



การจัดเส้นทางรถรับส่งพนักงานโดยใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย  
กรณีศึกษาบริษัทผลิตชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์

**VEHICLE ROUTING OF EMPLOYEES' SHUTTLE BUS BY USING THE TRAVELING SALESMAN  
PROBLEM: A CASE STUDY OF ELECTRONIC COMPONENTS PRODUCTION COMPANY FOR  
CAR AND MOTORCYCLE**

ประภาพรรณ เกษราพงศ์<sup>1\*</sup> และยศธร ธนบดี<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

<sup>2</sup>นิสิตปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

\*Corresponding author: prapapan@eng.src.ku.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเส้นทางรถรับส่งพนักงานของบริษัทผลิตชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ในเขตจังหวัดชลบุรี ซึ่งมีพนักงานกลุ่มตัวอย่างที่สนใจจำนวน 237 คน คิดเป็นระยะทางในการเดินทางมาทำงานรวม 10,191 กิโลเมตรโดยประมาณ ทำให้มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เกิดขึ้น 1,059.864 กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ (1) เพื่อจัดเส้นทางของรถรับส่งพนักงานซึ่งเป็นสวัสดิการของบริษัท (2) ลดการนำรถส่วนตัวมาใช้ซึ่งทำให้ปัญหาการจราจรและมลภาวะลดลง ซึ่งงานวิจัยจึงทำการแบ่งเขตพื้นที่รับผิดชอบเป็น 12 เขตตามเขตชุมชนและจัดรถให้มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณผู้ใช้บริการ หลังจากนั้นตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาใช้เพื่อจัดเส้นทางของรถรับส่งพนักงานที่เหมาะสม อย่งไรก็ดีการแบ่งเขตทำให้การแก้ปัญหาง่ายขึ้นเนื่องจากขนาดของปัญหาที่เล็กลง ส่งผลให้สามารถหาคำตอบได้โดยใช้ Excel Premium Solver ผลที่ได้คือระยะทางรวมของทุกเขตเท่ากับ 1,209.56 กิโลเมตร และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลง 21.041% ต่อเที่ยว

**คำสำคัญ:** การจัดเส้นทางรถรับส่ง, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย, การขนส่ง

**ABSTRACT**

*This research studied a staff shuttle routing of the electronic components production company for car and motorcycle in Chonburi province. The sample size of this research was 237 employees. Overall distance for travelling to work was 10,191 kilometers approximately. As a result, the carbon footprint to occur was 1,059.864 kilogram/person-kilometer. The objectives of this research were (1) for a staff shuttle routing which is company welfare, (2) to reduce the use of private cars which can affect*

Prapapan Ketsarapong<sup>1\*</sup> and Yodsathon Thanabodee<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha campus.

<sup>2</sup>Undergraduate Student, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering at Sriracha,

Kasetsart University Sriracha campus.

traffic problems and pollutions decreasing. The responsibility areas in this research were divided into 12 districts also to define the appropriate staff shuttle size with the servicer volume. After that, the travelling salesman problem was used for the appropriate staff shuttle routing. However, demarcation areas of responsibility made an easier solution due to the size of the problems had decreased. As a result, the problems can be solved with Excel Premium Solver. The results of this research were the total distance of all route was 1,209.56 kilometers, and a carbon footprint had decreased 21.041% per route.

