

การใช้อัลกอริทึมวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนสำหรับออกแบบเส้นทางการเดิน รถยนต์ขนส่งสินค้าเกษตรกร

The Use of Simulated Annealing Algorithm for Farmers' Freight Vehicle Route Design

ฐปนกุล หูเต็ม กันตพงศ์ สมตณ วิชชา เหลืองสุวรรณ และ ประภัสสร ตันติพันธ์วดี*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

E-mail: prapassorn.tan@ku.th*

Tapanakul Hutem, Khuntapong Somton, Wicha Luangsuwan and Prapassorn Tantiphanwadi*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Khamphaeng Saen, Kasetsart University,

Kamphaeng Saen, Nakornpathom, 73140,

E-mail: prapassorn.tan@ku.th*

Received 12 May 2021; Revised 15 Jul 2021

Accepted 28 Jun 2021; Available online 29 Jun 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับค้นหาลำดับการเดินรถ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมจากการจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสำหรับเกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเก็บข้อมูลน้ำหนัก ระยะทาง และเวลา ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มตลาดในช่วงเช้า กลุ่มตลาดในช่วงเย็น และกลุ่มที่ห่างหุ้นส่วนจำกัด ชะวาล อิมพอร์ต เอ็กซ์พอร์ต แอนด์ แพ็คเกจจิ้ง แล้วนำไปจัดลำดับการเดินรถเพื่อขนส่งสินค้าในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เขียนเป็นอัลกอริทึมด้วยภาษาไพธอน เพื่อค้นหาผลลัพธ์เส้นทางที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งสามกลุ่ม มาวิเคราะห์ต้นทุนรวม จุดคุ้มทุน และกำไร ผลจากการศึกษาพบว่า อัลกอริทึมเลียนแบบการอบอ่อนสามารถให้ผลลัพธ์ การจัดลำดับเส้นทางการเดินรถ น้ำหนักที่บรรทุกและจำนวนรถที่เหมาะสม และเมื่อนำเอาระยะทาง น้ำหนัก และจำนวนรถนี้ มาคิดจุดคุ้มทุนจะได้ จุดคุ้มทุนที่ 56,820,360.44 กิโลกรัม ภายใน 5 ปี คิดเป็นการบรรทุกสินค้าที่ 38,739.12 กิโลกรัมต่อวัน พบว่าใช้เวลา 4.02 ปี ถึงจะคุ้มทุนและสร้างผลกำไรได้ 1,379.10 บาท/วัน

คำหลัก: การเลียนแบบการอบอ่อน ลำดับเส้นทางการเดินรถ จุดคุ้มทุน

Abstract

The research studied and utilized annealing algorithm to find optimal shipping routes in real traffic conditions for the area closed to Kasetsart University, Khamphaeng Saen campus. The objective was to find breakeven point and profit from the shipping routes. The study found that farmers sold their products to merchants who would buy their products at central markets. The selling price at the market was high, followed by high fuel costs of transportation. The researchers randomly collected data of product weights, distances and market times into three groups according to market segmentation as morning market, evening market and Chatchawan Imports and Packaging Ltd. A solution was created in order to transport the goods each time by using the simulated annealing (SA) method, coded with python language, applied to the problem which is divided into two models to find a good result under conditions at different time periods. Then all the solutions obtained are analyzed for the total cost, breakeven point and profit. The study found that the utilized annealing algorithms are able to provide the results of the vehicle route. The routes are ranked by weight and the number of vehicles used. Then taking the distance, weight and the number of vehicles to calculate for the break-even point. With the break-even point of 56,820,360.44 kg. within 5 years, the algorithm was able show the result of packing 38,739.12 kg/day. It is found that it will take 4.02 years to break even and generate a profit of 1,379.10 baht/day.

Keywords: The simulated annealing, vehicle route, Break-even point

1. บทนำ

ในปัจจุบันธุรกิจชุมชนต่าง ๆ ของประเทศไทย ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก จากการลงพื้นที่สอบถามเกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มักจะปลูกพืชผักสวนครัวขายในท้องตลาดในปริมาณที่มาก เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวจะขายสินค้า จะมีพ่อค้าคนกลางรับซื้อจากฟาร์มหรือนำผลผลิตที่ได้ไปขายอีกทอดหนึ่ง ซึ่งประสบปัญหาการขายต่ำเนื่องจากราคาที่ขายจะขึ้นอยู่กับพ่อค้าคนกลาง ในอีกกรณีหนึ่งที่เกษตรกรต้องการนำสินค้าออกไปขายโดยตรงให้กับพ่อค้าแม่ค้าในตลาดนอกพื้นที่ซึ่งอยู่ไกลขึ้นนั้น ก็จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าทำให้ได้ไม่คุ้มกับต้นทุน อีกทั้งพบว่าเกษตรกรมักจะแยกกันขนส่งสินค้าแม้จะส่งออกไปยังพื้นที่เดียวกัน จึงทำให้เกิดต้นทุนทางโลจิสติกส์ที่สูง ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาโดยใช้อัลกอริทึมวิธีการเลียนแบบการอบอุ่นในการออกแบบเส้นทางการเดินทางขนส่งสินค้าร่วมกันสำหรับเกษตรกรหลายครัวเรือนในตำบลนั้น ๆ เพื่อลดภาระต้นทุนทางโลจิสติกส์ที่สูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิด

การกระจายสินค้าไปยังตลาดมากขึ้นทั้งในและนอกพื้นที่ ทำให้ลดการกดราคาของพ่อค้าคนกลาง ก่อให้เกิดกำไรเพิ่มขึ้น

2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 แนวคิดและทฤษฎีปัญหาการจัดเส้นทาง การเดินทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem)

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การขนส่งโดยใช้คลังสินค้าแบบคอนสโตกเป็นจุดผ่านในการจัดการสินค้าเพิ่มมากขึ้น หากมีการจัดการคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดต้นทุนสินค้าคงคลัง และต้นทุนการขนส่งได้ซึ่งหมายถึงสามารถช่วยลดระยะเวลาที่สินค้าอยู่ในห่วงโซ่อุปทานได้ด้วยเช่นกัน ในความเป็นจริงแล้ว เวลาที่ใช้ในการเดินทางขนส่งสินค้าในเส้นทางใด ๆ จะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาพการจราจรบนท้องถนนในแต่ละช่วงเวลา [1] ได้มีการทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้นผ่านโปรแกรม Lingo โดยได้กำหนดให้ช่วงเวลาเดินทางใน 1 วัน แบ่งออกเป็น 2

ช่วงเวลา คือช่วงเช้าและช่วงบ่าย ซึ่งทั้ง 2 ช่วงเวลา มีการใช้เวลาเดินทางที่ไม่เท่ากัน ในแต่ละเส้นทาง ผลการวิจัยสามารถจัดเส้นทางเดินรถที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่ำได้ภายในเวลาที่ผู้วิจัยกำหนด

การจัดเส้นทางรถเดินรถขนส่งมีได้หลายแบบ [2, 3] ได้นำการจัดเส้นทางโดยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม มาประยุกต์ใช้กับกิจกรรมต่างๆ เช่น การจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่ม โดยการแบ่งพื้นที่ในการให้บริการแล้วนำลูกค้าในแต่ละพื้นที่มาจัดเส้นทางโดยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม หลังจากนั้นนำเส้นทางที่ได้มาจัดลำดับการขนส่งใหม่โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง สามารถใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรมเอ็กเซล เป็นเครื่องมือในการได้มาซึ่งตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายที่ให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งคือระยะทางที่สั้นที่สุดในแต่ละเส้นทาง ซึ่งผลจากการศึกษาเส้นทางตัวอย่างจากโซนพื้นที่ ซึ่งมีจำนวน 6 เส้นทาง โดยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม การจัดเส้นทางโดยตัวแบบนี้ทำให้ระยะทางลดลงกว่า 4.16 %

