



การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ กรณีศึกษา ร้านโต้งน้ำแข็ง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี IMPROVEMENT OF VEHICLE ROUTES WITH THE ITERATED LOCAL SEARCH METHOD CASE STUDY: TONGNAMKEANG SHOP, WARINCHUMRAB DISTRICT, UBON RATCHATHANI PROVINCE

กฤต จันทรสมัย^{1*} และ สมบัติ สิ้นธุเชาวน์²

Krit Chantarasmai^{1*} and Sombat Sindhuchao²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

* Correspondent author: somsin@rocketmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีฮิวริสติกที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งซึ่งเป็นปัญหาแบบเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) โดยประยุกต์ใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search: ILS) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการเดินทางขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายจากการขนส่งสินค้าไม่พอต่อความต้องการของลูกค้าและค่าใช้จ่ายจากการขนส่งสินค้าเกินความต้องการของลูกค้าภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอนและระยะทางไป-กลับไม่เท่ากันในบางจุด กระบวนการทำงานของ ILS แบ่งออกเป็น 3 ระยะเวลา ระยะเวลาแรกเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ระยะเวลาที่สองเป็นการปรับปรุงคำตอบ และระยะสุดท้ายเป็นการรบกวนคำตอบ ในการกำหนดจำนวนสินค้าที่จะส่งให้ลูกค้าแต่ละรายนั้น ผู้วิจัยเสนอนโยบาย 3 นโยบาย คือ นโยบายที่ 1 ใช้ค่าเฉลี่ยของความต้องการสินค้าของลูกค้า นโยบายที่ 2 ใช้ค่าฐานนิยมของความต้องการสินค้าของลูกค้า และนโยบายที่ 3 ใช้ค่ามัธยฐานของความต้องการสินค้าของลูกค้า ผลการทดสอบพบว่า นโยบายที่ 1 ให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดีที่สุด สามารถลดระยะทางขนส่งจากเดิม 95.53 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 71.57 กิโลเมตรต่อวัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นพบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายรวมจากเดิม 8,425.75 บาทต่อเดือน เหลือ 6,732.46 บาทต่อเดือน ลดลง 1,693.29 บาทต่อเดือนหรือลดลงร้อยละ 20.10 ของค่าใช้จ่ายรวม

Abstract

This paper presents a heuristic for solving the vehicle routing problem which is a combinatorial optimization and NP-Hard problem. The Iterated Local Search (ILS) is applied to solve for solutions with the objective of minimizing the total cost that consists of transportation cost, shortage cost and overload cost. The demand from each

customer is uncertain and distance between some pairs of customers is asymmetric. ILS consists of three phases. The first phase is to construct an initial feasible solution. Then the solution is improved in the second phase and the final phase is to perturb the solution. To determine the product quantity delivered to each customer, three policies are proposed. The first policy uses the average demand of each customer. The second policy considers the mode of demand of each customer and the third policy uses the median of demand of each customer. The computational results show that the first policy provides the best solution. The total distance can be decreased from 95.53 kilometers per day to 71.57 kilometers per day. When considering the total cost, it can be reduced from 8,425.75 Baht per month to 6,732.47 Baht per month which is reduction of 1,693.29 Baht per month or 20.10% of the total cost.

คำสำคัญ : ฮิวริสติก, ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ, วิธีการค้นหาคำตอบ

Keywords: Heuristic, Vehicle routing problem, local search methods

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ธุรกิจต่างๆให้ความสำคัญต่อการบริการลูกค้ามากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วทำให้เกิดการขยายตัวของเครือข่ายด้านการขนส่ง แต่ละบริษัทต่างต้องการเป็นผู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุดและตรงเวลามากที่สุด ดังนั้นบริษัทจะต้องมีกลยุทธ์ในการแข่งขันที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นการจัดการด้านการขนส่ง ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่มีความสำคัญ ถ้าบริษัทไม่มีการจัดการด้านการขนส่งที่ดีพออาจทำให้เส้นทางการขนส่งสินค้ามีระยะทางไกลหรือใช้จำนวนเที่ยวขนส่งสินค้ามากเกินไปกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้ต้นทุนการขนส่งมากตามไปด้วย แต่หากบริษัทมีแบบแผนการจัดการเส้นทางการขนส่งที่ดีและมีประสิทธิภาพ จะทำให้สามารถลดระยะทางในการขนส่งและลดจำนวนรอบในการวิ่งส่งสินค้าได้ ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าลดลง และส่งผลให้บริษัทเพิ่มความสามารถในการแข่งขันได้มากขึ้น ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem :VRP) เป็นปัญหาที่สำคัญในการจัดการด้านโลจิสติกส์อย่างหนึ่งที่มุ่งเน้นการจัดเส้นทางเคลื่อนย้ายสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคให้มีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้เงื่อนไขความจุของยานพาหนะที่จำกัด ระยะเวลาที่จำกัดหรือมีเงื่อนไขอื่นๆเพื่อ