**KEYWORD:** staff shuttle routing, traveling salesman problem, transportation

## 1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์อุตสาหกรรมรถยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นับตั้งแต่ปี 2559 ซึ่งคาดการณ์ว่าในปี 2561-2562 จะเติบโต 5.5% คิดเป็นจำนวนรถยนต์ประมาณ 2.1 ล้านคัน [1] ประกอบกับภาครัฐมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนในโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (EEC) ในพื้นที่ 3 จังหวัดในภาคตะวันออกคือ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา ซึ่งมี 1 ใน 10 อุตสาหกรรมเป้าหมายคืออุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ลงทุนของกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์เดิม [2,3] ส่งผลให้บริษัทผลิตทางด้านอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ในแถบนี้ขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทหนึ่งที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวอย่างรวดเร็ว อาทิเช่นการเพิ่มจำนวนพนักงาน การจราจร และมลภาวะต่างๆ ที่ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมและสภาพความเป็นอยู่ของพนักงาน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาจึงให้ความสนใจและจัดโครงการเพื่อเป็นการลดต้นทุน โดยเฉพาะทางด้านการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ รวมถึงการดูแลเอาใจใส่พนักงานในด้านสวัสดิการต่างๆ โดยมีความคาดหวังเพื่อให้สภาพความเป็นอยู่และสภาพแวดล้อมของพนักงานดีขึ้น ทำให้พนักงานเกิดความรักในบริษัทรวมถึงลดอัตราการเปลี่ยนงาน

บริษัทกรณีศึกษาจึงได้จัดสวัสดิการรถรับส่งพนักงานในเขตต่างๆ ของจังหวัดชลบุรี ให้กับพนักงาน 12 เขต เนื่องจากปัจจุบันมีพนักงานอาศัยอยู่ในบริเวณที่ทำการศึกษาทั้งสิ้น 237 คน ทำให้มีปริมาณการใช้รถส่วนตัวมากถึง 237 คัน (เมื่อพนักงานแต่ละคนใช้รถส่วนตัวของตนเอง) ทำให้เกิดการจราจรที่หนาแน่น รวมถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้สูง ส่งผลให้ในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองมาก โดยงานวิจัยนี้จะสามารถลดการใช้รถส่วนตัว แก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดเนื่องจากปริมาณรถที่มีมาก การมาทำงานสาย และลดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากท่อไอเสีย ดังนั้นนักวิจัยจึงนำเสนอการจัดเส้นทางรถรับส่งพนักงานในแต่ละเขตโดยใช้ตัวแบบของพนักงานขาย เพื่อให้เส้นทางแต่ละเขตที่ได้มีระยะทางเหมาะสมที่สุด

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การขนส่งเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการประกอบธุรกิจในปัจจุบันทั้งในเรื่องของการขนส่งสินค้าและบริการ สวัสดิการของพนักงาน วัตถุประสงค์ เป็นต้น การขนส่งที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ล้วนเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้น โดยไม่มีการเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้าและผลิตภัณฑ์ แต่จัดเป็นต้นทุนที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ทำให้หลายๆ ภาคส่วนให้ความสนใจมากขึ้น และนำมาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ไพจิตร [4] ได้ทำการศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมของรถเก็บขยะที่อยู่ในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลท่า