2.1.2 อัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมในขณะนี้ เป็นการค้นหาคำตอบด้วยการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing: SA)

การประยุกต์ใช้ Simulated Annealing มาช่วยในการแก้ไขปัญหาวางแผนการเดินทางนั้น จะพิจารณาในรูปแบบของผลเฉลยซึ่งจะมีการพัฒนาผลเฉลยโดยใช้สมการเป้าหมาย (Objective Function) ที่สอดคล้องกับปัญหาในการพิจารณาหาค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของผลเฉลย ในการคำนวณจะใช้ตัวดำเนินการทางอ้อมมากระทำกับผลเฉลยเริ่มต้น จนได้ผลเฉลยตัวใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีและเหมาะสมกับปัญหามากขึ้น และกระทำซ้ำจนได้ผลเฉลยแทนคำตอบที่เหมาะสมที่สุดกับปัญหา โดยกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการค้นหาคำตอบ ด้วยวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน มีตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสุดท้ายหรืออุณหภูมิที่กำหนด ตารางจัดการการอบอ่อน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature: T_{start}) เป็นอุณหภูมิแรกในการค้นหาคำตอบ

2) อุณหภูมิสุดท้าย (Ending Temperature: T_{end})

เป็นอุณหภูมิที่หยุดการค้นหาคำตอบ

3) ตารางจัดการการอบอ่อน (Cooling schedule) คือ การปรับลดอุณหภูมิลงโดยมีสมการดังนี้

$$T_{k+1} = \alpha T_k \quad (1)$$

4) เงื่อนไขการหยุดการค้นหาคำตอบ (Stopping Criterion) คือ เมื่ออุณหภูมิปัจจุบันนั้นถูกลดลงมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนด หรือ

$$T_k = T_{end} \quad (2)$$

การค้นหาคำตอบด้วยวิธี SA ประกอบด้วยกระบวนการค้นหาคำตอบทั้งหมด 7 ขั้นตอนโดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลนำเข้า (Input) สร้างตัวแปรเพื่อจัดเก็บข้อมูลของปัญหาและกำหนดตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องเพื่อจะนำข้อมูลไปใช้คำนวณต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) ทำการเข้ารหัส และทำการสุ่มลำดับของการเดินทางไปยังองค์การบริหารส่วนตำบลต่าง ๆ ขึ้นมาเป็นประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluate) ประเมินโดยการถอดรหัสให้เป็นลำดับการเดินรถของคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) แล้วคำนวณค่าความเหมาะสมของคำตอบเริ่มต้นจากผลรวมระยะทางของคำตอบเริ่มต้น และเก็บค่าความเหมาะสมที่ดีพร้อมกับอัปเดตตัวแปรต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือตัวแปรที่ดีที่สุดกับตัวแปรในปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 4 พัฒนาคำตอบ (Development Solution) สร้างประชากรที่ปรับปรุงจากการนำประชากรปัจจุบันมาพัฒนาคำตอบโดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap) ซึ่งจำนวนตำแหน่งในการสลับนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไข

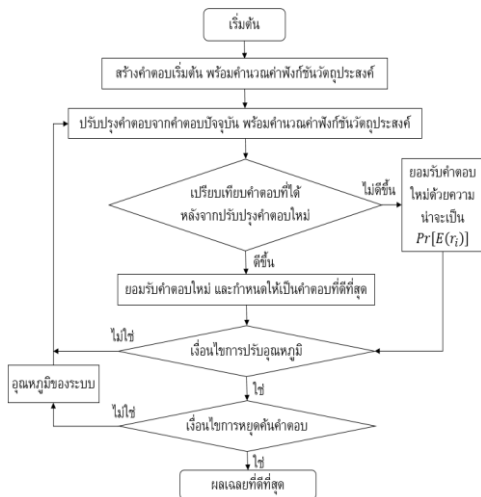
ขั้นตอนที่ 5 ประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluate) เป็นการนำประชากรที่ปรับปรุงมาประเมินโดยถอดรหัสเป็นคำตอบที่ปรับปรุง (Improve Solution) แล้วหาผลรวมระยะทางของคำตอบที่ปรับปรุง (Improve

Distance) จากนั้นเปรียบเทียบกับระยะทางรวมที่ดีที่สุด (Best Distance) ถ้าคำตอบที่ปรับปรุงมีค่าดีกว่า ระยะทางรวมที่ดีที่สุด จะเก็บค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด พร้อมกับการอัปเดตตัวแปรที่ดีที่สุดกับตัวแปรในปัจจุบัน หาก แล่งก็จะพิจารณาด้วยค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับ ประชากรปรับปรุงที่แย่หรือสมการของโบลท์แมน (Boltzmann) เพื่อเป็นตัวแปรในปัจจุบันทำซ้ำอุณหภูมิ ต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขในการหยุด (Termination) จากการกำหนดอุณหภูมิสุดท้าย (T_{end}) จะตรวจสอบอุณหภูมิในปัจจุบัน ($T_{current}$) และจะหยุด ทำงานเมื่ออุณหภูมิในปัจจุบัน ($T_{current}$) เท่ากับอุณหภูมิ สุดท้าย (T_{end})

ขั้นตอนที่ 7 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุดเมื่อผ่าน ขั้นตอนที่ 6 มาแล้วจะนำออกข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป

แผนผังกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี SA ได้แสดงไว้ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี
เลียนแบบการอบอ่อน

2.1.3 การวิเคราะห์ต้นทุนและจุดคุ้มทุน (Cost analysis and break-even point)

ปัจจุบันการขนส่งมีความสำคัญต่อธุรกิจเกือบทุกประเภท ต้นทุนการขนส่งนับเป็นต้นทุนที่สำคัญและ

กระทบต่อต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งโครงสร้างต้นทุนของผู้ประกอบการขนส่ง ประกอบด้วย ต้นทุน ดังต่อไปนี้

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการขนส่ง เช่น ค่าเช่าสถานที่จอดรถ เงินเดือนพนักงานขับรถ เป็นต้น

2) ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการให้บริการขนส่ง เช่น ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซม ค่าน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

3) ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่รวมเอาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร เข้าไว้ด้วยกัน ถือเป็นต้นทุนการบริการขนส่งทั้งหมด ทั้งนี้รวมถึงต้นทุนที่เกี่ยวกับ

4) ต้นทุนเที่ยวกลับ (Backhaul Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่รวมเอาไว้ลักษณะของค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) เข้าไปด้วย ถือเป็นค่าชดเชยที่ต้องทำให้เสียโอกาสขึ้น

[5] ได้กล่าวถึงต้นทุนของการขนส่ง ซึ่งจะแตกต่างกันมากมายเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ทางเศรษฐศาสตร์ ที่ นักวิชาการ Donald J. Bowersox ได้กล่าวถึงปัจจัยหลักที่มีผลต่อเศรษฐศาสตร์ การขนส่ง ได้แก่ ระยะทาง ปริมาณ ความหนาแน่น การจัดเก็บการรับผิดชอบ และการตลาด

2.1.3 การคำนวณจุดคุ้มทุนและกำไร (Break Even Point and Profit)

