การประยุกต์ใช้วิธีการแบบมิลค์รันสำหรับการขนส่งขาเข้าวัตถุดิบประเภทโลหะปั๊มขึ้นรูปของโรงงานผลิตอุปกรณ์จ่ายไฟ

พงษ์ชัย อธิคมรัตนกุล[1*] และ อรทัย โพธิ์ชัย[2]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

** Corresponding Author: pongchai.ath@kmutt.ac.th*
[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม
[2] นักศึกษา บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 19 มกราคม 2564
แก้ไข : 14 สิงหาคม 2564
ตอบรับ : 27 สิงหาคม 2564
DOI : 10.14456/kmuttrd.2021.13

คำสำคัญ :
การขนส่งแบบมิลค์รัน / วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมด / ระบบมด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการขนส่งแบบมิลค์รันสำหรับการขนส่งขาเข้าวัตถุดิบประเภทโลหะปั๊มขึ้นรูปในโรงงานประกอบผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จ่ายไฟ เนื่องจากการขนส่งในปัจจุบันมีการใช้รถขนส่งที่ไม่เต็มคันรถหรือต่ำกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งอย่างมาก ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งมีมูลค่าสูง ทั้งนี้ ได้นำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยนำข้อมูลการขนส่งจากผู้ผลิตวัตถุดิบจำนวน 7 รายมาทำการทดลอง จากการศึกษา พบว่าการขนส่งแบบมิลค์รันโดยใช้ฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นทำให้จำนวนรถที่ต้องใช้เฉลี่ยต่อวันลดลงจาก 18 คัน เหลือ 4 คัน (ลดลง 78%) จำนวนเที่ยวรถลดลงจาก 1,059 เที่ยว เหลือ 341 เที่ยว (ลดลง 68%) และระยะทางรวมลดลงจาก 59,804 กิโลเมตร เหลือ 45,622 กิโลเมตร (ลดลง 24%)

Application of Milk-Run Method for Inbound Transportation of Stamped-Metal Raw Material for Power Supply Manufacturing Plants

Pongchai Athikomrattanakul[1*] and Orathai Phochai[2]
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thung Khru, Bangkok 10140

** Corresponding Author: pongchai.ath@kmutt.ac.th*
[1] Assistant Professor, Graduate School of Management and Innovation.
[2] Student, Graduate School of Management and Innovation.

Article Info

Article History:
Received: January 19, 2021
Revised: August 14, 2021
Accepted: August 27, 2021
DOI : 10.14456/kmuttrd.2021.13

Keywords:
Milk Run / Ant Colony Optimization / Ant System

Abstract

This research studied the application of the milk-run method for inbound transportation of stamped-metal raw material for power supply manufacture. The research was indeed conducted to mitigate the problem of high transportation cost due to excessively low raw material carrying load on trucks. Ant colony optimization method was applied to identify the shortest transportation routes; input data were from the transportation records of 7 suppliers. Milk-run transportation employing the developed heuristics could decrease (1) the average number of trucks per day from 18 to 4 (78% reduction); (2) the number of transportation trips from 1,059 to 341 (68% reduction) and (3) the total transportation distance from 59,804 to 45,622 kilometers (24% reduction).

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจส่วนใหญ่ได้หันมาให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนการขนส่งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการขนส่งเป็นกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์ที่มีสัดส่วนต้นทุนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์อื่นๆ จากการสำรวจต้นทุนโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่า ต้นทุนการขนส่งมีสัดส่วนที่สูงกว่าต้นทุนการคลังสินค้า ต้นทุนการจัดเก็บสินค้า และต้นทุนการบริหารจัดการ [1] หากบริษัทสามารถลดระยะทางในการขนส่งหรือสามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งลงได้ ก็จะนำไปสู่การทำงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถลดต้นทุนและระยะเวลาในการขนส่งสินค้าลงได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้การขนส่งแบบมิลค์รันในการขนส่งขาเข้าวัตถุดิบประเภทโลหะปั๊มขึ้นรูปที่ใช้ในโรงงานประกอบผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จ่ายไฟ โดยนำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ในกรณีศึกษานี้ พบว่า ผู้ผลิตวัตถุดิบแต่ละรายจะดำเนินการขนส่งวัตถุดิบมาที่โรงงานของผู้ซื้อ โดยที่การขนส่งในแต่ละเที่ยวเป็นการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ (less than truck load) ซึ่งถือว่าเป็นการใช้รถขนส่งได้ต่ำกว่าประสิทธิภาพมาก ทั้งนี้ผู้ผลิตแต่ละรายได้นำเอาต้นทุนค่าขนส่งรวมเข้าไปในราคาขายวัตถุดิบ ทำให้ราคาวัตถุดิบมีมูลค่าสูงกว่าความเป็นจริง การขนส่งแบบมิลค์รันจะดำเนินการโดยโรงงานประกอบผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จ่ายไฟแทนผู้ผลิตวัตถุดิบ จึงสามารถกำหนดให้การขนส่งเป็นแบบเต็มคันรถได้ (full truck load) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้มองเห็นโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่ง โดยเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผู้ผลิตวัตถุดิบแต่ละราย พบว่ามีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเส้นทางเดียวกันหรือใกล้กัน ผู้วิจัยจึงมองเห็นประโยชน์จากที่ตั้งของผู้ผลิตวัตถุดิบที่อยู่ใกล้กัน จึงได้นำเสนอการขนส่งขาเข้ารูปแบบใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง และลดต้นทุนค่าขนส่งที่เกิดขึ้น โดยนำหลักการขนส่งแบบมิลค์รันและใช้วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

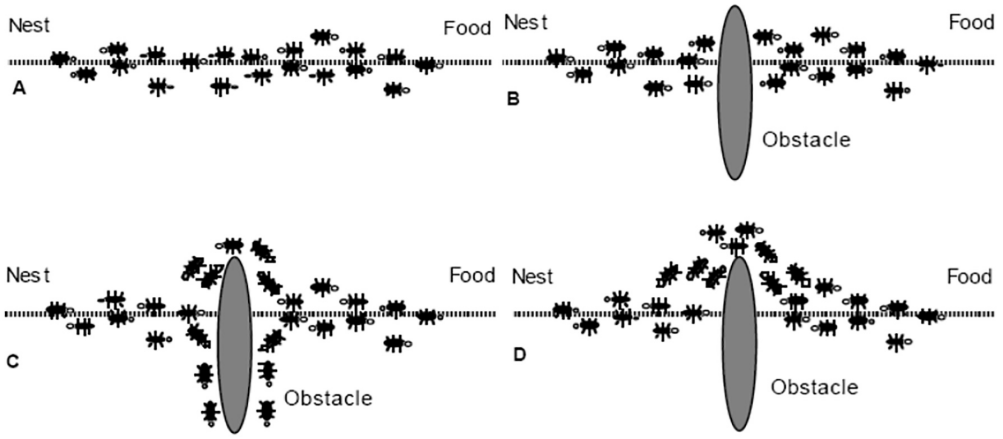
2.1 การขนส่งแบบมิลค์รัน

การขนส่งแบบมิลค์รันมีจุดเริ่มต้นในประเทศแถบตะวันตกในฟาร์มส่งนมสด ซึ่งจะมีรถรับส่งนมวัววิ่งส่งนมวัวในตอนเช้าโดยบรรทุกขวดนมที่บรรจุนมแล้ววิ่งรถไปตามบ้านของลูกค้าที่มีการนำขวดนมเปล่ามาวางไว้หน้าบ้านตามจำนวนที่ต้องการ เพื่อเป็นสัญลักษณ์ว่าบ้านหลังนี้ต้องการรับนมจำนวนกี่ขวด เมื่อวางนมขวดเต็มไว้ที่หน้าบ้านลูกค้าแล้ว จึงทำการเก็บขวดนมเปล่ากลับไป โดยทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนบ้านของลูกค้า [2] Sadjagi [3] กล่าวว่า หลักการของการขนส่งแบบมิลค์รัน คือ การรวบรวมวัตถุดิบหรือสินค้าแล้วใช้รถขนส่งบรรทุกวัตถุดิบหรือสินค้าส่งไปให้ลูกค้าในตำแหน่งที่ตั้งต่างๆ ตามเส้นทางที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วจนครบตามปริมาณความต้องการของลูกค้าในแต่ละวัน ยกตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมรถยนต์ได้กำหนดเส้นทางให้รถขนส่งวิ่งรถไปรับวัตถุดิบจากผู้ผลิตหลายๆ เจ้ารวมกันตามเวลาที่กำหนด แล้วนำกลับมาที่โรงงานประกอบรถยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการขนส่งแบบมิลค์รันคือ จำนวนรถขนส่งลดลง ระยะรวมในการขนส่งลดลง มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง และต้นทุนค่าขนส่งลดลง [4]