ศาลา ทั้งหมด 11 หมู่บ้าน โดยใช้การเปรียบเทียบผลระหว่างการเดินรถเก็บขยะแบบดั้งเดิมกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ผลการศึกษาพบว่าวิธี GA ให้ผลที่ดีกว่า โดยระยะทางสั้นลงร้อยละ 9.252 เวลาลดลงร้อยละ 6.55 ซึ่งทำให้สามารถลดเวลาในการทำงานของพนักงานและค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เช่นเดียวกับ Rai *et al.* [5] ได้นำ GA มาแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก ไพทอร์ย์ [6] นำการจัดเส้นทางยานพาหนะมาช่วยในการลดต้นทุนการขนส่งและการกระจายสินค้า ซึ่งจัดเป็นต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับด้านอื่นซึ่งผลจากการศึกษาสามารถทำให้ต้นทุนลดลงร้อยละ 18.15 จากเดิม กาญจนา [7] ศึกษาการจัดการขนส่งน้ำมันหล่อลื่น โดยใช้รถบรรทุก 4 ล้อ และนำการจัดเส้นทางด้วยคอมพิวเตอร์มาใช้ทำให้เกิดความถูกต้อง แม่นยำ และสะดวก รัฐกร [8] ใช้วิธีอณาจักรมดในการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับส่งสินค้าหลายจุด โดยมีเงื่อนไขของรอบเวลาและข้อจำกัดของเวลาในการทำงาน พรพรรณ และเรืองศักดิ์ [9] นำวิธีมูลค่าประหยัด (Savings) และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (Fuel Consumption Rate) ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถของสินค้าอุปโภคและบริโภคพบว่าระยะทาง เวลา และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลดลง ฤทัย และสรวิชัย [10] พัฒนาแบบจำลองการขนส่งของอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้โปรแกรม Lingo และคำนึงถึงเวลาในการเดินทางแต่ละวัน การจัดตารางและการจัดรถขาออกของการจัดคลังแบบครอสดีค ผลที่ได้คือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำสุดภายในระยะเวลาที่กำหนด วิรลพัชร [11] เปรียบเทียบการออกแบบเส้นทางรถท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา 3 วิธีคือ เรียงตามความนิยม เรียงตามอัลกอริทึมละโมบ และเรียงตามการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งจากการวิจัยการเรียงตามการเดินทางของพนักงานขายให้ระยะทางที่สั้นที่สุดประหยัดที่สุดในเวลา 90 นาที พลอยพรรณ [12] ได้ใช้ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายในการออกแบบการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งเครื่องสำอางในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งกำหนดระยะทางไปกลับเท่ากันและใช้วิธีการหาค่าตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest neighbor heuristic) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing algorithm) ผลที่ได้คือ วิธีการจำลองการอบเหนียวสามารถให้คำตอบที่ดีกว่า จตุรงค์ และปานวิทย์ [13] เปรียบเทียบวิธีการหาค่าตอบโดยใช้พาดิเคิล สวอม ออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimization, PSO) กับการปรับปรุงวิธี PSO ประยุกต์กับวิธีกายพันธุ์ (Mutation Operator) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ การประยุกต์ใช้วิธีกายพันธุ์ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ดวงเดือน [14] ศึกษากระบวนการวางแผนการเดินทางอัตโนมัติเพื่อใช้ในการจัดเส้นทางวางแผนการท่องเที่ยวโดยใช้หลักการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในการคัดเลือกสถานที่ท่องเที่ยว เสกสรรค์ และคณะ [15] ประยุกต์ใช้ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายกับตารางนำเที่ยวของเทศบาลนครเชียงราย ซึ่งระยะทางรวมที่ได้สั้นกว่าเดิมคิดเป็นร้อยละ 9.075 พชรลักษณ์ [16] ค้นหาเส้นทางเดินรถไปหาลูกค้าโดยใช้วิธีค้นหาแนวลึก (Depth first search) ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางลดลงและระยะทางในการเดินทางที่ลดลง ชวันลักษณ์ [17] จัดเส้นทางรถให้บริการลูกค้าตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์ทางวิศวกรรมในเขตจังหวัดสงขลา กระบี่ นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานีจำนวน 33 จุด โดยการพัฒนาระบบพนักงานขายบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล ดนัย [18] พัฒนาระบบโลจิสติกส์เพื่อจัดการสวัสดิการรถรับส่งพนักงานโดยแบ่งการดำเนินการเป็น 3 ระยะ คือ การปรับขนาดรถ การจัดเส้นทางเดินรถใหม่ และการขยายเส้นทางรถบริการเพื่อรองรับพนักงานในอนาคต นคร และคณะ [19] นำเสนอเส้นทางในการขนส่งน้ำโดยเปรียบเทียบวิธีการเซฟวิ่งอัลกอริทึมกับตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายพบว่าตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายให้ระยะที่สั้นกว่าวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม อนันต์ และคณะ [20] พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ใน

การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงาน โดยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานชายในกรณีที่มีข้อจำกัดของเชื้อเพลิงชนิด CNG ในขณะที่ Bonomi and Lutton [21] ได้ทำการศึกษาปัญหาพนักงานชายที่ต้องเดินทาง N เมืองใหญ่ทำให้มีทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด  $(N-1)!/2$  เมื่อ N มีขนาดใหญ่มากพบว่าวิธี Metropolis Algorithm สามารถแก้ปัญหาได้ในเวลารวดเร็ว