ให้มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการต่ำที่สุด

ธุรกิจจำหน่ายน้ำแข็งเป็นธุรกิจหนึ่งที่ต้องอาศัยการขนส่งในการกระจายสินค้าให้กับลูกค้า โดยทั่วไปแล้วผู้ประกอบการจะส่งน้ำแข็งให้กับลูกค้าทุกวัน วันละหลายรอบ คำนวณเชื่อเพลิงจึงเป็นต้นทุนหลักอย่างหนึ่งของธุรกิจประเภทนี้ การจัดเส้นทางขนส่งที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นสิ่งจำเป็น ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาของการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งน้ำแข็งของร้านได๋งน้ำแข็ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี และได้พัฒนาวิธีฮิวริสติกคือวิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search:ILS) เพื่อจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็งให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการจัดเส้นทางดังกล่าวจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย ส่วนหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนผลการจัดเส้นทางและสรุปผลการวิจัยจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่าน เช่นในงานวิจัยของ (1) ที่ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบในปัญหาของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) โดยใช้วิธี Iterated Local Search

(ILS) ในการหาคำตอบพบว่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจากฮิวริสติกค่อนข้างได้ผลที่น่าประทับใจ (2) ประยุกต์ใช้ ILS หาคำตอบการจัดเส้นทางยานพาหนะ (vehicle routing problem) ภายใต้งบของเวลาที่มีการกำหนดค่าโหมในกรณีที่ส่งสินค้าไม่ทันเวลาที่กำหนด โดยการใช้ไดนามิกโปรแกรมมิ่ง (Dynamic Programming) ในการประมวลผล พบว่า วิธี ILS สามารถประมวลผลคำตอบและเวลาที่ใช้อยู่ในระดับที่น่าพอใจโดยเฉพาะปัญหามหาศาล ในปีเดียวกัน (3) ได้หาคำตอบการจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้งบของเวลาโดยใช้วิธี ILS พบว่าวิธี ILS สามารถหาคำตอบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ต่อมา (4) เสนอวิธี ILS ในการแก้ปัญหา Location-Routing ที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่งเพื่อเปรียบเทียบผลกับวิธี Tabu search โดยทำการหาพื้นที่ทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะไปพร้อมกัน พบว่า คำตอบที่ได้เป็นที่น่าสนใจและได้เสนอแนะการใช้วิธี ILS ให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการทำ Local search ที่ดีด้วย (5) ประยุกต์ใช้ ILS หาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีเงื่อนไขของการปะทะกันของวัสดุอันตราย (Vehicle Routing Problem with Conflicts) โดยทำการหาคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธี Saving และทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Local search ประกอบไปด้วยวิธี Customer relocation, Route exchange และ 2-opt ก่อนที่จะเข้าการรบกวนคำตอบ ซึ่งผลออกมาสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 6.25% (6) ได้นำเสนอวิธี Customized Tabu search ที่ใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีทั้งการรับและการส่งในจุดเดียวกัน โดยเริ่มจากการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่เปรียบเทียบกับฮิวริสติกหลายวิธีพบว่า วิธี Savings สามารถสร้างคำตอบได้ดีที่สุด จากนั้นได้ทำการปรับปรุงคำตอบด้วยการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood search) ด้วยวิธี Insertion Move, 2-opt Move, Crossover Move และ Reverse Move ตามลำดับ และเมื่อได้คำตอบจากการปรับปรุงคำตอบด้วยการค้นหาคำตอบใกล้เคียงก็จะเข้าสู่วิธี Tabu search และผู้วิจัยได้นำวิธีการหาคำตอบที่ได้ไปทดสอบกับชุดปัญหา 3 ชุดพบว่า วิธีที่ใช้แก้ปัญหาสามารถสร้างเส้นทางของการขนส่งได้ดีกว่างานวิจัยอื่นเคยนำเสนอไว้หลายปัญหาด้วยกัน และ (7) ทำการ

แก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้เงื่อนไขของความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอนด้วยวิธีฮิวริสติก Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางต่ำที่สุดกระบวนการทำงานของ GRASP แบ่งเป็น 2 ระยะคือระยะแรกเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขและระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี 2-opt และ Swap operator และ Move exchanges ผลการทดสอบพบว่า วิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลในระดับที่ดีสามารถลดระยะทางลงได้ 19.25%

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของกรณีศึกษานั้น มีการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า 85 ราย มีผลิตภัณฑ์ที่ทำการขนส่งอยู่ 2 ชนิด คือน้ำแข็งหลอดและน้ำแข็งบด ซึ่งบรรจุในกระสอบที่มีขนาดเท่ากัน มีรถกระบะที่ใช้ในการขนส่ง 3 คันโดยแต่ละคันมีความจุสูงสุดที่ 150 กระสอบ ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน (Stochastic) และมีระยะทางไป-กลับที่ไม่เท่ากัน (Asymmetric) ในบางจุด ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยกำหนดการหาจุดขนส่งสินค้าด้วยเครื่อง GPS Gramin Gpsmap 60Cx และคำนวณหาระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย โดยใช้วิธีวัดระยะทางจากโปรแกรม MapSource V.10 แล้วทำการบันทึกระยะทางลงในตารางเมตรระยะทางด้วย Microsoft Excel โดยผู้วิจัยได้ทดสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยการสุ่มวัดระยะทางจริงระหว่างลูกค้าจำนวน 10 รายจากแฟ้มไมล์รถยนต์ พบว่าระยะที่ได้มีความใกล้เคียงกันโดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 7.89% ตัวอย่างเมตรระยะทางดังแสดงในตารางที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้าแต่ละรายในระยะเวลา 1 เดือน แล้วทำการบันทึกข้อมูลความต้องการของลูกค้าด้วย Microsoft Excel ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1. ตัวอย่างเมตริกระยะทางของโรงงานกรณีศึกษา