จุดคุ้มทุน คือจำนวนสินค้าที่บริษัทต้องขายให้ได้ เพื่อที่จะคืนทุนค่าใช้จ่าย จุดคุ้มทุนคำนวณจากการหาร ต้นทุนคงที่ ด้วยกำไรต่อสินค้าหนึ่งหน่วย รายได้ที่มากกว่าจุดคุ้มทุนก็คือกำไร รายได้ที่ต่ำกว่าจุดคุ้มทุนคือขาดทุน และรายได้ที่เท่าจุดคุ้มทุนคือการขายเท่าทุน หากจะต้องหาจุดคุ้มทุนนั้น ควรที่จะแสดงต้นทุนรวม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากผลรวมของต้นทุนคงที่ และ ต้นทุนแปรผัน ในงานวิจัยนี้คือต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษา ต้นทุนรถยนต์ และค่าจ้างพนักงานตามลำดับ แสดงสมการได้ ดังนี้

$$Total\ Cost = C_{fm} + C_{cw} \quad (3)$$

$$C_{fm} = [(C_g + C_m) \times d_i] \quad (4)$$

$$C_{cw} = [(C_c \times C_w) + (n_e \times C_h)] \quad (5)$$

โดย

$Total\ cost$ คือ ต้นทุนรวม (บาท/วัน)

C_{fm} คือ ค่าน้ำมันและบำรุงรักษา (บาท/กิโลเมตร)

C_{cw} คือ ต้นทุนรถยนต์และค่าจ้างพนักงาน(บาท/วัน)

C_g คือ ค่าน้ำมัน (บาท/กิโลเมตร)

C_m คือ ค่าบำรุงรักษา (บาท/กิโลเมตร)

C_c คือ ต้นทุนรถยนต์ (บาท/คัน/วัน)

C_w คือ จำนวนรถบริการ (คัน)

N_e คือ จำนวนพนักงาน (คน)

C_h คือ ค่าจ้าง (บาท/คน/วัน)

d_i คือ ระยะทางของตำแหน่ง i (กิโลเมตร)

การคำนวณจุดคุ้มทุนหาได้จากสมการได้ดังนี้

$$Breakeven\ point = C_{cw} / (S_c - V_c) \quad (6)$$

$$V_c = \sum C_{fm} / \sum L_i \quad (7)$$

กำไร(บาท/วัน) =

$$\text{รายได้(บาท/วัน)} - \text{ต้นทุนรวม(บาท/วัน)} \quad (8)$$

โดย

S_c คือ (Service Charge/unit) ค่าบริการต่อหน่วย

V_c คือ (Variable Cost/unit) ต้นทุนแปรผันการขนส่งสินค้าต่อหน่วย

L_i คือ น้ำหนักที่ขนส่ง (กิโลกรัม)

สำหรับรายได้นั้นคิดได้จากสมการดังนี้

รายได้(บาท/วัน) =

$$(\sum L_i) \times \text{ค่าบริการ (บาท/กิโลกรัม)} \quad (9)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีปัญหาการจัดเส้นทางเดิน

รถขนส่ง (Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาที่ต้องการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม จากจำนวนของเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมด เป็นวิธีที่ผู้ปฏิบัติการด้านโลจิสติกส์ใช้เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งและลดระยะเวลาในการขนส่งสินค้า แนวคิดที่โดดเด่น ณ ปัจจุบัน เช่น การใช้เงื่อนไขเรื่องของกรอบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง (Time Duration Vehicle Routing Problem: TDVRP) โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันมีข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการบรรทุกสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย ที่กระจายตัวออกไปตามพื้นที่ให้บริการ ซึ่งลูกค้าแต่ละรายจะกำหนดช่วงเวลารับสินค้า (Time Windows) ไว้ด้วยซึ่งมีทั้งแบบเคร่งครัดในการกำหนดเวลา (Hard Time Windows) แบบเคร่งครัดนี้จะไม่สามารถฝ่าฝืนข้อจำกัดได้เลย ส่วนแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Window) นั้นจะสามารถฝ่าฝืนได้ แต่หากฝ่าฝืนแล้วจะมีค่าปรับเกิดขึ้น

ในเอกสารประกอบการสอน [5] ได้แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง กรณีที่รถแต่ละคันมีข้อจำกัดด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้ และรถแต่ละคันมีข้อจำกัดไม่เหมือนกันหรือไม่เท่ากัน (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP)

อัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมในขณะนี้ เป็นการค้นหาคำตอบด้วยการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่จำลองกระบวนการหลอมโลหะ โดยอาศัยหลักการลดอุณหภูมิของการหลอมโลหะที่มีความร้อนที่จุดหลอมเหลวสูงมากให้ลดลงมาอยู่ที่อุณหภูมิปกติ และเพื่อลดความเสียหายขณะลดอุณหภูมิ จึงต้องมีฟังก์ชันการลดลงของอุณหภูมิที่เหมาะสม วิธีการนี้ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานแก้ปัญหาต่าง ๆ ดังเช่น [6] ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา [7] การแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขโดยมีนโยบายด้านราคามาเกี่ยวข้อง และ [8] การกำหนดติดตั้งโหนดอ้างอิง เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการเลียนแบบการอบอ่อนในการจัดเส้นทางรถขนส่ง เนื่องจากปัญหามีความซับซ้อน ในเรื่องปริมาณขนส่งที่หลากหลายและการจำกัดของช่วงเวลา จึงเหมาะกับวิธีแบบเมตาฮิวริ

สต็อก ซึ่งผู้ให้บริการขนส่งจะมีลำดับในการเดินทางโดยเริ่มต้นจากตลาด ออกไปเก็บสินค้าตามจุดรวบรวมสินค้าที่จะต้องเก็บมาส่งยังตลาดนั้นๆ โดยปัญหานี้มีตลาดที่เปรียบเสมือนคลังสินค้าที่มีมากกว่าหนึ่งแห่งและจุดรวบรวมสินค้าที่ยานพาหนะต้องเดินทางไปมากกว่าหนึ่งตำแหน่ง (Multiple Depots) มีการขนส่งสินค้าแบบมีความสามารถในการบรรทุกทุกของยานพาหนะที่จำกัดแตกต่างกัน เป็นประเภทรถยนต์ที่มากกว่าหนึ่งคัน

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ได้ทำการศึกษาตลาดใน 7 ตำบล ของอำเภอกำแพงแสน ซึ่งได้รวบรวมขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้ และดังในรูปที่ 2

1) ศึกษาปัญหาการขนส่งของเกษตรกรในอำเภอกำแพงแสนจากการสัมภาษณ์ และเก็บข้อมูลในสถานที่จริง ศึกษางานวิจัยและวรรณกรรมต่างๆ

2) วิเคราะห์ข้อมูลจากการรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งพบว่า

จุดเก็บสินค้าจากเกษตรกรกำหนดเป็นสถานที่องค์การบริหารส่วนตำบล(อบต.)ของแต่ละตำบลในอำเภอกำแพงแสน โดยมีตำแหน่ง(node) กำหนดเป็นหมายเลขซึ่งมีทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ดังในตารางที่ 1

สำหรับตลาดซึ่งเป็นจุดส่งสินค้ามีจำนวน 8 ตลาดใน 7 ตำบลของอำเภอกำแพงแสน ซึ่งจะเปิดใน 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้า ตั้งแต่เวลา 00:00-03:00 น. และ 12:00-15:00 น. โดยช่วงเช้ามีจำนวน 4 ตลาด และช่วงบ่ายจำนวน 4 ตลาด ดังสรุปในตารางที่ 2