ดังนั้น จะเห็นได้ว่านักวิจัยได้ให้ความสำคัญกับปัญหาการขนส่งอย่างต่อเนื่อง โดยนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งในที่นี้ได้้นำตัวแบบการเดินทางของพนักงานชายมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงเส้นทางรถรับส่งพนักงาน และทำให้ระดับค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำลงจากการลดระยะทางและการใช้รถส่วนตัว

### 3. ระเบียบวิธีการวิจัย

#### 3.1 สมมติฐานและขอบเขตงานวิจัย

บริษัทกรณีศึกษามีการแบ่งเขตการให้บริการรถรับส่งพนักงานเป็น 12 เขตคือ สัตหีบ 9 กิโลเมตร ไร่กล้วย เพชรสุวรรณ โรงโป๊ะ ชลบุรี ทุ่งคราดบ้านนา ซากยายจิ้น เคหะ อุดมกิตต์ ตลาดโต้ง และสีมูมเมือง รวมจำนวนพนักงานทั้งสิ้น 237 คน สำหรับการรับส่งพนักงานจะใช้รถบัส 6 ล้อ 11 คันสามารถบรรทุกได้ 30 คนต่อคัน (ไม่รวมคนขับ) และรถตู้ 4 ล้อ 1 คันสามารถบรรทุกได้ 13 คนต่อคัน (ไม่รวมคนขับ) และรถทุกคันเติมน้ำมันดีเซล กำหนดให้ระยะทางระหว่างจุดรับส่งแต่ละจุดเป็นแบบสมมาตร (ไปกลับเท่ากัน) และงานวิจัยนี้ไม่พิจารณาถึงเวลา ช่วงการจราจรหนาแน่น และช่วงเวลารถติดไฟแดง

#### 3.2 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งผู้โดยสาร

หาญพล [22] ได้กล่าวว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร หมายถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในองค์กรในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งตามแต่ละกิจกรรมขององค์กรนั้นๆ โดยการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรมีมาตรฐานสากลคือ ISO14064-1 แต่สำหรับประเทศไทยจะมีองค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้ออกแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ชนิดของก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาจะสอดคล้องกับชนิดของก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภทแรก การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร เป็นกิจกรรมที่องค์กรปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในองค์กร การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่ง การปล่อยก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสียเป็นต้น ประเภทที่ 2 คือ การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานขององค์กร เช่น พลังงานไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่องค์กรนำมาใช้เป็นต้น ประเภทสุดท้าย คือการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ที่ไม่อยู่ในประเภทที่ 2 เช่น น้ำประปา การใช้กระดาษ การใช้วัตถุดิบ การเดินทางของพนักงานที่ใช้ยานพาหนะส่วนตัว เป็นต้น ผลรวมที่ได้จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรจะแสดงในหน่วยของตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$CO_2eq = A_i \times EF_i \quad (1)$$

เมื่อ

$CO_2eq$  คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg  $CO_2eq$ ) ในแต่ละกิจกรรม

$A_i$  คือ ข้อมูลกิจกรรม  $i$  (Activity data)

$EF_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ของกิจกรรม  $i$

สำหรับการขนส่งมีอยู่หลายประเภทซึ่งแต่ละประเภทจะมีการปล่อยมลพิษแตกต่างกัน วิธีที่จะวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่นิยมใช้คือ การดูการปล่อย CO<sub>2</sub> ต่อผู้โดยสารและระยะทางที่เดินทาง และจากข้อมูลโดยเฉลี่ยพบว่า การขนส่งโดยใช้รถบัสจะเกิดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> 68 กรัม/คน-กิโลเมตร การขนส่งโดยใช้รถตู้จะเกิดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> 14 กรัม/คน-กิโลเมตร และการขนส่งโดยใช้รถส่วนบุคคลจะเกิดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> 104 กรัม/คน-กิโลเมตร [23] ซึ่งสามารถนำค่าการเกิดปริมาณ CO<sub>2</sub> ของการใช้รถส่วนบุคคล รถบัส และรถตู้ มาคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนการปรับปรุงได้ดังตารางที่ 3 และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุงได้ดังตารางที่ 5