	0	1	2	3	4	...	85
0	0.00	0.39	0.82	2.02	3.03	...	6.42
1	0.39	0.00	0.48	1.54	1.79	...	7.82
2	0.82	0.48	0.00	0.83	1.15	...	8.53
3	2.02	1.54	0.83	0.00	0.69	...	8.11
4	3.03	1.79	1.15	0.69	0.00	...	8.01
:	:	:	:	:	:	0.00	:
85	2.06	1.66	1.15	1.40	0.42	...	0.00

ตารางที่ 2. ตัวอย่างข้อมูลความต้องการเฉลี่ยของลูกค้าแต่ละราย

ลูกค้า	วันส่งสินค้า						
	1	2	3	4	5	...	30
1	4	5	2	6	3	...	8
2	6	2	7	3	7	...	4
3	4	2	6	5	3	...	2
:	:	:	:	:	:	:	:
85	7	8	1	5	2	...	3

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands; VRPSD) สามารถอธิบายได้ด้วยกราฟ $G = (V, A)$ คือ เมื่อ $V = \{0, 1, \dots, N\}$ คือ เซตของโหนดหรือเมืองของลูกค้า โดยที่โหนด 0 คือ ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่ง $A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ โดยที่ A คือ เซตเส้นเชื่อมระหว่างเมือง i ไปยังเมือง j หรือที่เรียกว่า อาร์ค (Arc) กำหนดให้ M_{ij} เป็นระยะทางระหว่างเมืองของลูกค้า i ไปยังเมืองของลูกค้า j โดยที่ $M_{ij} \neq M_{ji}$ ในบางจุดซึ่งเป็นแบบไม่สมมาตร (Asymmetric) ยานพาหนะแต่ละคันมีความจุจำกัด Q โดยขนส่งสินค้าไปยังเมืองต่างๆ เพื่อให้มีระยะทางรวมต่ำสุด จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้า

แต่ละรายไม่แน่นอน ความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าจะรู้เมื่อยานพาหนะเดินทางไปส่งสินค้ายังลูกค้าแล้วเท่านั้น ปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

3.2.1 การกำหนดดัชนีและพารามิเตอร์

ดัชนี

h ลำดับของลูกค้า $h (h=1 \dots N)$

i ลำดับของลูกค้า $i (i=1 \dots N)$

j ลำดับของลูกค้า $j (j=1 \dots N)$

k จำนวนยานพาหนะขนส่งทั้งหมด $k (k=1 \dots K)$

p จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด $p (p=1 \dots P)$

พารามิเตอร์

N จำนวนลูกค้าทั้งหมด

S_k เซตของลูกค้าที่ได้รับสินค้าจากยานพาหนะ k	M_{ij} ระยะทางในการเดินทางระหว่างลูกค้า i ไปยังลูกค้า j
C_{ij} ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเดินทางขนส่งสินค้าจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j	λ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบรรทุกสินค้าไปส่งที่ไหนแล้วเกิดกรณีสินค้าไม่พอต่อความต้องการหรือสินค้าเกินความต้องการมีหน่วยเป็นบาทต่อกระสอบ
Q_k ความจุของยานพาหนะ k	
d_{ip} ความต้องการสินค้า p ของลูกค้าที่ i ซึ่งมี	
ความต้องการไม่แน่นอนในแต่ละวัน และ $d_{00} = 0$	

ตัวแปรตัดสินใจ

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ายานพาหนะขนส่ง } k \text{ ขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า } i \text{ ไปยังลูกค้า } j \\ 0 & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

q_{ip} ปริมาณสินค้า p ที่ส่งไปยังลูกค้า i และ $q_{00} = 0$

3.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min} Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ijk} + \sum_{k=1}^K \lambda_k$$

ภายใต้เงื่อนไข

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

$$\sum_{i=1}^N X_{i0k} = 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \leq Q_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (6)$$

$$\sum_{(i=0)^N} X_{ihk} - \sum_{(j=0)^N} X_{hjk} = 0 \quad \forall h \in \{1, \dots, N\}, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (7)$$

$$\lambda = \begin{cases} 5 & \text{if } \sum_{(i=0)^N} \lambda_i < 0 \\ 0.00355 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N M_{ij} X_{ijk} & \text{if } \sum_{(i=0)^N} \lambda_i > 0 \text{ for all } k \end{cases} \quad (8)$$

$$C_{ij} = 2.94 M_{ij} \quad \forall_{ij} \in \{1, \dots, N\} \quad (9)$$

$$\sum_{i \in S_k} \sum_{j \in S_k} X_{ijk} \geq 2 \quad \forall_{k \in \{1, \dots, K\}}, \forall S_k \subset N, S_k \neq N \quad (10)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall_{ij} \in \{1, \dots, N\}, \forall_k \in \{1, \dots, K\} \quad (11)$$