2.2 วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมด

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดเป็นวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกส์ (metaheuristics) ที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (combinatorial optimization) กันอย่างแพร่หลาย [5-6] โดยมีการนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในต้นทศวรรษที่ 1990 โดย Marco Dorigo และคณะ วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดถูกพัฒนาขึ้นจากการสังเกตพฤติกรรมในการค้นหาอาหารของอาณานิคมมด โดยพฤติกรรมของมดสามารถอธิบายได้ดังนี้ มดเป็นแมลงที่มีการอยู่รวมกันเป็นสังคมในลักษณะอาณานิคม โดยมีเป้าหมายอยู่ที่การอยู่รอดของอาณานิคมมากกว่าที่จะมุ่งเน้นไปที่การอยู่รอดของตัวเอง [5] มดสามารถที่จะหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากรังไปยังแหล่งอาหารได้โดยที่มองไม่เห็น [7] ในการหาอาหารมดจะใช้การติดต่อสื่อสารทางอ้อมระหว่างกัน โดยใช้วิธีปล่อยสารฟีโรโมนในเส้นทางที่เดินผ่าน ซึ่งพฤติกรรมนี้ทำให้มดสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังและแหล่งอาหารได้ [5-7] นอกจากนี้พวกมันยังสามารถปรับตัวไปตามสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่นการหาเส้นทางใหม่ที่สั้นที่สุดเมื่อเส้นทางเดิมไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางเข้ามากีดขวางในเส้นทางเดิน เมื่อพิจารณาจากรูปที่

1A จะเห็นว่ามดเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากรังไปยังแหล่งอาหาร วิธีการหลักของมดในการสร้างและรักษาเส้นทางได้แก่ร่องรอยของฟีโรโมน มดจะปล่อยสารฟีโรโมนปริมาณที่แน่นอนเอาไว้ในขณะที่เดิน มดแต่ละตัวมีความน่าจะเป็นที่จะเดินไปในเส้นทางที่มีฟีโรโมนในปริมาณที่มากกว่าเส้นทางที่มีปริมาณฟีโรโมนน้อยกว่า สารฟีโรโมนนี้จะเจือจางลงไปเรื่อยๆ หากเส้นทางนั้นไม่ได้มีการใช้งาน ส่วนในเส้นทางที่ใช้งานมดทุกตัวจะปล่อยฟีโรโมนออกมาอย่างต่อเนื่องทำให้ฟีโรโมนมีความเข้มข้นสูงกว่าทางอื่นๆ พฤติกรรมพื้นฐานของมดจริงสามารถใช้ในการอธิบายว่าพวกมันสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเชื่อมต่อเส้นทางที่ขาดเมื่อมีสิ่งกีดขวางเข้ามาปิดเส้นทางเดินดังรูปที่ 1B เมื่อมีสิ่งกีดขวางปรากฏขึ้น มดซึ่งอยู่บริเวณข้างหน้าสิ่งกีดขวางจะไม่สามารถเดินตามร่องรอยฟีโรโมนได้ พวกมันจะต้องตัดสินใจระหว่างเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา โดยมดจำนวนครึ่งหนึ่งจะเดินไปทางขวา อีกครึ่งหนึ่งจะเดินไปทางซ้าย อีกด้านหนึ่งของสิ่งกีดขวางก็จะเป็นในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 1C มดที่เลือกเส้นทางรอบสิ่งกีดขวางที่สั้นกว่าจะสามารถเดินไปเชื่อมกับร่องรอยฟีโรโมนที่ขาดตอนได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับด้านที่ยาวกว่า ดังนั้นในเส้นทางที่สั้นกว่าจะได้รับปริมาณฟีโรโมนต่อหน่วยเวลามากกว่า ทำให้ปริมาณฟีโรโมนสะสมมีมากกว่าในเส้นทางที่ยาวกว่า ในลำดับต่อมามดจำนวนมากจะเลือกเดินในเส้นทางที่สั้นกว่า ในที่สุดมดทั้งหมดก็จะเลือกเดินในเส้นทางที่สั้นกว่า ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการตอบสนองเชิงบวก



รูปที่ 1 แสดงการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังและแหล่งอาหารของกลุ่มมด [7]

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดจะอาศัยการสร้างอาณานิคมมดจำลองขึ้นมา [5, 7-9] โดยมีการนำพฤติกรรมของมดจริงใน 3 เรื่องมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ ซึ่งพฤติกรรมของมดจริงที่นำมาประยุกต์ใช้มีดังต่อไปนี้ 1) มดจะสื่อสารระหว่างกันโดยใช้สารฟีโรโมน 2) มดจะเลือกเดินในเส้นทางที่มีปริมาณสารฟีโรโมนสูง 3) เส้นทางที่มีระยะทางสั้นกว่าจะมีปริมาณการเพิ่มของสารฟีโรโมนสูงกว่า

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมี 2 รูปแบบ คือ ระบบมด (ant system) และ ระบบอาณานิคมมด (ant colony system) ซึ่งระบบมดเป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดเมื่อจำนวนของตำแหน่งของอาหารมีไม่เกิน 30 ตำแหน่ง (รวมกับรังมด) และระบบอาณานิคมมดเป็นอัลกอริทึมที่พัฒนามาจากระบบมด เนื่องจากจำนวนของตำแหน่งของอาหารที่มีมากขึ้นจึงทำให้การคิดค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น [7]

2.3 ระบบมด (ant system)

งานวิจัยนี้ได้เลือกเอาวิธีการคำนวณแบบระบบมดมาใช้ในการคำนวณ โดยระบบมดเป็นวิธีการคำนวณรูปแบบแรกสุดของวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดที่

ได้มีการนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ระบบมดตั้งอยู่บนพื้นฐานที่สำคัญ 2 อย่างคือ กฎความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทาง และกฎการปรับสารฟีโรโมน วิธีการคำนวณแบบระบบมดมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้ [8] ในการคำนวณมดจำลองจะเปรียบได้กับพนักงานขายที่จะต้องมีการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ มดจำลองจะเลือกเมืองที่จะเดินทางโดยใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นซึ่งอยู่ในรูปของการสะสมร่องรอยฟีโรโมนในเส้นทางต่างๆ และการมองเห็นในเส้นทางต่างๆ ซึ่งการมองเห็นจะเป็นฟังก์ชั่นในรูปของระยะทางในเส้นทางต่างๆ ในเบื้องต้นมดจำลองจำนวน m ตัวจะถูกวางตามเมืองต่างๆ แบบสุ่ม ในแต่ละช่วงเวลามดจะเคลื่อนที่ไปยังเมืองใหม่โดยใช้กฎความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทาง โดยความน่าจะเป็นที่มดตัวที่ k ซึ่งปัจจุบันอยู่ที่เมือง i จะเลือกเดินทางไปยังเมือง j ในรอบการเดินที่ t แสดงได้ดังสมการที่ 1

$$p_{ij}^{k}(t)=\frac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha}\cdot[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l\in N_i^k}[\tau_{il}(t)]^{\alpha}\cdot[\eta_{il}]^{\beta}} \qquad \text{if } j\in N_i^k \tag{1}$$