ในช่วงเวลาที่เหลือ 03:00-12:00 และ 15:00-00:00 น. เกษตรกรทั้ง 7 ตำบลจะนำสินค้ามาส่งด้วยตนเองที่ หจก.ซีชาลอมปอร์ตเอ็กสपोर्टแอนด์แพ็คจิ้ง จำกัด ซึ่งไม่มีการใช้รูปแบบและการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากปริมาณสินค้ามีความไม่แน่นอนสูง และกรอบเวลายังขึ้นอยู่กับลูกค้าแต่ละราย

ตารางที่ 1 จุดวางสินค้าของเกษตรกรหรือจุดรับสินค้า

ตำแหน่ง(node)	ชื่อตำแหน่งรับสินค้า
0	อบต.กำแพงแสน
1	อบต.ดอนข่อย

2	อบต.ทุ่งกระพังโหม
3	อบต.ทุ่งขวาง
4	อบต.ทุ่งบัว
5	อบต.รางพิกุล
6	อบต.สระสุม

ตารางที่ 2 แสดงช่วงเวลาและจุดส่งมอบสินค้า

ช่วงเวลา	จุดส่งมอบสินค้า
00:00-03:00 น.	1. ตลาดรุ่งโรจน์ 2. ตลาดสะพานโค้ง 3. ตลาดน้ำทุ่งบัวแดง 4. ตลาดบ้านโป่ง
12:00-15:00 น.	5. ตลาดทุ่งคอก 6. ตลาดบางหลวง 7. ตลาดสดรวมใจ 8. ตลาดไฟฟ้า

ซึ่งการลงพื้นที่พบว่าสภาพการจราจรทั้งสองช่วงเวลามีความแตกต่างกัน ดังสรุปในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการจราจรที่ส่งผลต่อการขนส่งสินค้า

ช่วงเวลา	การจราจรกับแนวทางในการหาคำตอบที่ดี
00:00-03:00 น.	ความหนาแน่นของรถยนต์บนท้องถนนต่ำมาก สามารถขับรถยนต์ส่งสินค้าได้เร็วกว่าเร็วเดียว
12:00-15:00 น.	ความหนาแน่นของรถยนต์บนท้องถนนมีตั้งแต่ปานกลางจนถึงมาก ทำให้อัตราเร็วรถมีหลายค่า

ซึ่งจากสภาพการจราจรทั้งสองช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้มีแนวทางในการหาคำตอบที่แตกต่างกัน โดยในช่วงเวลา 00:00-03:00 น. สภาพการจราจรคล่องตัว จึงใช้รูปแบบการขนส่งที่ขนส่งสินค้าได้มากที่สุด ซึ่งคือการจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อตอบสนองอุปสงค์ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) ในขณะที่ช่วงเวลา 12:00-15:00 น. สภาพการจราจรไม่คล่องตัวเท่าที่ควร จึงใช้รูปแบบการขนส่งที่ส่งทันเวลา ซึ่งคือ การจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้กรอบเวลา

(Time Duration Vehicle Routing Problem: TDVRP)
ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แนวทางการค้นหาคำตอบในแต่ละช่วงเวลา

ช่วงเวลา	00:00-03:00 น.	12:00-15:00 น.
แนวทางการค้นหาคำตอบ	ทำการหาผลลัพธ์ที่ให้ประสิทธิภาพการบรรจุสินค้าบนรถแต่ละรอบมากที่สุด และระยะทางน้อยที่สุด	ทำการหาผลลัพธ์ที่ให้การขนส่งสินค้าใช้เวลาแต่ละรอบน้อยที่สุด เพื่อให้ทันเวลาการส่งสินค้า
รูปแบบที่นำมาใช้	การจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อตอบสนองอุปสงค์ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP)	การจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้กรอบเวลา (Time Duration Vehicle Routing Problem: TDVRP)
จุดเด่น	พัฒนาคำตอบหรือลำดับการเดินรถไปในทิศทางที่ให้ระยะทางรวมน้อยที่สุด	พัฒนาคำตอบหรือลำดับการเดินรถไปในทิศทางที่ให้เวลารวมน้อยที่สุด
สมการเป้าหมาย	$\min \sum d_{ij}$	$\min \sum T_{ij}$

3) กระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) กับวิธีการจัดเส้นทางการขนส่ง เนื่องจากรถแต่ละคันมีข้อจำกัด (Constraints) ด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้ และเงื่อนไขกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าที่ได้กำหนดไว้แล้ว ทั้งนี้ใช้ซอฟต์แวร์ไพธอน (Python) ในการเขียนโค้ดให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดออกมา

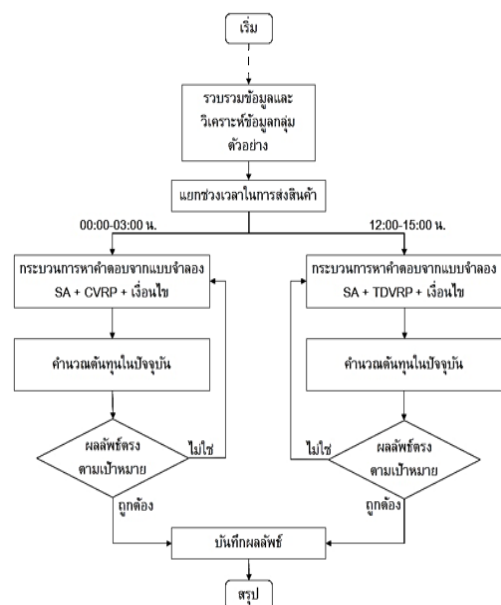
4) คำนวณต้นทุนการขนส่งในปัจจุบัน

ในการคำนวณต้นทุนการขนส่งนั้น จะนำระยะทางที่ได้ และจำนวนรอบจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้งกลุ่มตลาดในช่วงเช้า กลุ่มตลาดในช่วงบ่าย มาคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำมันในการเดินทางและค่าบำรุงรักษา ดังนั้น ค่าน้ำมัน และค่าบำรุงรักษาที่ใช้เดินทางเป็นค่าใช้จ่ายใน

การขนส่ง จากนั้นทำการประเมินจุดคุ้มทุนและกำไรที่จะได้รับ

5) สรุป และอภิปรายผล

หากผลเฉลยเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งเอาไว้ แสดงว่า วิธีการขนส่งนี้ถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถเก็บไปพัฒนาในการใช้งานจริง แต่ถ้าหากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณไม่ปฏิบัติตามวัตถุประสงค์นั้น ควรปรับแก้ไขพัฒนาวิจัยต่อไป



รูปที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การสุ่มเก็บข้อมูล

4.1.1 ข้อมูลปริมาณน้ำหนักสินค้าเกษตร

ผู้วิจัยได้สุ่มเก็บข้อมูลปริมาณน้ำหนักสินค้าเกษตรที่ต้องการไปรับเพื่อส่งให้กับพ่อค้าแม่ค้าในตลาดกับ บริษัท ชัชวาล เป็นรายวัน ระยะเวลา 7 เดือน (ธันวาคม-มิถุนายน 2563) โดยผู้วิจัยได้นำข้อมูลในแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาเป็นตัวแทนปริมาณความต้องการในการขนส่ง

4.1.2 ข้อมูลระยะทางและเวลาในการเดินทาง

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลระยะทางและเวลา จาก 7 ตำบลได้แก่ ตำบลกำแพงแสน ตำบลดอนข่อย ตำบล

ทุ่งขวาง ตำบลทุ่งบัว ตำบลรางพิกุล ตำบลสระสี่มุม ตำบลทุ่งกระพังโหม ไปยังจุดส่งสินค้าทั้งหมด 9 แห่ง จากการค้นหาใน Google Map ในวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2563 เพื่อนำมาสร้างเป็นเมตริกซ์ระยะทาง และเมตริกซ์ระยะเวลา

4.2 การค้นคำตอบโดยการประยุกต์ใช้วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (SA)

การจัดลำดับการเดินทางรับสินค้าจากอบต.ต่างๆ ทั้ง 7 แห่งไปยังตลาดทั้ง 8 แห่ง จะถูกแบ่งเป็น สองช่วงเวลา โดยทั้งสองช่วงเวลามีรูปแบบและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการอบอุ่นนี้ ใช้การเขียนโค้ดด้วยภาษาไพธอน โดยใช้ตัวอย่างการคำนวณของตลาด 1 แห่ง ดังนี้

4.2.1 รูปแบบที่ 1: การจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อตอบสนองอุปสงค์ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP)

ตัวอย่างการค้นหาคำตอบนี้เป็นของตลาดรุ่งโรจน์ ซึ่งมีการขนส่งในช่วง 00:00-03:00 น.

