่างการจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถและการจัดเส้นทางแบบTSP-NNH

การเปรียบเทียบจัดเส้นทางขนส่งสินค้าทั้ง 2 วิธี				
รายละเอียด	A)การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ (กิโลเมตร)	B)การจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH (กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B (กิโลเมตร)	ประสิทธิภาพที่ได้ (ร้อยละ)
ชุดข้อมูลที่ 1	528.5	468.7	59.8	12.76
ชุดข้อมูลที่ 2	574	518.6	55.4	10.68
ชุดข้อมูลที่ 3	387	352.8	34.2	9.69
ผลรวม	1489.5	1340.1	148.1	11.00

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบTSP-NNH ผ่านโปรแกรมVBA มีระยะทางรวมทั้งหมด1,340.1 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ ที่มีระยะทางรวมทั้งหมด 1,489.5 กิโลเมตร พบว่ามีระยะทางลดลง 148.1 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่า การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบTSP-NNH ผ่าน โปรแกรม VBA มี

ประสิทธิภาพช่วยลดระยะทางในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าคิดเป็นร้อยละ 11.0

4.4 ผลการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบของการจัดเส้นทางระหว่างพนักงานขับรถกับแบบ VRP-NNH

ผลการเปรียบเทียบของการจัดเส้นทางระหว่างพนักงานขับรถกับแบบ VRP-NNH				
รายละเอียด	A)การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ(กิโลเมตร)	B)การจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH (กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B (กิโลเมตร)	ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทาง(ร้อยละ)
ชุดข้อมูลที่ 1	528.5	422.7	105.3	24.91
ชุดข้อมูลที่ 2	574	491.5	55.5	11.29
ชุดข้อมูลที่ 3	387	402.2	(-)15.2	(-)3.78
ผลรวม	1462.5	1316.4	146.1	11.06

จากตารางที่ 4.6 สรุปได้ว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH ได้ระยะทางรวมทั้งหมด 1,316.4 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดเส้นทางโดยพนักงานขับรถ ที่มีระยะทางรวมทั้งหมด 1,462.5 กิโลเมตร พบว่ามีระยะทางลดลง 146.1 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่า การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบTSP-NNH ผ่านโปรแกรม VBA มีประสิทธิภาพช่วยลดระยะทางในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าคิดเป็นร้อยละ 11.06 แต่ไม่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่ 3 เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างจุดลูกค้าห่างกันเป็น

ระยะทางที่มาก โดยสอดคล้องกับแนวคิดของทฤษฎี Nearest Neighbor Heuristics

4.5 การปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt

เป็นการปรับปรุงเส้นทาง โดยพิจารณาจากการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH มีผลการวิจัย ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการปรับปรุงเส้นทางแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt

ผลการเปรียบเทียบของการจัดเส้นทางระหว่างพนักงานขับรถกับแบบ VRP-NNH-2opt				
รายละเอียด	A)การจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH(กิโลเมตร)	B)การจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH-2opt(กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B (กิโลเมตร)	ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทาง(ร้อยละ)
ชุดข้อมูลที่ 1	422.7	410.3	12.4	3.02
ชุดข้อมูลที่ 2	491.5	453.8	37.7	8.31
ชุดข้อมูลที่ 3	402.2	240.4	25.9	6.88
ผลรวม	1316.4	1240.4	76	6.13

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าจากชุดข้อมูลทั้ง 3 สรุปได้ว่าการปรับปรุงเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH-2opt ได้ระยะทางรวมทั้งหมด 1,240.4 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH มีระยะทางรวมทั้งหมด 1,316.4

กิโลเมตร พบว่ามีระยะทางลดลง 76 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH-2opt ผ่านโปรแกรม VBA มีประสิทธิภาพช่วยลดระยะทางในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าคิดเป็นร้อยละ 6.13

ตารางที่ 4.8 ผลการปรับปรุงเส้นทางแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 3-opt

ผลการเปรียบเทียบของการจัดเส้นทางระหว่างพนักงานขับรถกับแบบ VRP-NNH-3opt				
รายละเอียด	A)การจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH(กิโลเมตร)	B)การจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH-3opt (กิโลเมตร)	ผลต่าง A-B (กิโลเมตร)	ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทาง(ร้อยละ)
ชุดข้อมูลที่ 1	422.7	367.6	55.1	14.99
ชุดข้อมูลที่ 2	491.5	423	68.5	16.19
ชุดข้อมูลที่ 3	402.2	375.5	26.7	7.11
ผลรวม	1316.4	1166.1	150.3	12.89

จากตารางที่ 4.8 พบว่าจากชุดข้อมูลทั้ง 3 สรุปได้ว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH-3opt ได้ระยะทางรวมทั้งหมด 1,166.1 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH มีระยะทางรวมทั้งหมด 1,316.4 กิโลเมตร พบว่ามีระยะทางลดลง 150.3 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH-3opt ผ่านโปรแกรม VBA มีประสิทธิภาพช่วยลดระยะทางในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าคิดเป็นร้อยละ 12.89