สมการที่ (1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ที่เกิดขึ้นจากค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปส่งสินค้าและค่าใช้จ่ายจากการส่งสินค้าที่ไม่พอต่อความต้องการและเกินความต้องการของลูกค้า สมการที่ (2) และ (3) กำหนดให้เมื่อยานพาหนะออกจากคลังสินค้าแล้วยานพาหนะจะต้องกลับมายังคลังสินค้าเสมอ สมการที่ (4) และ (5) ประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียว สมการที่ (6) กำหนดว่ายานพาหนะขนส่งสินค้าทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด สมการที่ (7) ประกันว่าเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดส่งสินค้าแล้วยานพาหนะจะต้องออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการที่ (8) เป็นการกำหนดค่าของ λ ซึ่งใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีสินค้าไม่พอต่อความต้องการ และเกินกว่าความต้องการ สมการที่ (9) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางขนส่งสินค้าจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j สมการที่ (10) ประกันว่าในแต่ละเส้นทางของยานพาหนะ k จะไม่มี ทัวรย่อย (Sub Tour) เกิดขึ้นในคำตอบ สมการที่ (11) แสดงความเชื่อมโยงกันระหว่างโหนด i และ j โดยเป็นได้ทั้งสองอย่างคือได้รับ

การเชื่อมโยงกับไม่ได้รับการเชื่อมโยง

สำหรับสมการที่ 8 อธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ จากสมการที่ 1 คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ในส่วนของการคิดค่าใช้จ่ายเมื่อยานพาหนะแต่ละคันเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าจนครบทุกรายแล้ว แต่สินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) จะมีค่าเสียโอกาสเกิดขึ้นจากกำไรต่อกระสอบคูณด้วยจำนวนกระสอบที่ไม่พอต่อความต้องการ ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีผลกำไรทั้งสิ้นกระสอบละ 5 บาท ส่วนกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) จะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นคือ ค่าน้ำมันส่วนเพิ่มที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลวันที่ 14 สิงหาคม 2553 ใน (8) กล่าวในหัวข้อการบริหารต้นทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งว่า การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจากน้ำหนักบรรทุกปกติจะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น 0.05-0.06 ลิตร/กม.สำหรับน้ำหนักทุกๆ 10 ตัน ฉะนั้นการคิดค่าใช้จ่ายต้นทุนการขนส่งในส่วนนี้ของโรงงานกรณีศึกษาสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มทุกๆ 10 ตันโดยเฉลี่ย} &= \frac{0.05 + 0.06}{2} = 0.055 \text{ ลิตร/กม.} \\ \text{หรือ} &= 0.0055 \text{ ลิตร/กม./ตัน} \\ \text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มต่อน้ำหนัก 1 กระสอบซึ่งหนัก 22 กก. หรือหนัก 0.022 ตัน} &= 0.022 \times 0.0055 = 0.000121 \text{ ลิตร/กม.} \end{aligned}$$

ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปี 5 วันที่ 14 ธันวาคม 2553 จากเว็บไซต์ ปตท. จำกัด(มหาชน) ลิตรละ 29.39 บาท ค่าใช้จ่ายส่วนที่เพิ่มจากการบรรทุกน้ำหนักคือ $0.000121 \times 29.39 = 0.00355$ บาทต่อกระสอบต่อกิโลเมตร ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วนนี้มีผลต่อต้นทุนและการจัดเส้นทางขนส่ง เพื่อป้องกันการเกิดปัญหา

ดังกล่าวผู้วิจัยจึงกำหนดนโยบายในการบรรทุกสินค้าขึ้นบนยานพาหนะ 3 นโยบายดังนี้

นโยบายที่ 1 กำหนดจากความต้องการโดยเฉลี่ย (Mean) ของลูกค้าแต่ละราย โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจำนวน 1 เดือน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เป็นจำนวนเต็ม ผู้วิจัยกำหนดการปัดจุดทศนิยม

ที่ได้จากค่าเฉลี่ยคือ ถ้าจุดทศนิยมน้อยกว่า 0.5 จะปัดลง และถ้าจุดทศนิยมมากกว่า 0.5 จะปัดขึ้น

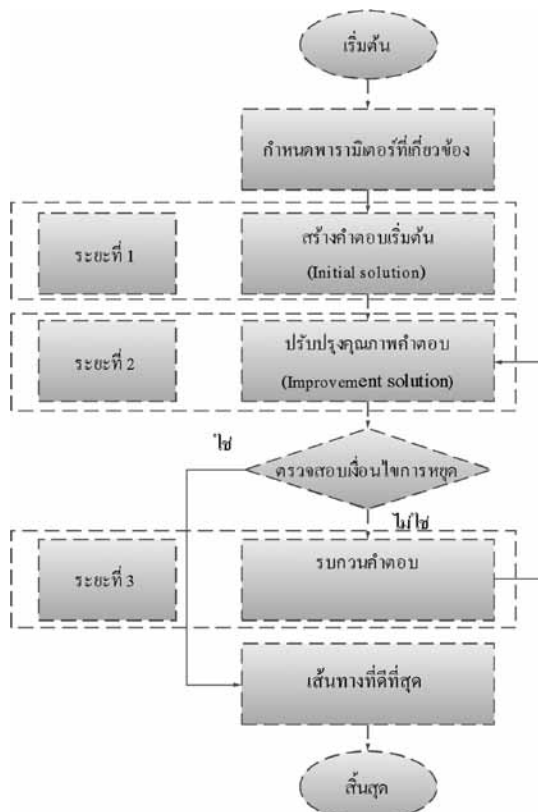
นโยบายที่ 2 กำหนดความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจากค่าฐานนิยม (Mode) โดยนำข้อมูลที่เก็บมาจำนวน 1 เดือน มาคำนวณหาจำนวนสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะ

นโยบายที่ 3 กำหนดความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจากค่ามัธยฐาน (Median) โดยนำข้อมูลที่เก็บมาจำนวน 1 เดือน มาคำนวณหาจำนวนสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะ

ความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าจะทราบได้เมื่อยานพาหนะเดินทางไปส่งสินค้ายังลูกค้าแล้วเท่านั้น จากการกำหนดจำนวนสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะโดยใช้นโยบายทั้งสามนี้ ผู้วิจัยจะนำไปเปรียบเทียบกับผลการจัดเส้นทางของโรงงานกรณีศึกษาอีกครั้ง แล้วเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นตามนโยบายทั้งสามต่อไป

3.3 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาวิธีการสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ผู้วิจัยนำเสนอวิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระยะคือ ระยะแรกเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้ด้วยวิธี Clarke-Wright Saving Heuristic สำหรับระยะที่สองนั้น คำตอบที่ได้จากระยะแรกจะถูกปรับปรุงด้วยวิธีการค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) วิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer exchange) และวิธี 2-opt ที่ทำการย้ายลูกค้าภายในเส้นทาง ส่วนในระยะที่สาม จะนำคำตอบที่ได้จากระยะที่สองมาทำการรบกวนคำตอบ (Perturbation) ตามเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกค้าทั้งหมด เพื่อให้ออกจากพื้นที่เดิมแล้วทำการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใหม่ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการวิจัยได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. ลำดับขั้นตอนการพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

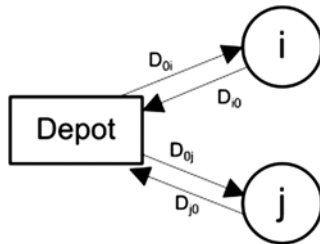
3.3.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) ที่มีค่าที่ค่อนข้างดีอยู่แล้วนั้น เมื่อนำไปปรับปรุงคำตอบ ย่อมจะทำให้เรามีโอกาสพบคำตอบที่ดีกว่าเดิม หรือใช้เวลาในการปรับปรุงคำตอบน้อยกว่าการที่ค้นหาคำตอบเริ่มต้นที่มีค่าผลลัพธ์ที่ไม่ดี ด้วยเหตุนี้ คำตอบเริ่มต้นจึงมีส่วนที่สำคัญมากในการวิจัย คือการที่ได้คำตอบเริ่มต้นที่ดีจะทำให้การปรับปรุงขั้นตอนต่อไปมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก (9) Clark and Wright saving สร้างเส้นทางเริ่มต้น

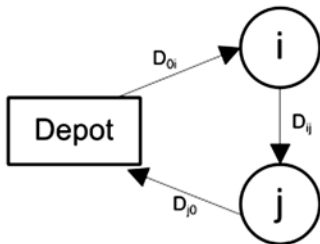
วิธี Saving เป็นวิธีฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่ถูกเสนอโดย (9) มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าความประหยัด (Saving) ของจุดส่งสินค้าแต่ละคู่ จากการรวมจุดส่งสินค้าต่างๆ เข้าไว้ในเส้นทางหลัก ดังรูปที่ 3 แทนการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้า (Depot) ไป-กลับยังทุกๆ จุดส่งสินค้า ดังรูปที่ 2 ทำให้เกิดความประหยัดในการเดินทาง จะได้ค่าความ

$$\text{ประหยัด} = (D_{oi} + D_{io} + D_{oj} + D_{jo}) - (D_{oi} + D_{jo} + D_{ij}) = D_{io} + D_{oj} - D_{ij}$$



รูปที่ 2. การจัดส่งสินค้าไป-กลับทุกๆ จุดส่งสินค้า



รูปที่ 3. การรวมจุดส่งสินค้าเข้าด้วยกัน

จะได้สมการในการคำนวณหาค่าความประหยัด
ดังนี้

$$S_{ij} = D_{io} + D_{oj} - D_{ij} \quad (12)$$

เมื่อ

S_{ij} = ค่าความประหยัดระหว่างจุดส่งสินค้า

i และ j

D_{io} = ระยะทางจากจุดส่งสินค้า i ไปยังคลัง

สินค้า

D_{oj} = ระยะทางจากคลังสินค้าไปยังจุดส่ง

สินค้า j

D_{ij} = ระยะทางจากจุดส่งสินค้า i ไปจุดส่ง

สินค้า j

2. ทำการเลือกคูโหนดของลูกค้ำที่มีค่า Saving สูงสุดและยังไม่ถูกจัดเข้าไประหว่างเส้นทาง

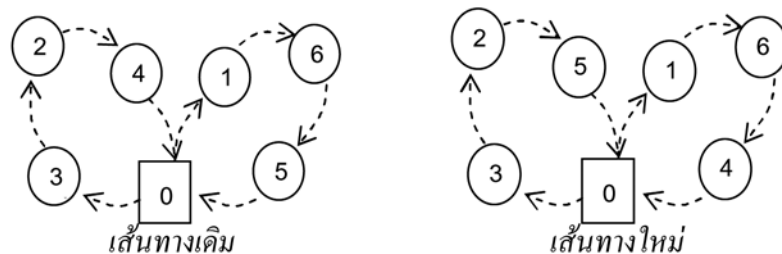
3. เพิ่มลูกค้ำลงในเส้นทางโดยตรวจสอบเงื่อนไขของปัญหาว่า การรวมลูกค้ำเข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้เกิดความสามารถของยานพาหนะที่บรรทุกหรือไม่ หากพบว่าจำนวนสินค้าที่จุดใดๆ บนเส้นทาง มีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ให้ทำการตัดลูกค้ำรายล่าสุดออกจากเส้นทางและเชื่อมเส้นทางกลับไปยังคลังสินค้าและกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งลูกค้ำทุกรายถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางการขนส่ง