ขั้นตอนที่ 1 รับข้อมูลนำเข้า (Input)

เริ่มจากการนำเข้าข้อมูล 3 ส่วนคือเมตริกซ์ระยะทาง ปริมาณสินค้าที่ต้องขนในแต่ละอบต. และปริมาณหรือความสามารถในการบรรทุกของรถยนต์

จากนั้นให้อุ่นหภูมิเริ่มต้น (T_{start}) เท่ากับ 1,000 อุณหภูมิสุดท้ายหรืออุณหภูมิที่กำหนด (T_{end}) เท่ากับ 0.995 และความเร็วในการลดลงของอุณหภูมิ (α) เท่ากับ 0.9995

ขั้นตอนที่ 2 สร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

โดยการสุ่มลำดับของการเดินทางไปยังอบต.ทั้ง 7 ตำบลโดยสัญลักษณ์แทนอบต.ทั้ง 7 ตำบล ดังอธิบายไว้ในตารางที่ 1 ขึ้นมาเป็นประชากรเริ่มต้น ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงประชากรเริ่มต้นของตลาดรุ่งโรจน์

ประชากรเริ่มต้น	จำนวน n ตำแหน่งที่ต้องไปรับสินค้า
	0 1 2 3 4 5 6

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluated)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาค่าความเหมาะสมของประชากรเริ่มต้น ซึ่งหาได้จากผลรวมของระยะทางทั้งหมดของลำดับการเดินทางไปอบต.ทั้ง 7 ตำบลในคำตอบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 3.1 ถอดรหัส (decode) จากประชากรเริ่มต้นไปเป็นลำดับการเดินทางหรือคำตอบที่มีเงื่อนไขและตัวอย่างการถอดรหัสดังนี้ จากประชากรเริ่มต้นในตารางที่ 5

เงื่อนไขที่ 1: ให้รถยนต์เริ่มต้นและกลับมาจอดที่ตลาดเสมอ ตัวอย่าง เช่น

- ลำดับที่ 0 ของเซตคำตอบเป็น 7

- ต่อมาให้รถยนต์คันแรกออกไปรับสินค้าที่ตำแหน่ง 0 ความสามารถในการบรรทุกของรถยนต์ (C_i) ลดลงเหลือ 1,500.99 กิโลกรัม ดังนั้นลำดับที่ 1 ของเซตคำตอบเป็น 0

- ต่อไปรับสินค้าที่ตำแหน่งที่ 1 ค่า C_i ลดลงเหลือ 905.29 กิโลกรัม ดังนั้นลำดับที่ 2 ของเซตคำตอบเป็น 1

- ต่อไปรับสินค้าที่ตำแหน่งที่ 2 ค่า C_i ลดลงเหลือ 394.69 กิโลกรัม ดังนั้นลำดับที่ 3 ของเซตคำตอบเป็น 2

เงื่อนไขที่ 2: หากปริมาณสินค้าที่อบต.ลำดับถัดไปมีมากกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถยนต์คันปัจจุบัน รถยนต์คันนี้จะต้องกลับมาส่งสินค้าที่ตลาด และใช้งานรถยนต์คันถัดไป เช่น

- รถยนต์คันนี้ ถ้าต่อไปรับสินค้าที่ตำแหน่งที่ 3 ค่า C_i จะติดลบซึ่งบ่งบอกว่าปริมาณสินค้าที่รับที่จุดนี้นั้นมีปริมาณมากกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถยนต์คันนี้ จึงต้องเดินทางกลับไปส่งสินค้ายังตลาด ดังนั้นลำดับที่ 4 ของเซต มีคำตอบเป็น 7

- ต่อมาให้รถยนต์ออกมารับสินค้าที่ตำแหน่งที่ 3 ค่า C_i ลดลงเหลือ 1,489.4 กิโลกรัม ดังนั้นลำดับที่ 5 ของเซตคำตอบเป็น 3 และทำต่อไปเรื่อยๆ จนครบ

เงื่อนไขที่ 3: หากลำดับการเดินทางนี้ใช้รถเกินจำนวนที่กำหนดจะทำการสุ่มลำดับของการเดินทางไปยังอบต.ทั้ง 7 ตำบลของคำตอบขึ้นมาใหม่ทั้งหมดและ

ทำการถอดรหัสภายใต้เงื่อนไขซ้ำ ๆ จนกว่าจะได้ลำดับการเดินรถที่ใช้รถในจำนวนที่กำหนด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดความสามารถในการบรรทุกของรถยนต์ และจำนวนรถยนต์แต่ละตลาดที่จะต้องขับรถกลับมาส่งให้สอดคล้องกับปริมาณสินค้าที่ต้องการขนทั้งหมด หรืออาจจะเพิ่มจำนวนรถเพื่อให้กระบวนการหาคำตอบวนซ้ำมากขึ้น ซึ่งได้คำตอบดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงลำดับการเดินทางของรถยนต์รับ-ส่งสินค้าของตลาดรุ่งโรจน์

ลำดับการเดินทาง	จำนวนตำแหน่งรถที่เดินทางทั้งหมด ก ตำแหน่ง (รวมตำแหน่งที่จะเดินทางเข้า-ออก: deport)
รถ	7 0 1 2 7 3 4 5 6 7

ขั้นตอนที่ 3.2 คำนวณค่าความเหมาะสมของคำตอบเริ่มต้นจากผลรวมระยะทางของคำตอบด้วยสมการเป้าหมาย ดังสมการที่ 10

$$Total\ distance = \sum d_{ij} \quad (10)$$

เมื่อ d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างจุดรับสินค้า ซึ่งคืออบต. ทั้ง 7 ตำบล และ จุดส่งสินค้า ซึ่งคือตลาดทั้ง 4 แห่งในช่วงเวลา 00:00-03:00 น.