โดยที่ τ_{ij} คือร่องรอยฟีโรโมนในเส้นทางจากเมือง i ไปยังเมือง j, η_{ij} คือความสามารถในการมองเห็น (visibility) จากเมือง i ไปยังเมือง j, α คือค่าคงที่หรือค่าสัมประสิทธิ์ของฟีโรโมน (coefficient) ซึ่งเป็นการถ่วงน้ำหนักให้กับเทอม τ_{ij}, β คือค่าคงที่หรือค่าสัมประสิทธิ์ของการมองเห็น (visibility coefficient) ซึ่งเป็นการถ่วงน้ำหนักให้กับเทอม η_{ij}, m คือจำนวนมด, n คือจำนวนเมือง, l คือเมืองที่มดตัวที่ k ยังไม่เคยเดินทางผ่าน, N_i^k คือคำตอบข้างเคียงที่เป็นไปได้ของมดตัวที่ k ซึ่งก็คือกลุ่มของเมืองที่มดตัวที่ k ยังไม่เคยเดินทางผ่าน ทั้งนี้ความสามารถในการมองเห็นจากเมือง i ไปยังเมือง j (η_{ij}) มีค่าดังสมการที่ 2

$$\eta_{ij}=\frac{1}{d_{ij}} \tag{2}$$

เมื่อ d_{ij} คือระยะทาง (distance) จากเมือง i ไปยังเมือง j

บทบาทของพารามิเตอร์ α และ β มีดังต่อไปนี้ ถ้า α= 0 มดจะเลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุด ถ้า β = 0 จะมีเฉพาะร่องรอยของฟีโรโมนเท่านั้นที่มีผลต่อการเลือกเส้นทาง ซึ่งวิธีนี้จะนำไปสู่สภาวะหยุดนิ่งอย่างรวดเร็ว โดยที่สภาวะหยุดนิ่งจะเป็นสถานการณ์ที่มดทุกตัวจะเดินในเส้นทางเดิมตลอด ซึ่งโดยทั่วไปอาจจะทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องมีทั้งส่วนของร่องรอยของฟีโรโมนและส่วนของการมองเห็นอยู่ร่วมกัน

ในส่วนของการปรับสารฟีโรโมนซึ่งเป็นลักษณะหลักนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ในแต่ละรอบการเดินทางของมดทั้งหมด m ตัว มดทั้งหมดจะต้องมีการปรับสารฟีโรโมนในเส้นทางที่เดินทางผ่านดังสมการที่ 3

$$\tau_{ij}(t+1)=(1-\rho)\cdot\tau_{ij}(t)+\sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_{ij}^{k}(t) \tag{3}$$

เมื่อ ρ คืออัตราการระเหยของสารฟีโรโมน, $\Delta\tau_{ij}^{k}(t)$ คือปริมาณสารฟีโรโมนที่มดตัวที่ k วางในเส้นทางระหว่างเมือง i และ j โดยปริมาณสารฟีโรโมนที่มดตัวที่ k วางในเส้นทางระหว่างเมือง i และ j มีค่าดังสมการที่ 4

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t)=\begin{cases} Q/L_k & \text{if ant } k \text{ used edge } (i,j) \text{ in its tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

เมื่อ Q คือค่าคงที่, L_k คือระยะทางที่มดตัวที่ k เดินทาง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมีดังต่อไปนี้ Dorico และ Gambardella [7] ได้นำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ และผู้วิจัยได้นำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดไปทำการทดลองในการหาคำตอบเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ซึ่งผู้วิจัยท่านอื่นๆ ได้ทำการวิจัยเอาไว้ โดยเอาไปทดลองเปรียบเทียบกับวิธี simulated annealing, neural network, self organizing map, genetics algorithm, evolutionary programming, และวิธีผสมระหว่างวิธี simulated annealing และวิธี genetics algorithm จากการทดลองพบว่ามดจำลองสามารถสร้างเส้นทางคำตอบให้ผลเป็นที่น่าพอใจทั้งในกรณีปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตรและอสมมาตร โดยมีกลไกในการหาคำตอบที่สำคัญคือ การใช้การสะสมของข้อมูลในรูปแบบของร่องรอยฟีโรโมนที่มดจำลองปล่อยทิ้งไว้ในเส้นทางในขณะที่เดินทางผ่าน Cheng และ Mao [10] ทำการวิจัยปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีขอบเขตของเวลา (traveling salesman problem with time windows, TSPTW) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหาต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุดภายใต้ขอบเขตเวลาที่ระบุเอาไว้ โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการ modified ant algorithm ที่มีชื่อว่า ACS-TSPTW ขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา TSPTW โดยวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้มีพื้นฐานมาจากวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมด ผลการทดลองพบว่าวิธีการ ACS-TSPTW มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา TSPTW ได้ดีกว่าวิธีการ ACS-Time และวิธีการ ACO แบบอื่นๆ Ma และ Sun [11] ศึกษาการเลือกเส้นทางของระบบมิลค์รัน โดยพิจารณาการทำงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุด (milk run vehicle routing problem (MRVRP) with fastest completion time) ด้วยการนำเอาระบบมดมาพัฒนาโดยการสร้างสมการ matrix เพื่อใช้ในการปรับปรุงฟีโรโมนในเส้นทางย่อย (local pheromone update) เรียกว่า mutation ACO โดยในงานวิจัยได้ทดลองกับระบบการจัดการส่งสินค้าแบบเร่งด่วน (emergency supplies distribution) หลังจากที่มีการเกิดแผ่นดินไหวที่เมือง Wenchuan ในประเทศจีน โดยเมืองที่ต้องไปส่งสินค้ามีอยู่ 20 เมือง ใช้เฮลิคอร์ปเตอร์ 3 ลำในการลำเลียงสินค้า ผลการทดลองที่ได้คือ เมื่อนำ mutation ACO มาใช้กับ MRVRP ที่พิจารณาการทำงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุด จะได้เส้นทางในการลำเลียงที่สั้นกว่า แต่ใช้เวลาในการทำงานนานกว่าวิธีการ MRVRP

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงานในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงานในปัจจุบัน ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมประกอบไปด้วย

(1) ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานและผู้ผลิต

(2) ข้อมูลรายละเอียดรถขนส่งที่ผู้ผลิตใช้

(3) ข้อมูลการขนส่งจากผู้ผลิตมายังโรงงานตั้งแต่เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2558

(4) ผลการดำเนินงานการขนส่งในปัจจุบันในประเด็นดังต่อไปนี้

ก. จำนวนรถขนส่งประเภทรถ 4 ล้อ และ 6 ล้อที่ใช้ในแต่ละวัน

ข. จำนวนเที่ยวรถขนส่งประเภทรถ 4 ล้อ และ 6 ล้อที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

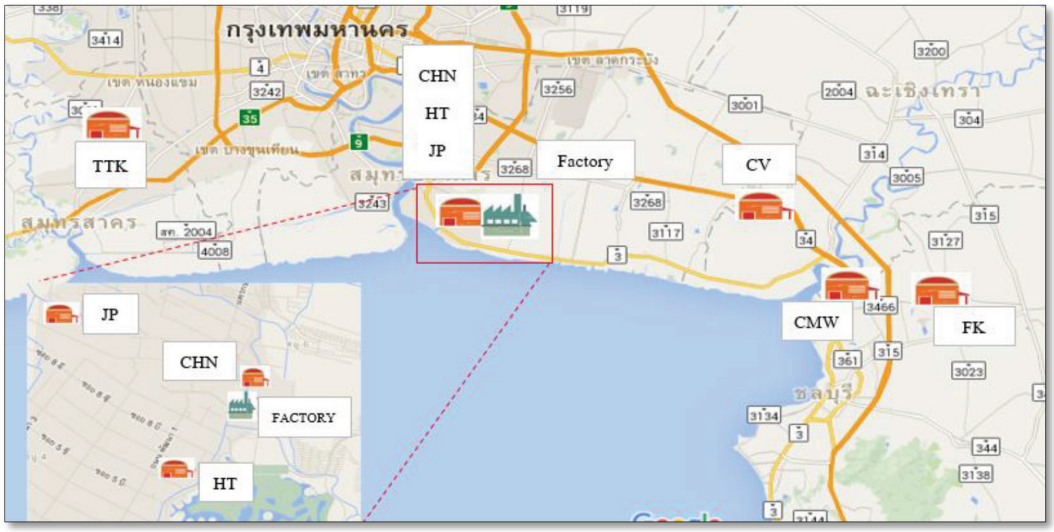
ค. ระยะทางที่รถขนส่งประเภทรถ 4 ล้อ และ 6 ล้อวิ่งในแต่ละวัน