### 3.3 การดำเนินการ

ปัจจุบันบริษัทมีรถบริการจำนวน 12 คัน ประกอบด้วยรถบัสและรถตู้ ซึ่งมีความสามารถในการบรรทุกทุกคนได้ทั้งหมด 343 คน หากใช้ในการบริการพนักงานจำนวน 237 คน ทำให้จำนวนที่นั่งมีเพียงพอในการรองรับจำนวนพนักงานที่เพิ่มขึ้นในอนาคต แต่การเดินทางในปัจจุบันเกิดการซ้อนทับกันของเส้นทางของรถบริการทำให้ต้องการจัดเส้นทางรถบริการเพื่อให้เดินทางเหมาะสมที่สุด โดยทำการแบ่งพื้นที่แต่ละเขตทั้ง 12 เขตตามชุมชนต่างๆ ของจังหวัดชลบุรี และวัดระยะทางจาก google map โดยทำการรวมจุดของพนักงานที่อยู่ติดกัน เช่น อยู่ในซอยเดียวกัน อพาร์ทเมนต์เดียวกัน หรือหมู่บ้านเดียวและใกล้เคียงกัน ทำให้เหลือจุดบริการ 107 จุด โดยได้แสดงตัวอย่างระยะทางที่วัดได้ของเขตเมืองชลบุรีดังตารางที่ 1 ซึ่งแบ่งเป็นจุดรับส่งพนักงานทั้งหมด 9 จุด และมีตัวอย่างจำนวนพนักงานในแต่ละจุดรับส่งของเขตเมืองชลบุรีรวมถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละจุดรับส่งดังแสดงในตารางที่ 2 อีกทั้ง ได้ทำการสรุปข้อมูลของทั้ง 12 เขตไว้ในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างระยะทางไปกลับของเขตเมืองชลบุรี ( $D_{ij}$ ) (หน่วย กิโลเมตร)

$D_{ij}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	77.4	76.6	60.2	56.4	65.2	64	76.8	61.5	60.3
1	77.4	0	22	44.7	40.9	39	37	27.7	34.4	32.2
2	76.6	22	0	19.8	23.9	26.5	30.5	22.7	31.6	32.4
3	60.2	44.7	19.8	0	4.4	7	11	19.6	12.2	12.9
4	56.4	40.9	23.9	4.4	0	2.9	6.9	2.1	8.1	8.8
5	65.2	39	26.5	7	2.9	0	4	5.3	5.2	6
6	64	37	30.5	11	6.9	4	0	6.3	5	4.2
7	76.8	27.7	22.7	19.6	2.1	5.3	6.3	0	8.1	28.9
8	61.5	34.4	31.6	12.2	8.1	5.2	5	8.1	0	0.8
9	60.3	32.2	32.4	12.9	8.8	6	4.2	28.9	0.8	0

หมายเหตุ จุดที่ 0 คือ บริษัท ส่วนจุดอื่นๆ คือจุดบริการรับส่งพนักงาน

ตารางที่ 2 จำนวนพนักงานในแต่ละจุดรับส่งของพนักงานเขตเมืองชลบุรี และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนการปรับปรุง

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	รวม
จำนวนพนักงาน (คน)	2	1	1	2	1	1	1	1	2	12
ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร)	13.312	6.6248	4.7736	12.6256	6.2296	6.3232	6.5416	6.5832	13.4368	76.4504

ตารางที่ 3 จำนวนจุดรับส่งพนักงาน จำนวนพนักงานในแต่ละเขต ระยะทางก่อนปรับปรุง คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และรถที่ใช้ในแต่ละเขต

เขตที่	เขต	จำนวนจุดรับส่ง	จำนวนพนักงาน (คน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร)	รถที่ใช้
1	สัตหีบ	14	23	1,457.4	151.5696	รถบัส
2	9 กิโลเมตร	13	18	717.6	74.6304	รถบัส
3	ไร่กล้าย	13	24	869.6	90.4384	รถบัส
4	เพชรสุพรรณ	12	21	822.4	85.5296	รถบัส
5	โรงโม่	11	22	1,127.1	117.2184	รถบัส
6	เมืองชลบุรี	9	22	735.1	76.4504	รถตู้
7	ทุ่งกรดบ้านนา	8	24	540.3	56.1912	รถบัส
8	ชากยายจีน	7	23	859.9	89.4296	รถบัส
9	เคหะ	7	19	918.4	95.5136	รถบัส
10	อุดมกิตต์	5	19	513.2	53.3728	รถบัส
11	ตลาดไต้รุ่ง	4	24	954	99.216	รถบัส
12	สี่มุมเมือง	4	18	676	70.304	รถบัส
รวม		107	237	10,191	1,059.864	