3.3.2 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบเริ่มต้น

หลังจากได้เส้นทางเริ่มต้นด้วยวิธี Clark and Wright saving ในระยะที่ 2 ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงคำตอบ โดยการใช้เทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่างๆ คือ วิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้ำระหว่างเส้นทาง (Customer exchange) วิธีการย้ายลำดับลูกค้ำหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) ที่ปรับปรุงคำตอบระหว่างเส้นทางของ (7) และ วิธี 2-opt ที่ทำการสลับเปลี่ยนลูกค้ำภายในเส้นทางเดียวกันโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.2.1 วิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้ำ

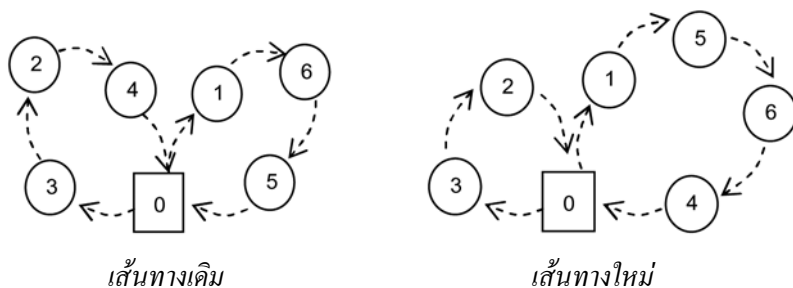
ระหว่างเส้นทาง (Customer exchange) การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีนี้จะทำการแลกเปลี่ยนลูกค้ำ 2 ราย ระหว่าง 2 เส้นทาง โดยการแลกเปลี่ยนลูกค้ำ 1 รายที่ถูกเชื่อมกันอยู่ในเส้นทางขนส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง เช่น หากเส้นทางที่ 1 มีลูกค้ำอยู่ 3 รายคือ 2,3 และ 4 มีเส้นทางขนส่งเป็น 0-3-2-4-0 โดยที่ 0 คือจุดกระจายสินค้า เส้นทางที่ 2 มีลูกค้ำอยู่ 3 รายคือ 1,5 และ 6 มีเส้นทางขนส่งเป็น 0-1-6-5-0 การใช้วิธีแลกเปลี่ยนลูกค้ำนี้จะเลือกลำดับของลูกค้ำ 1 รายในแต่ละเส้นทาง ในที่นี้เลือกลูกค้ำรายที่ 4 ของเส้นทางที่ 1 และลูกค้ำรายที่ 5 ของเส้นทางที่ 2 ในการแลกเปลี่ยน จะได้เส้นทางเดินใหม่ดังนี้ เส้นทางที่ 1 เป็น 0-3-2-5-0 เส้นทางที่ 2 เป็น 0-1-6-4-0 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer exchanges)

3.3.2.2 วิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) คือ การย้ายลูกค้า 1 ราย ที่อยู่ในเส้นทางขนส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่งด้วยวิธีการแทรก โดยที่ไม่มีการย้ายลูกค้าสลับกลับมาเส้นทางเดิม เช่น หากเส้นทางที่ 1 มีลูกค้าอยู่ 3 ราย คือ 2,3 และ 4 มีเส้นทางขนส่ง เป็น 0-3-2-4-0 โดยที่ 0 คือจุดกระจายสินค้า เส้นทางที่ 2 มีลูกค้าอยู่ 3 รายคือ

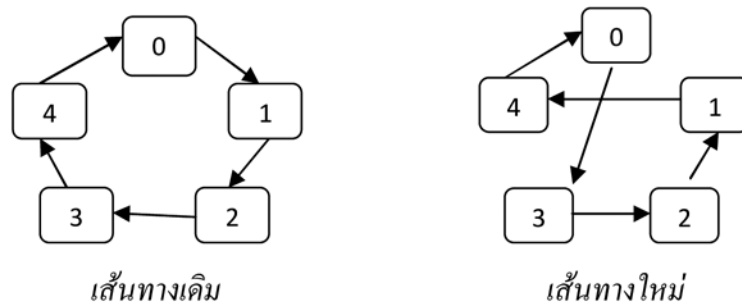
1,5 และ 6 มีเส้นทางขนส่ง เป็น 0-1-6-5-0 การใช้วิธีการย้ายลำดับลูกค้า (One move operator) นี้จะเลือกลูกค้า 1 รายจาก 1 เส้นทาง เช่น ในที่นี้เลือกลูกค้ารายที่ 4 ของเส้นทางที่ 1 แล้วนำลูกค้ารายที่ 4 ไปแทรกลงในเส้นทางที่ 2 จะได้เส้นทางเดินใหม่ดังนี้ เส้นทางที่ 1 เป็น 0-3-2-0 เส้นทางที่ 2 เป็น 0-1-5-6-4-0 แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. ตัวอย่างการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator)