ง. ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยวของรถขนส่งประเภทรถ 4 ล้อ และ 6 ล้อที่วิ่งในแต่ละวัน

จ. ระยะทางเฉลี่ยต่อวันของรถขนส่งประเภทรถ 4 ล้อ และ 6 ล้อ

3.1.1 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้ผลิต

ในกรณีศึกษานี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะผู้ผลิตโลหะขึ้นรูปจำนวน 7 ราย โดยมีตำแหน่งที่ตั้งดังรูปที่ 2 โดยมีระยะทางระหว่างผู้ผลิตวัตถุดิบแต่ราย และโรงงานตามระยะทางจริง ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานผู้ผลิตวัตถุดิบทั้ง 7 ราย

ตารางที่ 1 ตารางระยะทางระหว่างผู้ผลิตวัตถุดิบและโรงงาน

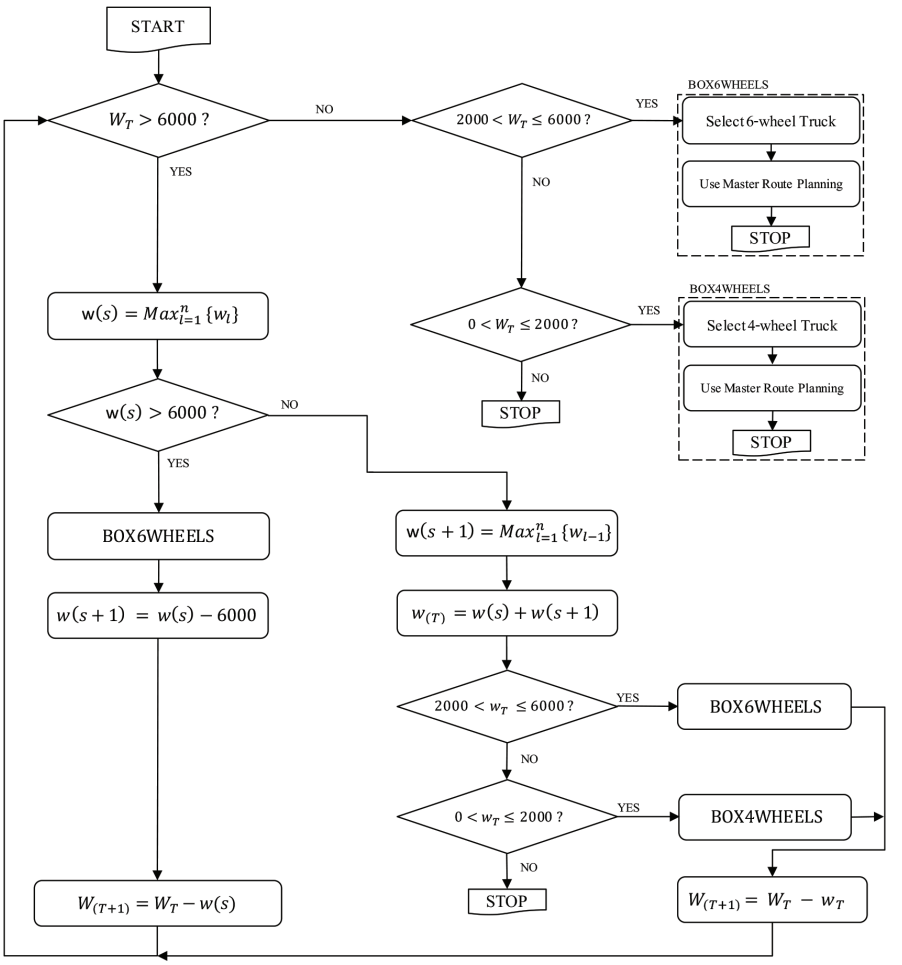
ต้นทาง	ระยะต้นทางถึงปลายทาง (กิโลเมตร)							
	โรงงาน	HT	CHN	FK	CV	CMW	TTK	JP
โรงงาน	0	2.1	0.1	66.2	40.1	52.2	54.7	3.5
HT	2.1	0	2	67.9	41.2	59.1	54.5	3.1
CHN	0.1	2	0	60.3	46.4	52.4	54.4	3.3
FK	66.2	67.9	60.3	0	29.1	9.9	107	59.9
CV	40.1	41.2	46.4	29.1	0	19.5	80.3	41.3
CMW	52.2	59.1	52.4	9.9	19.5	0	98.7	52
TTK	54.7	54.5	54.4	107	80.3	98.7	0	56.5
JP	3.5	3.1	3.3	59.9	41.3	52	56.5	0

3.2 คำนวณผลการดำเนินงานกรณีขนส่งแบบมิลค์รัน

ในการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์ที่พัฒนาด้วยระบบมดร่วมกับการขนส่งแบบมิลค์รันมีอัลกอริธึมหลัก 2 ส่วนคือ 1) ส่วนของการคำนวณน้ำหนัก (volume calculation) เพื่อให้เป็นไปตามกระบวนการทำงานของมิลค์รัน โดยวัตถุประสงค์คือการขนส่งให้เต็มคันรถ 2) ส่วนของการเลือกเส้นทาง (master route planning) โดยการเลือกเส้นทางจะเลือกตามฮิวริสติกส์ที่พัฒนาด้วยระบบมด เพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุด

ในการเริ่มต้นการคำนวณจะเริ่มจากการเลือกน้ำหนัก โดยจะเลือกจุด (ผู้ผลิต) ที่มีน้ำหนักมากที่สุดก่อน จากนั้นเลือกจุดถัดไปที่มีน้ำหนักรองจากจุดก่อนหน้า จนกว่าจะเต็มความจุของรถหรือครบทุกจุดก่อนที่จะเต็มความจุรถ โดยเลือกใช้รถ 6 ล้อก่อน

เนื่องจากในการขนส่งในปัจจุบันมีการใช้งานทั้งรถ 6 และ 4 ล้อ จึงเลือกรถที่มีความจุมากกว่า และส่วนของปริมาตรของกล่องที่บรรจุวัตถุดิบที่คาดว่าจะมีผลต่อพื้นที่ในการบรรทุกของรถขนส่ง ผู้วิจัยพบว่าในกรณีศึกษานี้ ปริมาตรของกล่องที่บรรจุวัตถุดิบไม่มีผลต่อพื้นที่ในการบรรทุกของรถขนส่ง เนื่องจากวัตถุดิบประเภทโลหะมีน้ำหนักมาก เมื่อจัดวางกล่องที่บรรจุวัตถุดิบลงบนรถขนส่ง จึงมีพื้นที่เหลือภายในรถขนส่ง แต่น้ำหนักรวมของวัตถุดิบนั้นเกือบจะเต็มความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่ง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงพิจารณาเฉพาะน้ำหนักของวัตถุดิบ โดยไม่ต้องพิจารณาปริมาตรของกล่องที่บรรจุวัตถุดิบ โดยการคำนวณน้ำหนักเพื่อเลือกชนิดรถขนส่งในแต่ละรอบที่เรียกงานแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การคำนวณน้ำหนักเพื่อเลือกชนิดรถขนส่งในแต่ละรอบที่เรียกงาน

พารามิเตอร์ของฮิวริสติกส์ในส่วนของการคำนวณน้ำหนักประกอบไปด้วย

W_T = ผลรวมของน้ำหนักในแต่ละช่วงเวลาที่เรียกงาน หรือเรียกว่า น้ำหนักรวมสายหลัก

w_T = ผลรวมของน้ำหนักเมื่อน้ำหนักรวมสายหลักมากกว่า 6,000 กิโลกรัม หรือเรียกว่าน้ำหนักรวมสายรอง

$w(s)$ = น้ำหนักจากตำแหน่งของผู้ผลิตที่เลือก

S = ผลรวมของน้ำหนักในแต่ละช่วงเวลาที่เรียกงาน

$\{w_l\}$ = เซตของน้ำหนักจากแต่ละตำแหน่งของผู้ผลิตในแต่ละช่วงเวลาที่เรียกงาน

l = จำนวนตำแหน่งของผู้ผลิต ตั้งแต่ 1 ถึง n=7

ขั้นตอนการคำนวณน้ำหนักเพื่อเลือกชนิดรถขนส่งในแต่ละรอบที่เรียกงานมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณน้ำหนักรวม (W_T) ซึ่งเป็นผลรวมของน้ำหนักในแต่ละช่วงเวลาที่เรียกงาน $W_T = \sum_{l=1}^{n} w_l$