หมายเหตุ การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นการคำนวณโดยใช้ระยะทางเฉลี่ยจากจุดรับส่งแต่ละจุดก่อนการปรับปรุง

### 3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของการเดินทางของพนักงานขาย เมื่อ  $i, j$  คือดัชนีของจุดบริการที่  $i$  และ  $j$  ตามลำดับ และ  $i, j = 1, 2, \dots, n$  และ  $D_{ij}$  แทนระยะทางจากจุดบริการที่  $i$  ไปจุดบริการ  $j$  จะได้สมการคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{Min } \sum_{i \neq j} D_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n X_{ij} = 1; \quad \forall j \tag{3}$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n X_{ij} = 1; \quad \forall i \tag{4}$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S|-1; \quad 2 \leq |S| \leq n-1 \tag{5}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \tag{6}$$

สมการที่ (2) หาค่าระยะในการเดินทางรวมทั้งสั้นที่สุด สมการที่ (3) คือการตัดสินใจเดินทางจากจุดบริการที่  $i$  ไปยังจุดบริการที่  $j$  ได้เพียง 1 จุด สมการที่ (4) คือการตัดสินใจเดินทางออกจากจุดบริการที่  $j$  ไปยังจุดบริการที่  $i$  ได้เพียง 1 จุด สมการที่ (5) คือสมการกำจัดทัวร์ย่อยโดย  $S$  เป็นเซตทัวร์ย่อย ซึ่งเดินทางไปจุดบริการไม่ครบทุกจุด และ  $|S|$  แทนปริมาณของจุดบริการในทัวร์ย่อย สมการที่ (6) คือตัวแปรตัดสินใจเมื่อมีการเดินทางจากจุดบริการที่  $i$  ไปยังจุดบริการที่  $j$  จะมีค่าเท่ากับ 1 และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการเดินทางในกลุ่มนั้น

#### 4 ผลการดำเนินการวิจัย

##### 4.1 ตัวอย่างการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การเดินทางของพนักงานขาย

ตัวอย่างการใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการเดินทางของพนักงานขายในการจัดเส้นทางของเขตเมืองชลบุรี ซึ่งมีระยะทางรวม 126.2 กิโลเมตร เมื่อกำหนดให้  $x_{ij}$  แทนการเดินทางจากโหนดที่  $i$  ไปยังโหนดที่  $j$  มีรายละเอียดในการคำนวณตามสมการที่ (2) ถึงสมการที่ (6) ดังนี้

สมการเป้าหมาย จะได้

$$\text{Min } 77.4x_{0,1} + 76.6x_{0,2} + 60.2x_{0,3} + \dots + 28.9x_{9,7} + 0.8x_{9,8}$$

สมการข้อจำกัดแต่ละโหนดจะต้องมีการเดินทางเข้าเพียง 1 ครั้ง

$$\begin{aligned} x_{1,0} + x_{2,0} + x_{3,0} + x_{4,0} + x_{5,0} + x_{6,0} + x_{7,0} + x_{8,0} + x_{9,0} &= 1 \\ x_{0,1} + x_{2,1} + x_{3,1} + x_{4,1} + x_{5,1} + x_{6,1} + x_{7,1} + x_{8,1} + x_{9,1} &= 1 \\ x_{0,2} + x_{1,2} + x_{3,2} + x_{4,2} + x_{5,2} + x_{6,2} + x_{7,2} + x_{8,2} + x_{9,2} &= 1 \\ &\vdots \\ x_{0,9} + x_{1,9} + x_{2,9} + x_{3,9} + x_{4,9} + x_{5,9} + x_{6,9} + x_{7,9} + x_{8,9} &= 1 \end{aligned}$$