จากการคำนวณด้วยโค้ดไพธอน จะได้ผลรวมระยะทางของคำตอบเริ่มต้นดังตารางที่ 7 ดังนั้นค่าความเหมาะสมของระยะทางทั้งหมดเป็น 146,600 เมตร หรือ 146.6 กิโลเมตร

ตารางที่ 7 แสดงลำดับแสดงลำดับและระยะทางการเดินทาง

จาก (i) ไปยัง (j)	ระยะทาง (เมตร)
7 --- > 0	30,300
0 --- > 1	8,000
1 --- > 2	12,100
2 --- > 7	13,400
7 --- > 3	25,400
3 --- > 4	12,200
4 --- > 5	8,100
5 --- > 6	13,400
6 --- > 7	23,700
รวม	146,600

ขั้นตอนที่ 3.3 ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรโดยให้ประชากรเริ่มต้นที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2 เป็นประชากรปัจจุบัน คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ผลรวมระยะทางปัจจุบันเป็นระยะทางรวมที่ดีที่สุด และให้อุณหภูมิในปัจจุบัน ($T_{current}$) เท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น (T_{start})

ขั้นตอนที่ 4 พัฒนาคำตอบ (Development Solution)

ในขั้นตอนนี้จะนำประชากรปัจจุบันมาพัฒนาประชากรที่ปรับปรุง (Improvement solution) โดยได้เลือกวิธีการสลับตำแหน่ง (swap) ซึ่งทำการสุ่มค่า (r) ระหว่าง $[0, 1]$ จะได้ผลลัพธ์ ดังในตารางที่ 8 ที่ค่าสุ่มเลือก $r = 0.7890$ สำหรับประชากรปรับปรุง A และสุ่มเลือกค่า $r = 0.5124$ สำหรับประชากรปรับปรุง B

ตารางที่ 8 แสดงการสลับตำแหน่งของเส้นทางมายังตลาดรุ่งโรจน์

ประชากร	A	B
ปัจจุบัน	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
ที่ปรับปรุง	0 1 2 4 3 5 6	2 1 0 3 4 5 6

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

หาค่าที่เหมาะสมของประชากรที่ปรับปรุง โดยการเปรียบเทียบผลรวมระยะทางที่ปรับปรุงกับระยะทางรวมที่ดีที่สุด จากนั้นปรับเปลี่ยนข้อมูลของตัวแปรทั้งหมดสำหรับคำตอบที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์การประเมินความเหมาะสมของตลาดรุ่งโรจน์

ตัวแปร	A	B
คำตอบที่ดีที่สุด	7 0 1 2 7 4 3 5 6 7	7 0 1 2 7 3 4 5 6 7
ระยะทางรวมที่ดีที่สุด	144,400 เมตร	146,600 เมตร
อุณหภูมิปัจจุบัน ($T_{current}$)	1,000	999.5

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขในการหยุด (Termination)

ในการค้นหาคำตอบ อัลกอริทึมจะตรวจสอบอุณหภูมิปัจจุบัน (T_{current}) ถ้าอุณหภูมิปัจจุบันยังมากกว่าอุณหภูมิสุดท้าย (T_{end}) ที่กำหนดไว้ ก็จะทำให้การคำนวณซ้ำในขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 5 ไปจนกระทั่งอุณหภูมิปัจจุบันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิสุดท้าย ถึงจะสิ้นสุดการทำงาน ซึ่งสำหรับกรณีของตลาดรุ่งโรจน์ ค่าของอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 0.995

ขั้นตอนที่ 7 แสดงผลเฉลยที่ดีที่สุด

เมื่อผ่านขั้นตอนที่ 6 โค้ดไพธอนก็จะแสดงผลลัพธ์หรือผลเฉลยที่ดีที่สุดของตัวแปร อาทิ เช่น คำตอบที่ดีที่สุด(best solution) คือลำดับการเดินทางที่ดีที่สุด และระยะทางรวมที่ดีที่สุด(Best distance) ออกมา ผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับตลาดรุ่งโรจน์คือ เส้นทาง: 7 -->1 -->2 -->3 -->7 -->5 -->0 -->6 -->4 -->7 ซึ่งมีระยะทางรวม 130.000 กิโลเมตร โดยขนได้ปริมาณโดยรวม 3,601.39 กิโลกรัม ดังในรูปที่ 3

```
[7, 1, 2, 3, 7, 5, 0, 6, 4, 7]
Route for vehicle 0:
7 Load(0) -> 1 Load(595.7) -> 2 Load(1106.3000000000002) ->
3 Load(1616.9) -> 7 Load(1616.9) ->
Distance of the route: 69000m
Load of the route: 1616.9

Route for vehicle 1:
7 Load(0) -> 5 Load(482.58) -> 0 Load(981.5899999999999) ->
6 Load(1464.1699999999998) -> 4 Load(1964.1699999999998) ->
7 Load(1964.1699999999998)
Distance of the route: 61000m
Load of the route: 1964.1699999999998

Total distance of all routes: 130000m
Total load of all routes: 3581.0699999999997
```

รูปที่ 3 ผลเฉลยที่ดีที่สุดของตลาดรุ่งโรจน์ด้วยโค้ดไพธอน

การวิเคราะห์จำนวนรถยนต์ที่ต้องใช้งาน สามารถวิเคราะห์ได้จากผลเฉลยจากโค้ดไพธอนได้เป็น 2 เส้นทาง ซึ่งใช้รถยนต์ 2 คัน ดังในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 จำนวนรถยนต์ที่ต้องใช้ของตลาดรุ่งโรจน์

รถ	เส้นทาง	ระยะทาง (เมตร)	ปริมาณที่ขน (กิโลกรัม)
1	7 ->3 ->1 ->7	69,000	1671.32
2	7 ->5 ->0 ->6 - >4 ->7	61,000	1,930.07
รวม		130,000	3,601.39

4.2.2 รูปแบบที่ 2: การจัดเส้นทางยานพาหนะตามกรอบเวลา (Time Duration Vehicle Routing Problem: TDVRP)

ใช้ในการค้นหาลำดับการเดินทางที่ให้เวลาในการเดินทางรวมน้อยที่สุด ซึ่งจะให้ความสำคัญกับเวลาในการเดินทางรวมมากกว่าระยะทาง อัลกอริทึมเลียนแบบการอบอุ่นจะเริ่มจากการนำเข้าสู่ข้อมูล 3 ส่วน คือ เมตริกซ์ระยะทาง เมตริกซ์เวลา ปริมาณสินค้าที่ต้องขนในแต่ละ อบต. และความสามารถในการบรรทุกของรถยนต์ ตัวอย่างการค้นหาคำตอบนี้เป็นของตลาดทุ่งคอกเจริญทรัพย์ ซึ่งใช้ขั้นตอนการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณ โดยผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับตลาดทุ่งคอกเจริญทรัพย์ มีจำนวน 3 เส้นทาง ซึ่งมีระยะทางรวม 175.200 กิโลเมตร ขนได้ปริมาณโดยรวม 4,013.57 กิโลกรัม โดยใช้เวลารวมอยู่ที่ 174 นาที ดังในรูปที่ 4

```
[7, 3, 2, 5, 4, 7, 1, 6, 7, 0, 7]
Route for vehicle 0:
7 Load(0) Time(0)-> 3 Load(200.0) Time(32)->
2 Load(520.22) Time(39)-> 5 Load(1365.17) Time(52)->
4 Load(1982.72) Time(59)-> 7 Load(1982.72) Time(80)-
Distance of the route: 76200m
Load of the route: 1982.72
Time of the route: 80min

Route for vehicle 1:
7 Load(0) Time(0)-> 1 Load(670.1) Time(26)->
6 Load(1422.68) Time(34)-> 7 Load(1422.68) Time(56)-
Distance of the route: 55000m
Load of the route: 1422.68
Time of the route: 56min

Route for vehicle 2:
7 Load(0) Time(0)-> 0 Load(608.17) Time(19)->
7 Load(608.17) Time(38)->
Distance of the route: 44000m
Load of the route: 608.17
Time of the route: 38min

Total distance of all routes: 175200m
Total load of all routes: 4013.57
Total time of all routes: 174min
```