3.3.2.3 วิธี 2-opt จะเป็นการย้ายลำดับของลูกค้าเฉพาะในเส้นทางขนส่งที่พิจารณาเท่านั้น โดยเริ่มจากการเลือกเส้นทางเชื่อมระหว่างลูกค้า (Arc) สองเส้นทางที่ไม่อยู่ติดกันแล้วสลับเส้นทางเชื่อมทั้งสองเส้นทางนั้น ซึ่งจะทำให้ลำดับของลูกค้าระหว่างสองจุดที่ถูกเลือกเปลี่ยนแปลงไป เช่น หากเส้น

ทางการขนส่งมีลูกค้าอยู่ 4 รายคือ 1,2,3 และ 4 มีเส้นทางขนส่ง เป็น 0-1-2-3-4-0 โดยที่ 0 คือจุดกระจายสินค้า การใช้วิธี 2-opt นี้จะเลือกคู่เส้นเชื่อมมาสองคู่เช่น ในที่นี้เลือกคู่ 0-1 และคู่ 3-4 ในการสลับ โดยหลักการมีว่า ห้ามคู่ 0-1 และ 3-4 เดินทางต่อกันอีก จะได้เส้นทางเดินใหม่ดังนี้ 0-3-2-1-4-0 แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6. ตัวอย่างการสลับตำแหน่งด้วยวิธี 2-opt

3.3.3 การรบกวนคำตอบ

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer exchange) วิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) และวิธี 2-opt ในทุกชุดคำตอบที่เป็นไปได้ในระยะ 2 แล้ว จากนั้นเส้นทางที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบก็จะถูกรบกวน (Perturbation) ตามเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกค้าทั้งหมด เพื่อให้ออกจากพื้นที่ของคำตอบเดิม แล้วทำการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ของคำตอบใหม่ ซึ่งขั้นตอนการรบกวนคำตอบสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มเลือกจำนวนลูกค้าที่จะรบกวนคำตอบ 5 10 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกค้าทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 สำหรับลูกค้าแต่ละรายที่สุ่มมาทำการแทรกลูกค้าลงในจุดต่างๆของเส้นทางด้วยวิธีการสุ่มแทรก (Arbitrary Insertion Heuristic) โดยที่จำนวนลูกค้าในแต่ละเส้นทางก่อนและหลังการสุ่มแทรกจะต้องมีจำนวนลูกค้าเท่าเดิม และไม่พิจารณาข้อกำหนดด้านระยะทาง และความจุของยานพาหนะ

ขั้นตอนที่ 3 นำคำตอบที่ได้จากการรบกวนไปทำการปรับปรุงคำตอบ โดยใช้วิธีที่อธิบายไว้ที่หัวข้อ 3.3.2 ก่อนหน้านี้

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของวิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search: ILS) ที่พัฒนาขึ้นโดยนำมาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะของกรณีศึกษาและทำการเปรียบเทียบระยะทางการเดินทางขนส่งที่ได้จากวิธี ILS กับระยะทางการเดินทางขนส่งของกรณีศึกษาโดยทำการทดสอบทั้ง 3 นโยบายการบรรจุทุกสินค้าขึ้นบนยานพาหนะ ผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนรอบการคำนวณออกเป็น 3 ระดับ คือ 1,000, 3,000 และ 5,000 รอบ และการทดสอบแต่ละรอบได้แบ่งระดับการรบกวนคำตอบออกเป็น 10 ระดับ คือ 5 10 15 20 25 30 35 40 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกค้าทั้งหมด โดยในแต่ละรอบการทดสอบของแต่ละระดับ ได้กำหนดจำนวนครั้งของการทดสอบระดับละ 5 ครั้ง เพื่อหาค่าระยะทางรวมต่ำที่สุด ซึ่งผลการจัดเส้นทางที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละนโยบายสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ผลการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดในแต่ละนโยบายที่กำหนดด้วยวิธี ILS

การบรรจุทุกสินค้าขึ้น บนยานพาหนะ	จำนวนเส้น ทางการขนส่ง	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณ สินค้า (กระสอบ)	เปอร์เซ็นต์ของ ลูกค้าที่สูญเสียการ บรรทุกสินค้า ตอบ	จำนวนรอบ ของการ ทดสอบ
นโยบายที่ 1	3	71.57	314	25	3,000
นโยบายที่ 2	3	71.96	308	5	5,000
นโยบายที่ 3	3	71.52	312	35	3,000

หลังจากที่ได้เส้นทางขนส่งตามนโยบายที่กำหนดดังตารางที่ 3 แล้วผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละนโยบาย (ประกอบด้วยค่าโหมและค่าน้ำมันเชื้อเพลิง) กับค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจริงในอดีตของกรณีศึกษาซึ่งประกอบด้วยค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว ไม่พิจารณาค่าโหมเนื่องจากไม่ทราบข้อมูลในอดีตว่าปริมาณสินค้าที่ขนไปตามวิธีปัจจุบันนั้นน้อยกว่าหรือเกินความต้องการของลูกค้าในการคำนวณค่าโหมที่เกิดจากการขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าไม่เพียงพอหรือเกิน