สมการข้อจำกัดแต่ละโหนดจะต้องมีการเดินทางออกเพียง 1 ครั้ง

$$\begin{aligned} x_{0,1} + x_{0,2} + x_{0,3} + x_{0,4} + x_{0,5} + x_{0,6} + x_{0,7} + x_{0,8} + x_{0,9} &= 1 \\ x_{1,0} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} + x_{1,6} + x_{1,7} + x_{1,8} + x_{1,9} &= 1 \\ x_{2,0} + x_{2,1} + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,5} + x_{2,6} + x_{2,7} + x_{2,8} + x_{2,9} &= 1 \\ &\vdots \\ x_{9,0} + x_{9,1} + x_{9,2} + x_{9,3} + x_{9,4} + x_{9,5} + x_{9,6} + x_{9,7} + x_{9,8} &= 1 \end{aligned}$$

แต่ละโหนดเมื่อเดินทางออกไปแล้วจะไม่เดินทางกลับมาที่โหนดเดิมอีก

$$\begin{aligned} x_{0,1} + x_{1,0} &\leq 1 \\ x_{0,2} + x_{2,0} &\leq 1 \\ x_{0,3} + x_{3,0} &\leq 1 \\ &\vdots \\ x_{7,9} + x_{9,7} &\leq 1 \\ x_{8,9} + x_{9,8} &\leq 1 \end{aligned}$$

เมื่อหาคำตอบโดยใช้ Excel Premium Solver พบว่า ในรอบแรกเกิดทัวร์ย่อยขึ้น 2 เส้นทาง คือ 0-3-1-2-4-6-5-0 และ 7-9-8-7 ดังนั้น  
ต้องทำการกำจัดทัวร์ย่อยโดยการเพิ่มข้อจำกัด คือ

$$\begin{aligned} x_{7,9} + x_{9,8} + x_{8,7} &\leq 2 \\ x_{9,7} + x_{8,9} + x_{7,8} &\leq 2 \end{aligned}$$

ซึ่งในเขตเมืองชลบุรีจะต้องทำการเพิ่มสมการข้อจำกัดทั้งหมด 11 ครั้ง จึงไม่เกิดทัวร์ย่อย โดยได้เส้นทางการเดินทางของรถรับส่ง  
คือ 0-3-1-2-4-7-9-8-6-5-0 และในเขตอื่นๆ ต้องทำการเพิ่มทัวร์ย่อยดังนี้ สัตหีบ 13 ครั้ง 9 กิโลเมตร 3 ครั้ง ไร่กล้วย 5 ครั้ง เพชร  
สุวรรณ 3 ครั้ง ทุ่งคราดบ้านนา 3 ครั้ง ซากยายจีน 7 ครั้ง และเคหะ 4 ครั้ง ส่วนในเขตโรงโม่ อุดมกิตต์ ตลาดไต้รุ่ง และสี่มุมเมือง  
ไม่เกิดทัวร์ย่อยทำให้ไม่ต้องเพิ่มข้อจำกัด ซึ่งสามารถสรุปเส้นทางที่ได้จากตัวแบบการเดินทางของพนักงานได้ดังตารางที่ 5

#### 4.2 ตัวอย่างการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุงเส้นทางของเขตเมืองชลบุรี

ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเขตเมืองชลบุรี ซึ่งใช้รถตู้ในการรับส่งพนักงานดังนั้นจะมีค่า  
CO<sub>2</sub> เท่ากับ 0.014 กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร และใช้สมการที่ (1) ในการคำนวณหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จาก จำนวนคน × ระยะทาง  
× ปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นต่อคน ดังแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนคนสะสมในแต่ละจุดและค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร) แต่ละช่วงของเส้นทาง

เส้นทาง	0 ไป 3	3 ไป 1	1 ไป 2	2 ไป 4	4 ไป 7	7 ไป 9	9 ไป 8	8 ไป 6	6 ไป 5	5 ไป 0	รวม
จำนวนคนสะสม	1	2	3	5	6	8	9	11	12	13	13
ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้น	0.6426	0.0252	0.0448	0.42	0.539	0.2016	0.182	0.385	0.2688	10.9018	13.6108