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบน้ำหนักรวมสายหลัก (W_T) กับความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งแต่ละชนิดเพื่อเลือกชนิดของรถขนส่ง

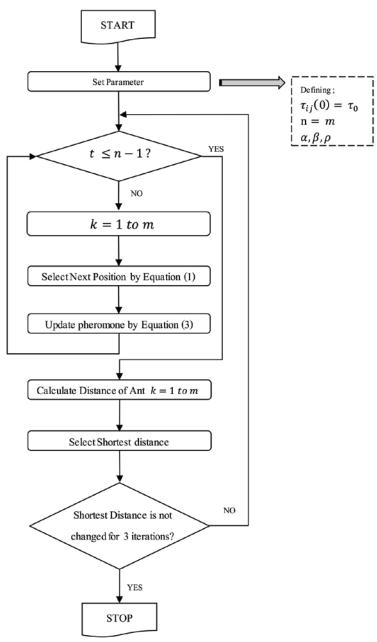
ขั้นตอนที่ 2.1 $0 < W_T \leq 2{,}000$ ถ้าผลรวมของน้ำหนักสายหลักมากกว่า 0 กิโลกรัม แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 กิโลกรัม ให้เลือกใช้รถขนส่ง 4 ล้อ แล้วจึงเดินทางตามเส้นทางที่ master route planning กำหนด

ขั้นตอนที่ 2.2 $2{,}000 < W_T \leq 6{,}000$ ถ้าผลรวมของน้ำหนักสายหลักมากกว่า 2,000 กิโลกรัม แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6,000 กิโลกรัม ให้เลือกใช้รถขนส่ง 6 ล้อ แล้วจึงเดินทางตามเส้นทางที่ master route planning กำหนด

ขั้นตอนที่ 2.3 $W_T > 6{,}000$ ถ้าผลรวมของน้ำหนักสายหลักมากกว่า 6,000 กิโลกรัม ให้เลือกตำแหน่งแรกที่มีน้ำหนักมากที่สุดด้วยสมการ $\mathrm{w}(s) = Max\{w_l\}$ $\mathrm{w}(s) > 6{,}000$ ถ้าตำแหน่งแรกมีน้ำหนักมากกว่า 6,000 กิโลกรัม ให้เลือกใช้รถขนส่ง 6 ล้อ แล้วจึงเดินทางตามเส้นทางที่ master route planning กำหนด แล้วปรับน้ำหนักตำแหน่งแรกเมื่อใช้รถขนส่ง 6 ล้อ ด้วยสมการ $\mathrm{w}(s+1) = \mathrm{w}(s) = 6{,}000$ จากนั้นปรับลดน้ำหนักรวมสายหลัก (W_T) ด้วยสมการ $W_{(T+1)} = W_T - \mathrm{w}(s)$ จากสมการ $\mathrm{w}(s) > 6{,}000$ ถ้าตำแหน่งแรกมีน้ำหนักน้อยกว่า 6,000 กิโลกรัม ให้เลือกตำแหน่งถัดไปที่มีน้ำหนักรองจากตำแหน่งแรกด้วยสมการ $\mathrm{w}(s+1) = Max_{l=1}^{n}\{w_{l-1}\}$ จากนั้นรวบรวมน้ำหนักเพื่อคำนวณน้ำหนักรวมสายรอง (W_T) ด้วยสมการ $w_{(T)} = \mathrm{w}(s) + \mathrm{w}(s+1)$ ให้เต็มความจุ 6,000 กิโลกรัมหรือครบทุกตำแหน่งของผู้ผลิตด้วยการเช็คโดยสมการ $2{,}000 < W_T \leq 6{,}000$ หากใช่ ให้เลือกใช้รถขนส่ง 6 ล้อ แล้วจึงเดินทางตามเส้นทางที่ master route planning กำหนด แล้วปรับน้ำหนักรวมสายหลัก (W_T) ด้วยสมการ $W_{(T+1)} = W_T - w_T$ แล้ววนลูปกลับไปเช็คตามขั้นตอนที่ 1

จากสมการ $2{,}000 < W_T \leq 6{,}000$ หากไม่ใช่ ให้เช็คด้วยสมการ $0 < W_T \leq 2{,}000$ เพื่อยืนยันการเลือกใช้รถขนส่ง 4 ล้อ แล้วจึงเดินทางตามเส้นทางที่ master route planning กำหนด แล้วปรับน้ำหนักรวมสายหลัก (W_T) ด้วยสมการ $W_{(T+1)} = W_T - w_T$ แล้ววนลูปกลับไปเช็คตามขั้นตอนที่ 1

ในส่วนของการเลือกเส้นทางผู้วิจัยได้ใช้ระบบมด โดยอ้างอิงจาก Ma และ Sun [12] ซึ่งได้ศึกษาระบบการขนส่งแบบมิลค์รันและเลือกเส้นทางด้วยการนำเอาระบบมดมาใช้ โดยอัลกอริธึมที่ใช้ในการคำนวณในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเลือกเส้นทางตามฮิวริสติกส์พัฒนาด้วยระบบมด

พารามิเตอร์ของฮิวริสติกส์ในส่วนของการเลือกเส้นทางประกอบไปด้วย

i = ตำแหน่งที่มดอยู่ ณ ปัจจุบัน (current position)

j = ตำแหน่งที่มดกำลังจะเดินทางไปต่อ (next position)

$P_{ij}^{k}(t)$ = ความน่าจะเป็นในกรณีที่มดตัวที่ k เดินทางจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j

t = ช่วงเวลาที่มดตัวที่ k เดินทางจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j โดย t =0,1,2,3,...

τ_{ij} = ค่าของฟีโรโมนของเส้นทางจากจุด i ไปจุด j

η_{ij} = ความสามารถในการมองเห็นเส้นทางจากจุด i ไปจุด j จุดที่อยู่ใกล้จะมองเห็นได้ชัดกว่า

d_{ij} = ระยะทางจากจุด i ไปจุด j (distance)

η_{ij} = $\frac{1}{d_{ij}}$ (ยิ่งระยะทางไกล การมองเห็นยิ่งน้อยลง)

α = ค่าสัมประสิทธิ์ของฟีโรโมน (pheromone coefficient)

β = ค่าสัมประสิทธิ์ของการมองเห็น (visibility coefficient)

ρ = อัตราการระเหยของฟีโรโมน (pheromone evaporation rate)

m = จำนวนมด

n = จำนวนตำแหน่งของผู้ผลิตและโรงงานรวมกัน

$\Delta\tau_{ij}^{k}$ = ปริมาณของฟีโรโมนของมดตัวที่ k ฝากไว้บนเส้นทางจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j

$\Delta\tau_{ij}^{k}$ = $\frac{1}{d_{ij}}$

τ_0 = ค่าฟีโรโมนตั้งต้น โดยหาได้จาก $\tau_0 = \frac{m}{L^{nn}}$

L^{nn} = เส้นทางที่สั้นที่สุดที่ได้จากวิธีการ nearest neighborhood ของมดทุกตัว

ฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เลือกเส้นทาง (master route planning) โดยการเลือกเส้นทางจะเลือกตามฮิวริสติกส์พัฒนาด้วยระบบมด เพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดมีอัลกอริธึมดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพารามิเตอร์ค่าของฟีโรโมนเริ่มต้น

$$\alpha = 1, \beta = 5, \rho = 0.5, m = n, \tau_0 = m/L^{nn}$$

จัดวางมดตัวที่ k ตามตำแหน่งของผู้ผลิตและโรงงาน

For k = 1 ถึง m

n = m

Ant1 =จุดที่ 1 (โรงงาน), Ant2 =จุดที่ 2 (HT),

Ant3 =จุดที่ 3 (CHN), Ant4 =จุดที่ 4 (FK),

Ant5 =จุดที่ 5 (CV), Ant6 =จุดที่ 6 (CMW),

Ant7 =จุดที่ 7 (TTK), Ant8 =จุดที่ 8 (JP),

End

ทุกๆ ระยะทาง (distance) จากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j

$$\tau_{ij}(0) = \tau_0$$

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มการคำนวณตามขั้นตอนหลัก

ขั้นตอนที่ 2.1 การสร้างเส้นทางของคำตอบ (tour construction) ของแต่ละรอบ (iteration)