ความต้องการของลูกค้า นั้น ผู้วิจัยจะนำปริมาณสินค้าที่ได้จากแต่ละนโยบายมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้าจริงในอดีตเป็นระยะเวลา 1 เดือน ค่าโหมที่คำนวณได้ของแต่ละนโยบายในแต่ละวัน จะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งสินค้าไม่พอต่อความต้องการของลูกค้า (Shortage cost) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งสินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) อย่างใดอย่างหนึ่ง รายละเอียดการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ยตลอด 1 เดือน

วิธีการจัด เส้นทาง	วิธีปัจจุบัน		วิธี ILS				ค่าใช้จ่าย รวมที่ลด ลงได้ (บาทต่อ เดือน)	เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายรวมที่ลด ลงได้
	ค่าน้ำ มัน (บาทต่อ เดือน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อ เดือน)	ค่าน้ำ มัน (บาทต่อ เดือน)	ค่าโทษรวม ทุกเส้นทาง (บาทต่อ เดือน)		ค่าใช้จ่าย รวม (บาท ต่อเดือน)		
				ขาด	เกิน			
นโยบายที่ 1	8425.75	8425.75	6312.47	390	29.99	6732.46	1693.29	20.10
นโยบายที่ 2	8425.75	8425.75	6346.87	664	17.06	7027.93	1397.82	16.59
นโยบายที่ 3	8425.75	8425.75	6308.06	410	23.97	6742.04	1683.71	19.98

จากตารางที่ 4 แสดงได้ว่าการบรรจุทุกสินค้าลงยานพาหนะขนส่งตามนโยบายที่ 1 คือกำหนดความต้องการสินค้าจากค่าเฉลี่ย (Mean) มีค่าใช้จ่ายรวมในการเดินทางส่งสินค้าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบันของกรณีศึกษาที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางส่ง

สินค้าลงได้จาก 8,425.75 บาทต่อเดือน เป็น 6,732.46 บาทต่อเดือน ซึ่งลดลง 1,693.29 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 20.10 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ไม่นำค่าโหมมาพิจารณา วิธีการจัดเส้นทางตามนโยบายที่ 1 จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 2113.28 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็น 25.08%

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search: ILS) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งของกรณีศึกษา ร้านได้น้ำแข็ง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางส่งสินค้าต่ำที่สุด ซึ่งมีลูกค้าที่จะต้องจัดส่งสินค้าทั้งหมด 85 ราย ยานพาหนะขนส่งสินค้ามี 3 คัน แต่ละคันมีความจุ 150 กระสอบ และมีระยะทางไป-กลับไม่เท่ากันในบางจุด (Asymmetric) กระบวนการทำงานของวิธี ILS แบ่งเป็น 3 ระยะคือ ระยะแรกเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้ด้วยวิธี Clarke-Wright Saving Heuristic สำหรับระยะที่สองนั้น คำตอบที่ได้จากระยะแรกจะถูกปรับปรุงด้วยวิธีการค้นหาคำตอบ โดยใช้วิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) วิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer exchange) และวิธี 2-opt ที่ทำการย้ายลูกค้าภายในเส้นทาง และระยะที่ 3 จะนำคำตอบที่ได้จากระยะที่สองมาทำการรบกวนคำตอบ (Perturbation) ตามเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลูกค้าทั้งหมด เพื่อให้ออกจากพื้นที่เดิมแล้วทำการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใหม่ ผลการทดสอบพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจากค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปส่งสินค้าและค่าใช้จ่ายจากการส่งสินค้าที่ไม่พอต่อความต้องการและเกินความต้องการของลูกค้า ในนโยบายที่ 1 คือการกำหนดจากความต้องการโดยเฉลี่ย (Mean) ของลูกค้าแต่ละราย สามารถลดค่าใช้จ่ายรวมได้มากกว่า นโยบายที่ 2 ที่กำหนดความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจากค่าฐานนิยม (Mode) และนโยบายที่ 3 ที่กำหนดความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจากค่ามัธยฐาน (Median)

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Thomas Stutzle. "Analyzing the Run-time Behaviour of Iterated Local Search for the TSP", Metaheuristics International Conference. 19-22; July, 1999.
- (2) Toshihide Ibaraki. "An iterated local search algorithm for the vehicle routing problem with convex time penalty functions", Discrete Applied Mathematics 156: 2050–2069, 2008.
- (3) Hideki Hashimoto. "An iterated local search algorithm for the time-dependent vehicle routing problem with time windows", Discrete Optimization. 5: 434–456, 2008.
- (4) Houda Derbel. "An Iterated Local Search for Solving A Location-Routing Problem", Electronic Notes in Discrete Mathematics. 36: 875–882, 2010.
- (5) Khaoula Hamdi. "AN ITERATED LOCAL SEARCH FOR THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH CONFLICTS", 8th International Conference of Modeling and Simulation. Hammamet Tunisia. 10-12; May, 2010
- (6) Thanchuda Phannikul. A HEURISTIC ALGORITHM FOR SOLVING THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SIMULTANEOUS PICK-UP AND DELIVERY. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchatanee university; 2551. Thai.
- (7) Nirun Sommut. GRASP Heuristic for vehicle routing problem case study: Thanthip factory of drinking water. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchatanee university; 2551. Thai.
- (8) Thailand Transport Portal. The management of cost for Increase the efficiency of transport, <http://www1.port.co.th/knowledge/logistics/logistics2.html>. September, 2547.
- (9) Clark, G. and Wright, J.W. "Scheduling of vehicle from the central depot to a number of delivery points", Operations Research. 12 : 568-581, 1967.