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการจัดลำดับเส้นทางรถขนส่งสินค้าทางผู้วิจัยใช้วิธีการหาค่าตอบแบบฮิวริสติก ด้วยวิธี Nearest Neighbor Heuristics เพื่อใช้แก้ปัญหา TSP และปัญหา VRP อีกทั้งการปรับปรุงเส้นทางรถขนส่งสินค้าจากปัญหา VRP ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt โดยการนำมาเขียนเป็นโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) in Microsoft Excel จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า

การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบTSP-NNH จากชุดข้อมูลทั้งหมด มีระยะทางลดลงจากการจัดเส้นทางเดินรถแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาคิดเป็นร้อยละ 11.04 แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ TSP-NNH ผ่านโปรแกรม VBA ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดระยะทางจากการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าได้

การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบVRP-NNH จากชุดข้อมูลทั้งหมด มีระยะทางลดลงจากการจัดเส้นทางเดินรถแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา คิดเป็นร้อยละ 11.06 และการปรับปรุงเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบVRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt นั้นสามารถลดระยะทางจากการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบVRP-NNH คิดเป็นร้อยละ 6.13 และ 12.89 ตามลำดับ

จากการวิจัยพบว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH ไม่เหมาะกับปัญหาที่มีจุดแต่ละจุดอยู่ห่างกันเป็นระยะทางจำนวนมาก ดังชุดข้อมูลที่ 3 จึงได้มีการปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt มาใช้กับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH พบว่าจากการปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt สามารถช่วยลดระยะทางในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าได้ดีกว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ VRP-NNH ได้ สรุปได้ว่าการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการปรับปรุงเส้นทาง 3-opt มีประสิทธิภาพในการลดระยะทางได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆในการวิจัยครั้งนี้

5.2 ข้อจำกัดของการศึกษาวิจัย

เนื่องจากพิกัดที่ตั้งลูกค้า (ละติจูด, ลองจิจูด) และเส้นทางที่วิ่งในการทดลองนี้จึงได้จากประมาณผ่าน google map อาจจะไม่ใช่ว่าเส้นทางที่แท้จริงทั้งหมด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในกรณีที่มีลูกค้าเพิ่มเข้ามา จะไม่มีฐานข้อมูลของระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายดังนั้นควรมีการทำฐานข้อมูลในส่วนเพิ่มเพื่อความแม่นยำในการใช้โปรแกรม
2. ในการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุดจากการพัฒนาโปรแกรมครั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงจุดที่อยู่ในพื้นที่รถติด มีผลต่อระยะเวลาในการขนส่งสินค้าได้ ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจมีการปรับตารางเมตริกซ์ระยะทางของจุดที่ส่งสินค้าที่อยู่ในพื้นที่ที่รถติด เพื่อชดเชยในเรื่องของเวลาที่สูญเสียไประหว่างรถติดได้
3. ในการศึกษาครั้งต่อไปเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าควรมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อรองรับหากบริษัทเพิ่มคลังสินค้าในการกระจายสินค้าในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑลมากกว่า 1 แห่ง และสามารถเปลี่ยนจุดที่จะต้องส่งสินค้าเป็นที่แรก มาอยู่ในตำแหน่งแทนที่คลังสินค้าได้ หากเกิดกรณีที่ลูกค้าต้องการให้ไปส่งสินค้ายังบริษัทเป็นจุดแรก

6. เอกสารอ้างอิง

- เครือวัลย์ จำปาเงิน. 2547. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้าเพื่อการบริโภคสู่ร้านค้าปลีกในสถาบันบริการน้ำมันในจังหวัดนนทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุริม นิลแป้น. 2551. การวางแผนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พงศ์พัฒน์ โตตระกูล. 2546. วิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งเวชภัณฑ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รีณัติ อัครมณี. 2553. การพัฒนาการจัดเส้นทางเดินรถของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุทธิพงษ์ มีโย. 2549. การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช). 2553. ปริมาณการขนส่งสินค้าในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 [online]. Available: <http://www.nesdb.go.th/Default.aspx?tabid=118> [25 ตุลาคม 2554]
- Beasley, J.E. and Christofides, N., 1997, "Vehicle routing with a sparse feasibility graph", **European Journal of Operational Research**, Vol. 98, pp. 499-511.
- Crainic, T.G. and Laporte, G., 1997, "Planning models for freight transportation", **European Journal of Operational Research**, Vol.97, pp.409-438.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. – Y., and Semet, F., 2000, "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem", **Intl. Trans. In Op. Res.** 7, pp. 285-300.

Santithammarak , V., 2008, **Model of improveing the logistics processes for propane delivery**, Master of Science
Industrial Engineering Texas Tech University.