For t = ***to n*** -1

For k =1 ถึง m

; สมการการเลือกตำแหน่งถัดไปใช้วิธีการหาค่าความน่าเป็น $(p_{ij}^{k}(t))$ ด้วยสมการที่ 1 โดยมดทุกตัวออกเดินทางพร้อมกัน

$$P_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}.[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l=1}^{n}[\tau_{il}]^{\alpha}.[\eta_{il}]^{\beta}} & ; l \in \text{ตำแหน่งอาหารที่ยังไม่เดินทางไป} \\ 0 & ; otherwise \end{cases}$$

End

; ปรับสารฟีโรโมน (pheromone updating) ดังสมการที่ 3

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho).\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_{ij}^{k}$$

End

ขั้นตอนที่ 2.2 เมื่อมดเดินทางครบทุกตำแหน่ง ให้คำนวณระยะทางของมดทุกตัว แล้วเลือกระยะทางที่สั้นที่สุด

ขั้นตอนที่ 2.3 เช็คพฤติกรรมหยุดนิ่ง (stagnation behavior)

ถ้า ระยะทางที่สั้นที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับรอบก่อนหน้า

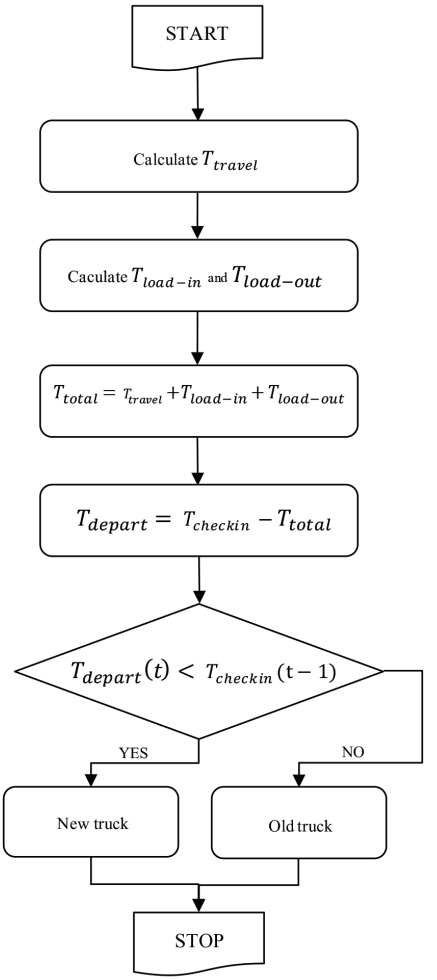
(ถ้า) ใช่ ให้หยุดการหาเส้นทาง

(ถ้า) ไม่ใช่ กลับไปขั้นตอนที่ 2.1

จบการคำนวณ

3.3 วิธีการคำนวณหาจำนวนรถที่ใช้

หลังจากขั้นตอนการคำนวณน้ำหนัก และหาเส้นทางของการขนส่งแต่ละรอบ ผลที่ได้คือจำนวนเที่ยว ชนิดของรถที่ใช้ในแต่ละเที่ยว น้ำหนักที่บรรทุกในแต่ละเที่ยว และระยะทางในแต่ละเที่ยว อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการกำหนดจำนวนรถขนส่งที่ใช้ต่อวัน ดังนั้นในบางเที่ยวรถจึงสามารถใช้รถคันเดิมในการขนส่งได้ ขั้นตอนการเลือกใช้รถในแต่ละเที่ยวเพื่อกำหนดจำนวนรถที่ใช้ในแต่ละวันแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเลือกใช้รถในแต่ละเที่ยวเพื่อกำหนดจำนวนรถที่ใช้ในแต่ละวัน

พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริธึมที่ใช้ในการคำนวณจำนวนรถขนส่งที่ใช้มีดังนี้

T_{travel} = *travelling time* = เวลาที่ใช้ในการเดินทาง

$T_{load\text{-}in}$ = *load - in time* = เวลาที่ใช้ในการโหลดสินค้าขึ้นรถขนส่ง

$T_{load\text{-}out}$ = *load - out time* = เวลาที่ใช้ในการโหลดสินค้าลงจากรถขนส่ง

$T_{check\text{-}in}$ = *check - in time* = เวลาเรียกงานเข้าโรงงาน

T_{depart} = *depart time* = เวลาที่รถขนส่งออกจากโรงงาน

อัลกอริธึมที่ใช้ในการคำนวณจำนวนรถขนส่งที่ใช้มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาเวลาจากการขนส่ง (travelling time)

$$T_{travel} = \frac{\text{ระยะทาง (กิโลเมตร)}}{80\ \text{(กม.ต่อ ชม.)}} \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาเวลาจากการโหลดสินค้าเข้า-ออก

$$T_{load-in} = \frac{\text{น้ำหนักแต่ละเที่ยว (กก.)} x 45 \text{ นาที}}{5142 \text{ (กก.)}} \quad (6)$$

$$; T_{load-in} = T_{load-out}$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณเวลารวม

$$\text{total time} = \text{travelling time} + \text{load-in time} + \text{load-out time} \quad (7)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณเวลารถขนส่งออกจากโรงงาน (depart time)

$$T_{depart} = T_{check\text{-}in} - T_{total} \quad (8)$$

ขั้นตอนที่ 5 เลือกรถขนส่งคันถัดไป

ถ้า $T_{depart}(t) < T_{check-in}(t-1)$

(ถ้า) ใช่ เลือกรถคันใหม่

(ถ้า) ไม่ใช่ เลือกรถคันเดิม

4.ผลการวิจัย

4.1 ผลการดำเนินงานของการขนส่งปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลผลการดำเนินงานของการขนส่งปัจจุบันของกรณีตัวอย่าง โดยแสดงข้อมูลแบ่งออกเป็นรายเดือนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการดำเนินงานของการขนส่งปัจจุบัน ซึ่งเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2558

ผลการดำเนินการในปัจจุบัน							
เดือน	**ชนิดของรถ**	**จำนวนวันใช้รถต่อเดือน (วัน)**	**จำนวนรถที่ใช้เฉลี่ยต่อวันต่อเดือน (คัน)**	**จำนวนเที่ยว (เที่ยว)**	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**	**ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว (กิโลเมตร)**	**ระยะทางเฉลี่ยต่อวันต่อเดือน (กิโลเมตร)**
ตุลาคม	6 ล้อ	26	10	231	12,095	52	465
	4 ล้อ	26	8	160	10,469	65	403
	รวม		18	391	22,564	58	868
พฤศจิกายน	6 ล้อ	22	10	215	11,338	53	515
	4 ล้อ	23	8	126	8,088	64	352
	รวม		18	341	19,426	57	867
ธันวาคม	6 ล้อ	23	10	213	10,264	48	446
	4 ล้อ	24	7	114	7,549	66	315
	รวม		17	327	17,814	54	761
รวม 3 เดือน	6 ล้อ	71	10	659	33,697	51	476
	4 ล้อ	73	8	400	26,106	65	356
	รวม		18	1059	59,804	56	832

4.2 ผลการดำเนินงานของฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการขนส่งแบบมิลค์รันและเลือกเส้นทางด้วยระบบมด

ผลการดำเนินงานที่ได้จากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการขนส่งแบบมิลค์รันและเลือกเส้นทางด้วยระบบมด แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการดำเนินงานด้วยฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา

ผลการดำเนินงานจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการขนส่ง milk run และเลือกเส้นทางด้วยทฤษฎีมด							
เดือน	**ชนิดของรถ**	**จำนวนวันใช้รถต่อเดือน (วัน)**	**จำนวนรถที่ใช้เฉลี่ยต่อวันต่อเดือน (คัน)**	**จำนวนเที่ยว (เที่ยว)**	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**	**ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว (กิโลเมตร)**	**ระยะทางเฉลี่ยต่อวันต่อเดือน (กิโลเมตร)**
ตุลาคม	6 ล้อ	25	3	94	14,271	152	571
	4 ล้อ	20	1	31	3,094	100	155
	รวม		4	125	17,365	139	726
พฤศจิกายน	6 ล้อ	22	3	77	12,175	158	553
	4 ล้อ	18	1	28	2,508	90	139
	รวม		4	105	14,683	140	693
ธันวาคม	6 ล้อ	23	3	85	11,595	136	504
	4 ล้อ	17	1	26	1,979	76	116
	รวม		4	111	13,574	122	621
รวม 3 เดือน	6 ล้อ	70	3	256	38,041	149	543
	4 ล้อ	55	1	85	7,581	88	137
	รวม		4	341	45,622	134	680

4.3 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผล โดยเป็นการเทียบผลการขนส่งปัจจุบันกับฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งหัวข้อในการเปรียบเทียบผลการดำเนินการประกอบไปด้วย จำนวนรถขนส่งที่ใช้ต่อวัน จำนวนเที่ยวรถขนส่งทั้งหมด ระยะทางรวมทั้งหมด ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว และระยะทางเฉลี่ยต่อวัน โดยมีผลแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการขนส่งในปัจจุบันกับฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น

	การขนส่งในปัจจุบัน (ซึ่งเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2558)	**การขนส่งแบบมิลค์รัน**	**ผลต่าง**	**เปอร์เซ็นต์**
จำนวนรถขนส่งที่ใช้ต่อวัน	18	4	14	78
จำนวนเที่ยวรถขนส่งทั้งหมด	1,059	341	718	68
ระยะทางรวมทั้งหมด	59,804	45,622	14,181	24
ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยว	56	134	78	139
ระยะทางเฉลี่ยต่อวัน	832	680	152	18

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและนำเสนอรูปแบบการขนส่งวัตถุดิบโลหะขึ้นรูปในผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จ่ายไฟแบบใหม่ โดยใช้รูปแบบการขนส่งแบบมิลค์รัน ซึ่งการขนส่งในปัจจุบันผู้ซื้อ คือโรงงานประกอบอุปกรณ์จ่ายไฟได้กำหนดให้ผู้ผลิตโลหะแผ่นขึ้นรูปดำเนินการจัดส่งวัตถุดิบไปที่โรงงานด้วยการใช้รถขนส่งของผู้ผลิตเอง ส่วนรูปแบบการขนส่งที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการขนส่งแบบมิลค์รัน เป็นการใช้รถขนส่งร่วมกัน โดยเริ่มวิ่งรถจากโรงงานประกอบไปรับวัตถุดิบจากผู้ผลิตแต่ละราย แล้วย้อนกลับมาที่โรงงานประกอบ และใช้วิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งด้วยฮิวริสติกส์จากทฤษฎีมด กรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาวัตถุดิบประเภทโลหะปั๊มขึ้นรูปในผลิตภัณฑ์อุปกรณ์จ่ายไฟซึ่งอยู่ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยบริษัทกรณีศึกษาตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ และบริษัทผู้ผลิตวัตถุดิบตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลและภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลของการขนส่งวัตถุดิบตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม 2558 จากผู้ผลิตทั้งหมด 7 ราย จากการศึกษาสามารถสรุปเปรียบเทียบผลการดำเนินการทั้ง 3 เดือน ดังนี้

1) จำนวนรถที่ใช้ต่อวันลดลง 14 คันต่อวัน (จาก 18 คัน เหลือ 4 คัน) ลดลง 78%
2) จำนวนเที่ยวรถขนส่งทั้งหมดลดลง 718 เที่ยว (จาก 1,059 เที่ยว เหลือ 341 เที่ยว) ลดลง 68%
3) ระยะทางรวมทั้งหมดลดลง 14,181 กิโลเมตร (จาก 59,804 กิโลเมตร เหลือ 45,622 กิโลเมตร) ลดลง 24%
4) ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยวเพิ่มขึ้น 78 กิโลเมตรต่อเที่ยว (จาก 56 กิโลเมตร เป็น 134 กิโลเมตร) เพิ่มขึ้น 139%
5) ระยะทางเฉลี่ยต่อวันลดลง 152 กิโลเมตรต่อวัน (จาก 832 กิโลเมตร เหลือ 680 กิโลเมตร) ลดลง 18%

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำการขนส่งแบบมิลค์รันและเลือกเส้นทางด้วยทฤษฎีมด พบว่าจำนวนรถที่ใช้ขนส่งต่อวันลดลง เนื่องจากการรวบรวมวัตถุดิบจนเต็มคันรถ จึงทำให้จำนวนรถลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเป็นผลต่อเนื่องทำให้จำนวนเที่ยวในการขนส่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับระยะทางรวมในการขนส่งก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งส่งผลทำให้ระยะทางเฉลี่ยต่อเที่ยวเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากจำนวนเที่ยวที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลทำให้ระยะทางเฉลี่ยต่อวันลดลง เนื่องจากระยะทางรวมที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้การขนส่งจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมาด้วยทฤษฎีมดร่วมกับการขนส่งแบบมิลค์รัน ทำให้ประสิทธิภาพการใช้รถขนส่งเพิ่มมากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการส่งสินค้าตามรอบเวลาแบบเดิม หรืออีกนัยหนึ่งคือ สามารถรักษาระดับการบริการได้เหมือนเดิม

6. ข้อเสนอแนะ

1. หลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบชนิดอื่นในการรวบรวมวัตถุดิบเพื่อให้เต็มคันรถก่อนนำส่งที่โรงงานประกอบ

2. สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะมีการนำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดวิธีการอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ทั้งนี้รวมไปถึงวิธีการแบบ metaheuristics ที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีการอื่นๆ ด้วย

3.แม้ว่าการใช้การขนส่งแบบมิลค์รันจะช่วยลดจำนวนรถขนส่งและระยะทางในการขนส่งลงได้ แต่ในการดำเนินธุรกิจต้องมีวิสัยทัศน์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุน อีกนัยหนึ่งควรที่จะคำนึงถึงต้นทุนที่จะเกิดขึ้นก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงกิจกรรมใดๆ ผู้วิจัยจึงได้จำลองต้นทุน (cost simulation) ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบันกับต้นทุนค่าขนส่งจากผู้ให้บริการการขนส่งจริงรายหนึ่ง (third-party logistics : 3PL) โดยต้นทุนค่าขนส่งจากการดำเนินการตั้งแต่เดือนตุลาคม-ธันวาคม 2558 มีดังนี้

1) ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบัน มีมูลค่าเท่ากับ 21,576,058 บาท

2) ต้นทุนค่าขนส่งจากการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์ที่พัฒนาด้วยทฤษฎีมดหรือพัฒนาจากการสังเกตการทำงานจริงกับการขนส่งแบบมิลค์รันมีมูลค่าเท่ากับ 3,218,890 บาท

3) ต้นทุนค่าขนส่งลดลง 18,357,168 บาท คิดเปอร์เซ็นต์ลดลงเท่ากับ 85% โดยจำนวนรถที่ใช้ต่อวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญจึงเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งลดลง

4) ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบันและต้นทุนจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมากับการขนส่งแบบมิลค์รัน มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบันและต้นทุนจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา

วันเรียกงานเข้า	ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง (บาท)	% ลดลง
Oct-01 -2015	335,024	53,440	281,584	84%
Oct-02-2015	440,461	58,250	382,211	87%
Oct-03-2015	50,865	23,990	26,875	53%
Oct-05-2015	403,077	53,460	349,617	87%
Oct-06-2015	297,056	41,370	255,686	86%
Oct-07-2015	262,611	47,460	215,151	82%
Oct-08-2015	334,411	58,210	276,201	83%
Oct-09-2015	423,341	58,250	365,091	86%
Oct-10-2015	48,834	21,660	27,174	56%
Oct-12-2015	333,564	55,470	278,094	83%
Oct-13-2015	264,017	61,650	202,367	77%
Oct-14-2015	318,007	44,440	273,567	86%
Oct-15-2015	390,089	53,110	336,979	86%
Oct-16-2015	402,886	53,730	349,156	87%
Oct-17-2015	41,116	21,310	19,806	48%
Oct-19-2015	355,619	60,370	295,249	83%
Oct-20-2015	319,823	50,430	269,393	84%
Oct-21-2015	326,806	45,850	280,956	86%
Oct-22-2015	389,262	50,780	338,482	87%
Oct-24-2015	75,089	23,850	51,239	68%
Oct-26-2015	371,476	49,560	321,916	87%
Oct-27-2015	353,109	52,010	301,099	85%
Oct-28-2015	318,274	46,610	271,664	85%
Oct-29-2015	280,528	51,810	228,718	82%
Oct-30-2015	301,675	38,230	263,445	87%
Oct-31-2015	118,385	33,610	84,775	72%

ตารางที่ 5 ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบันและต้นทุนจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา (ต่อ)

วันเรียกงานเข้า	ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง (บาท)	% ลดลง
Nov-02-2015	246,576	46 ,040	200,536	81%
Nov-03-2015	303,780	51,410	252,370	83%
Nov-04-2015	275,115	44,700	230,415	84%
Nov-05-2015	377,660	54,180	323,480	86%
Nov-06-2015	480,695	59,190	421,505	88%
Nav-07-2015	117,583	20,130	97,453	83%
Nav-09-2015	265,407	53.810	211,597	80%
Nov-10-2015	279,075	46,830	232,245	83%
Nov-11-2015	384,311	54 ,060	330,251	86%
Nov-12-2015	342,107	44,570	297,537	87%
Nov-13-2015	362,782	47,750	315,032	87%
Nov-14-2015	109,812	17,790	92,022	84%
Nov-16-2015	304,684	48 ,070	256,614	84%
Nov-17-2015	378,951	59,500	319,451	84%
Nov-18-2015	283,117	41,820	241,297	85%
Nov-19-2015	337,563	39,660	297,903	88%
Nov-20-2015	493,102	56,480	436,622	89%
Nov-21-2015	8,753	4,800	3,953	45%
Nov-23-2015	294,588	47,970	246,618	84%
Nov-24-2015	400,276	55,840	344,436	86%
Nov-25-2015	380,846	56,420	324,426	85%
Nov-26-2015	386,071	48,900	337,171	87%
Nov-27-2015	60,987	15,010	45,977	75%

ตารางที่ 5 ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบันและต้นทุนจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา (ต่อ)

วันเรียกงานเข้า	ต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งจากฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมา (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง (บาท)	% ลดลง
Dec-01-2015	474,816	54,420	420,396	89%
Dec-02-2015	437,122	49,500	387,622	89%
Dec-03-2015	397,792	50,470	347,322	87%
Dec-04-2015	476,899	58,870	418,029	88%
Dec-06-2015	1,067	4,800	3,733	-350%
Dec-08-2015	410,648	45,510	365,138	89%
Dec-09-2015	350,298	54,740	295,558	84%
Dec 10-2015	313,336	43 ,490	269,846	86%
Dec 11-2015	428,894	44,290	384,604	90%
Dec 12-2015	30,459	15,680	14,779	49%
Dec 14-2015	317,821	42,850	274,971	87%
Dec 15-2015	268,460	44,610	223,850	83%
Dec 16-2015	348,927	50,830	298,097	85%
Dec 17-2015	348,878	56,230	292,648	84%
Dec 18-2015	190,983	32,850	158,133	83%
Dec; 19-2015	177,482	25,580	151,902	86%
Dec-21-2015	331,073	45,010	286,063	86%
Dec-22-2015	293,897	49,790	244,107	83%
Dec-23-2015	296,020	49,300	246,720	83%
Dec-24-2015	381,829	46,280	335,549	88%
Dec-25-2015	258,502	41,430	217,072	84%
Dec-26-2015	94,953	18,520	76,433	80%
Dec-28-2015	319,766	46,680	273,086	85%
Dec-29-2015	196,890	23,320	173,570	88%
รวม	**21,576,058**	**3,218,890**	**18,357,168**	**85%**

4. หากบริษัทต้องการดำเนินการขนส่งเอง ควรที่จะต้องพิจารณามิติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ต้นทุนการสั่งซื้อรถขนส่ง และแม้ว่าวิธีการใช้ฮิวริสติกส์กับการขนส่งแบบมิลค์รัน จะช่วยลดจำนวนรถขนส่งและระยะทางรวมลง แต่การเพิ่มขึ้นของระยะทางในการขนส่งต่อเที่ยวต่อคัน จะทำให้รถขนส่งเสื่อมสภาพเร็วขึ้นและอายุการใช้งานลดน้อยลง ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะให้เพิ่มการพิจารณาในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับรถขนส่งดังนี้

1) ต้นทุนการสั่งซื้อรถขนส่ง
2) ค่าบำรุงรักษารถ
3) อายุการใช้งานของรถ
4) ค่าประกันภัย
5) ค่าใช้จ่ายวัสดุสิ้นเปลืองเช่น น้ำมันหล่อลื่น, ยางรถยนต์
6) ค่าดำเนินการ เช่น ค่าเอกสาร

นอกจากนี้ ก่อนที่จะเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งเป็นแบบมิลค์รัน ทางฝั่งผู้ซื้อและผู้ผลิตวัตถุดิบควรจัดให้มีการทำความเข้าใจร่วมกันและกำหนดข้อตกลงถึงแนวทางการทำงานร่วมกันเพื่อชี้แจงให้แต่ละภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ได้ทราบถึงข้อกำหนดและความต้องการ รวมทั้งแนวทางในการปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด (risk management) ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการเปลี่ยนแปลงอย่างเร่งด่วน ความพร้อมในการส่งวัตถุดิบตามช่วงเวลาที่กำหนดของผู้ผลิตว่าพร้อมหรือไม่ ในการส่งให้ทันรอบของมิลค์รัน เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

1. Capgemini, 2005, 2005 THIRD-PARTY LOGISTICS : Results and Findings of the 10th Annual Study [Online], Availlable: http://3plstudy.com. [12 October 2020]

2. Satoh, I., 2008, "A Formal Approach for Milk-run Transport Logistics, IEICE Transactions on Fundamental of Electronics," *Communication and Computer Sciences*, E91.A (11), pp. 3261-3268.

3. Sadjagi, J., Jafari, M.D. and Amini, T., 2008, "A New Mathematical Modeling and a Genetic Algorithm Search for Milk Run Problems," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 44 (4), pp. 194-200.

4. Gurider, S.B. and Saini, G., 2011, "Milk Run Logistics: Literature Review and Directions," *Proceedings of the World Congress on Engineering,* Vol.1, p. 223.

5. Blum, C., 2005, "Ant Colony Optimization: Introduction and Recent Trends," *Physics of Life Reviews,* 2 (4), pp. 353-373.

6. Udomsakdigool, A. and Kachitvichyanukul, V., 2005, "Heterogenous Ant Algprithm for Job Shop Scheduling," *Proceedings of the 2005 International Conference on Simulation and Modeling.*

7. Dorigo, M. and Gambardella, L.M., 1997, "Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem," *Bio Systems,* 43, pp. 73–81.

8. Dorigo, M., Birattari, M. and Stutzle, T., 2006, Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique, IEEE Computational Intelligence Magazine, November 2006, pp. 28-39.

9. Stutzle, T. and Dorigo, M., 1999, ACO Algorithms for the Traveling Salesman [Online], Available: http://staff.washington.edu/paymana/swarm/stutzle99-eaecs.pdf. [12 October 2020]

10. Cheng, C.B. and Mao, C.P., 2007, "A Modified Ant Colony System for Solving the Traveling Salesman Problem with Time Windows," *Mathematical and Computer Modelling,* 46 (9-10), pp. 1225-1235.

11. Ma, J. and Sun, G., 2013, "Mutation Ant Colony Algorithm of Milk-Run Vehicle Routing Problem with Fastest Completion Time Based on Dynamic Optimization," *Discrete Dynamics in Nature and Society,* 2013: 418436, 6 p. https://doi.org/10.1155/2013/418436