รูปที่ 4 ผลเฉลยที่ดีที่สุดของตลาดทุ่งคอกเจริญทรัพย์ด้วย

การวิเคราะห์จำนวนรถยนต์ที่ต้องใช้งาน สามารถวิเคราะห์ได้จากผลเฉลยจากโค้ดไพธอนได้เป็น 3 เส้นทาง ซึ่งใช้รถยนต์ 3 คัน ดังในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 จำนวนรถยนต์ที่ต้องใช้ของตลาดทุ่งคอกเจริญทรัพย์

รถ	เส้นทาง	ระยะทาง (เมตร)	ปริมาณที่ขน (กิโลกรัม)	เวลาเดินทาง (นาที)
1	7-3-2-5-4-7	76,200	1,982.72	80
2	7-1-6-7	55,000	1,422.68	56
3	7-0-7	44,000	608.17	38
รวม		175,200	4,013.57	174

4.2.3 ผลลัพธ์ของการใช้รูปแบบ CVRP สำหรับช่วงเวลา 00:00-03:00 น. และรูปแบบ TDVRP สำหรับช่วงเวลา 12:00-15:00 น. ในรอบ 1 วัน จากการใช้อัลกอริทึมเลียนแบบการอบอ่อนด้วยโคดไฟรอน จะถูกคำนวณสำหรับตลาดทั้ง 8 แห่ง ซึ่งผลจากการคำนวณจะได้จำนวนรถที่ใช้ทั้งหมด 7 คัน และเมื่อรวมจำนวนรถอีก 2 คันที่บริษัทบริษัทซิวาล ซึ่งใช้กับช่วงเวลาที่เหลือ ซึ่งคือช่วง 15:00-00:00 น. และ 03:00-12:00 น. รวมเป็นใช้จำนวนรถทั้งหมด 9 คัน ในรอบ 1 วัน สามารถแสดงผลสรุปดังในตารางที่ 12 สำหรับในรอบ 1 วันและในรอบ 5 ปี (5 ปี คืออายุการใช้งานของรถแต่ละคัน)

ตารางที่ 12 สรุประยะทางรวม น้ำหนักที่บรรทุก และเวลาที่ใช้ในรอบ 1 วัน และในรอบ 5 ปี

ตัวแปร	รอบ 1 วัน	รอบ 5 ปี
ระยะทาง (กิโลเมตร)	2,082.10	5,846,536.80
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	38,739.12	69,730,488.0
ระยะเวลาเดินทาง (นาที)	2,295	4,131,000

4.3 คำนวณจุดคุ้มทุนและกำไร

ใช้ผลเฉลี่ยของการเดินรถไปเก็บสินค้าจากอบต.ต่าง ๆ ไปยังตลาดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังได้กล่าว

มาแล้วในตารางที่ 12 ทำให้มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น คือ ค่าต้นทุนรวม โดยหาได้จากสมการที่ 3 ต้องคำนวณต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษาในสมการที่ 4 และต้นทุนรถยนต์และค่าจ้างพนักงานซึ่งหาได้จากสมการที่ 5 โดยมีข้อมูลพื้นฐานดังในตารางที่ 13 และ 14

จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่าใน 1 วัน รถขนส่งสินค้าจะใช้ระยะทางรวมทั้งหมด 2,082.10 กิโลเมตร และต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษา ($C_g + C_m$) เท่ากับ $1.05 + 0.19 + 0.32 = 1.56$ บาทต่อกิโลเมตร เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 4 จะได้ต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษา

ตารางที่ 13 รายละเอียดสรุปอัตราค่าน้ำมันและบำรุงรักษา

รายการ	มูลค่า
รุ่นของรถยนต์	TOYOTA HILUX REVO 2.4J
อายุการใช้งาน (ปี)	5
ต้นทุนรถยนต์ (บาท/คัน)	509,000
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/กิโลเมตร)	1.05
ราคาสารหล่อลื่น	0.19
ราคายางรถยนต์	0.32

ตารางที่ 14 สรุปข้อมูลต้นทุนและค่าดำเนินงาน

รายการ	มูลค่า
จำนวนรถที่คำนวณ (คัน)	9
ต้นทุนรถยนต์ (บาท/คัน/วัน)	282.78
จำนวนพนักงาน (คน)	9
ค่าจ้าง (บาท/คน/วัน)	300

และเมื่อนำค่าในตารางที่ 14 มาแทนค่าในสมการที่ 5 จะได้ต้นทุนรถยนต์และค่าจ้างพนักงาน

4.3.1 ต้นทุนรวมต่อ 1 วัน และ 5 ปี

นำต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษารวมกับต้นทุนรถยนต์และค่าดำเนินงานจะได้ต้นทุนรวมต่อ 1 วันและนำไปหาต้นทุนรวมต่อ 5 ปี ดังที่แสดงให้เห็นในตารางที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ค่าต้นทุนรวมต่อ 1 วัน

รายการ	จำนวนเงิน (บาท/วัน)
ต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษา	3,060.69
ต้นทุนรถยนต์และค่าจ้างพนักงาน	5,245.00
ต้นทุนรวม	8,305.69

4.3.2 จุดคุ้มทุน (Break-even Point)

จุดคุ้มทุนที่ต้องการหาคือภายใน 5 ปี (อัน

ตารางที่ 15 ค่าต้นทุนรวมต่อ 5 ปี

สรุป	จำนวนเงิน (บาท/ 5 ปี)
ต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษา	5,846,536.80
ต้นทุนรถยนต์และค่าจ้างพนักงาน	9,441,000.00
ต้นทุนรวม	15,287,536.80

เนื่องมาจากสมมติฐานอายุการใช้งานของรถยนต์ 1 คัน คือ 5 ปี) โดยใช้ค่าบริการเท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าบริษัทอื่น ๆ ในตลาดการขนส่ง อาทิ เช่น ค่าบริการของ บริษัทโกโปโลจิสติกส์จำกัด เท่ากับ 6 บาทต่อกิโลกรัม และ บริษัทเอสซีจีโลจิสติกส์จำกัด เท่ากับ 15 บาทต่อกิโลกรัม เป็นต้น

จากสูตรคำนวณจุดคุ้มทุนในสมการที่ 6 ซึ่งมีตัวแปรที่ต้องใช้ คือ ต้นทุนแปรผันการขนส่งสินค้าซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 7 จากตารางที่ 15 ต้นทุนค่าน้ำมันและบำรุงรักษาเท่ากับ 5,846,536.80 บาท/ 5 ปี และ จากตารางที่ 12 น้ำหนักขนส่งรวมเท่ากับ 69,730,488.00 กิโลกรัม เมื่อนำมาแทนค่าในสมการ 7 จะได้ค่าต้นทุนแปรผันการขนส่งสินค้าเท่ากับ 0.08 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อนำค่าที่ได้มาแทนในสมการที่ 6 จะได้จุดคุ้มทุนเท่ากับ 56,820,360.44 กิโลกรัมภายใน 5 ปี หรือเท่ากับ 38,739.12 กิโลกรัมต่อวัน โดยมีระยะเวลาในการคืนทุน 4.02 ปี ดังสรุปได้ในตารางที่ 16 อย่างไรก็ตาม

เมื่อเพิ่มค่าบริการจาก 0.25 บาทต่อกิโลกรัมซึ่งต่ำกว่าบริษัทอื่น ๆ เป็นอย่างมาก ก็จะได้ระยะเวลาในการคืนทุนลดลงอย่างมากเช่นกัน

ตารางที่ 16 จุดคุ้มทุนภายใน 5 ปี

รายการ	มูลค่า
ต้นทุนแปรผันการขนส่งสินค้า (บาทต่อกิโลกรัม)	0.08
ค่าบริการ (บาทต่อกิโลกรัม)	0.25
จุดคุ้มทุน (กิโลกรัม)	56,820,360.44
ระยะเวลาการขนส่ง (ปี)	4.02

4.3.3 กำไร (Profit)

กำไรสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8 โดยคำนวณรายได้จากสมการที่ 9

จากน้ำหนักที่ขนส่งรวมเท่ากับ 38,739.12 กิโลกรัมต่อวัน ค่าบริการเท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อนำค่ามาแทนในสมการที่ 9 จะได้รายได้ต่อวันเท่ากับ 9,684.79 บาท/วัน จากตารางที่ 14 ต้นทุนรวมเท่ากับ 8,305.69 บาท/วัน เมื่อนำรายได้และต้นทุนรวม มาแทนค่าในสมการที่ 8 จะได้กำไร 1,379.10 บาทต่อวัน ดังในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สรุปรายรับรายจ่าย (บาท/วัน)

รายการ	จำนวนเงิน (บาท/วัน)
ต้นทุน	8,305.69
รายได้	9,684.79
กำไร	1,379.10

5. สรุปผลวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำหนักสินค้าเกษตรกรรม ระยะทางขนส่ง และเวลาขนส่ง จากการสอบถามข้อมูลจากอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ที่ติดตามเกษตรกร และ ใช้ Google Map ในการหาระยะทาง และเวลา โดยกำหนดช่วงเวลาที่ทำการขนส่งสินค้า คือ 00:00-03:00 น. และ 12:00-15:00 น. โดยจะทำการเก็บสินค้าจาก 7

ตำบล ได้แก่ ตำบลกำแพงแสน ตำบลดอนข่อย ตำบลทุ่งขวาง ตำบลทุ่งบัว ตำบลรางพิบูล ตำบลสระสี่มุม ตำบลทุ่งกระพังโหม ไปยังจุดส่งสินค้า ตลาดทั้ง 8 แห่ง โดย แบ่งเป็นตอนเช้า 4 ตลาด และ ตอนบ่าย 4 ตลาด ตามลำดับ และ กำหนดให้เวลาที่เหลือ คือช่วง 03.00-12:00 น. และ 15:00-00:00 น. เกษตรกรทั้ง 7 ตำบล จะขนส่งสินค้าไปยัง หจก.ชัชวาลอิมพอร์ตเอ็กซ์พอร์ต แอนด์ แพ็คเกจจิ้งด้วยตนเอง

รูปแบบการขนส่งที่นำมาใช้ได้เลือกให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงเวลา 00:00-03:00 น. สภาพการจราจรคล่องตัว แนวทางของประสิทธิภาพจึงเป็นการบรรจุสินค้าบนรถแต่ละรอบมากที่สุด และระยะทางน้อยที่สุด ซึ่งเหมาะสมกับรูปแบบการจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อตอบสนองอุปสงค์ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) สำหรับช่วงเวลา 12:00-15:00 น. สภาพการจราจรมีความหนาแน่นของรถยนต์บนท้องถนนตั้งแต่ปานกลางจนถึงมาก แนวทางของประสิทธิภาพจึงเป็นให้การขนส่งสินค้าใช้เวลาแต่ละรอบน้อยที่สุด เพื่อให้ทันเวลาการส่งสินค้า ซึ่งเหมาะสมกับรูปแบบการจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้กรอบเวลา (Time Duration Vehicle Routing Problem: TDVRP) โดยทั้งสองรูปแบบจะใช้ อัลกอริทึมเลียนแบบการอบอุ่นในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดออกมาโดยการเขียนโค้ดด้วยภาษาไพธอน

สำหรับช่วงเวลาที่เหลือ 03:00-12:00 น. และ 15:00-00:00 น. หจก.ชัชวาล อิมพอร์ต เอ็กซ์พอร์ต แอนด์แพ็คเกจจิ้ง จำกัด จะเป็นจุดรับสินค้าจากเกษตรกร ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้ ไม่มีการใช้รูปแบบและการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากปริมาณสินค้ามีความไม่แน่นอนสูง และกรอบเวลายังขึ้นอยู่กับลูกค้าแต่ละราย จากผลเฉลยสามารถสรุปได้ว่า เมื่อกำหนดอัตราค่าบริการ เท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัม และจำนวนรถยนต์เท่ากับ 9 คันจะได้จุดคุ้มทุนที่ 56,820,360.44 กิโลกรัม ภายในระยะเวลา 4.02 ปี ซึ่งสามารถขนส่งสินค้าได้ 38,739.12 กิโลกรัมต่อวัน จะมีกำไร 1,379.10 บาทต่อวัน อย่างไรก็ตามค่าบริการจาก 0.25 บาทต่อกิโลกรัมนี้มีราคาต่ำกว่าบริษัทอื่น ๆ เป็นอย่างมาก ซึ่งเมื่อเพิ่มค่าบริการก็จะได้ระยะเวลาในการ

คืนทุนลดลงอย่างมากเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากพ่อค้าแม่ค้าในตลาดที่ได้ให้ความร่วมมือในการสัมภาษณ์เป็นอย่างดี รวมถึงอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านที่ได้ข้อมูลและสถานการณ์ปัจจุบันของเกษตรกร และคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฤทัย สำประเสริฐ และ สรวิชัย เยวสุวรรณไชย, การจัดเส้นทางรถขนส่งที่เวลาในการเดินทางขึ้นอยู่กับช่วงเวลาสำหรับคลังสินค้า รูปแบบการขนส่ง, วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 29 เล่มที่ 96 ฉบับ เมษายน – มิถุนายน 2559
- [2] ทศพร ผงทอง, การวางแผนเส้นทางรถขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึม กรณีศึกษา เส้นทางรถขนส่งขยะ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี, มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, 2559
- [3] นคร ไชยวงศ์ศักดิ์ และ คณะ, การจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาล, วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน., ปีที่ 3 เล่มที่ 1 ฉบับ มกราคม – มิถุนายน 2558
- [4] มณิศรา บารมีชัย และ บุศรินทร์ ศรีสตรียานนท์, ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งสินค้า 2551, ข้อมูลจาก <https://www.iok2u.com/index.php/article/logistics-supply-chain/684-ct51-123> (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มิถุนายน 2563)
- [5] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, ปัญหาการจัดการเส้นทางขนส่ง 2551, ข้อมูลจาก <https://silo.tips/download/6-vehicle-routing-problems-vrp> (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มิถุนายน 2563)
- [6] ปิยรัตน์ งามสนิท, ธรา อังสกุล และ จิตินันต์ อังสกุล, ขั้นตอนวิธีการจำลองการรอบเหี่ยวสำหรับวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไข

บังคับด้านเวลา, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม., ปีที่ 36 เล่มที่ 6 ฉบับ พฤศจิกายน – ธันวาคม 2560

- [7] สุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล, นัทรพงศ์ นันทสำเริง และสมบัติ สินธุเชาวน์, การประยุกต์อัลกอริทึมของวิธีเลียนแบบการอบอุ่นและวิธีเลียนแบบการเควนซึ่งสำหรับปัญหาที่มีเงื่อนไขโดยมีนโยบายราคาเข้ามาเกี่ยวข้อง กรณีศึกษาการหาสถานที่ตั้งโรงงานแปงมันสำปะหลัง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา., ปีที่ 23 เล่มที่ 4 ฉบับ ตุลาคม – ธันวาคม 2555
- [8] กิตติภาพ คนดี, การพัฒนาเทคนิคการกำหนดตำแหน่งติดตั้งโหนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารหลายชั้น, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2557