ซึ่งจะได้ผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้ง 12 เขต ดังตารางที่ 5 ดังนี้



ตารางที่ 5 เส้นทางที่ได้จากตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายในแต่ละเขต

เขต	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร)
สัตหีบ	0-14-1-2-3-4-7-5-6-10-8-9-11-13-12-0	189.5	149.8788
9 กิโลเมตร	0-10-1-2-13-7-3-4-5-6-9-8-11-12-0	105.66	72.67704
ไร่กสิวิชัย	0-10-9-5-8-3-2-4-6-13-7-12-1-11-0	87.2	83.2184
เพชรสุพรรณ	0-11-8-2-3-1-6-7-12-5-9-4-10-0	86.2	66.7964
โรงโป๊ะ	0-5-2-4-1-3-7-9-8-6-10-11-0	117.7	87.3324
เมืองชลบุรี	0-3-1-2-4-7-9-8-6-5-0	126.2	13.6108
ทุ่งกรดบ้านนา	0-6-3-2-1-4-5-7-8-0	64.25	28.4172
ชากยายจิ้น	0-7-5-4-1-2-3-6-0	81.9	73.5624
เคหะ	0-3-2-4-6-5-7-1-0	129.2	88.3048
อุดมกิตต์	0-1-3-4-5-2-0	51.6	33.5852
ตลาดไต้รุ่ง	0-2-1-3-0	93.4	87.1284
สี่มุมเมือง	0-3-1-2-4-0	76.75	52.3702
รวม		1,209.56	836.8824

## 5 อภิปรายและสรุป

จากการศึกษาการจัดเส้นทางรถรับส่งพนักงาน โดยใช้หลักการแบ่งเขตพื้นที่รับผิดชอบและใช้ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขาย พบว่า ทำให้ระยะทางรวมของทุกเขตเท่ากับ 1,209.56 กิโลเมตร ซึ่งหากเทียบกับระยะทางที่พนักงานแต่ละคนนำรถส่วนตัวมาใช้จะมีระยะทางรวมถึง 10,191 กิโลเมตร ทำให้การนำรถรับส่งพนักงานมาใช้นอกจากจะเป็นสวัสดิการให้แก่พนักงานแล้ว ยังช่วยประหยัดทรัพยากรทางด้านเชื้อเพลิง ป้องกันการเกิดจราจรที่ติดขัด อีกทั้ง การจัดเส้นทางโดยใช้ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายทำให้ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลงจาก 1,059.864 กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร เหลือ 836.8824 กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร ต่อเที่ยวของการรับส่ง นั่นหมายความว่าใน 1 วันสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ 445.9632 กิโลกรัม/คน-กิโลเมตร

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Pramualcharoenkit. แนวโน้มปี 2561-2562 จะเติบโต. S. Somboon Advance Technology (SAT). Thailand, 2018.
- [2] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. SME ไทยก้าวทันกระแสยานยนต์ ยุค 4.0 แล้วหรือยัง. K SME Analysis, 2560.
- [3] สภาอุตสาหกรรมระยอง. Eastern Economic Corridor EEC. Thailand, 2561.
- [4] ไพจิตร อุปถัมภ์. การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ: กรณีศึกษาขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.

- [5] Rai, K. *et al.* Research Paper on Travelling Salesman Problem And it ' s Solution Using Genetic Algorithm. *International journal of innovative research in technology*, 2014, 1 (11), pp. 103–114.
- [6] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร. การลดต้นทุนการขนส่งโดยการจัดเส้นทางพาหนะที่เหมาะสม กรณีศึกษา ธุรกิจเครื่องดื่มนานม. *วารสารปัญญาภิวัฒน์*, 2557, 5 (พิเศษ), หน้า 272–279.
- [7] กาญจนา ลีมวัฒนากุล. *การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าและการจัดการพื้นที่ที่รอบรรทุก 4 ล้อสำหรับขนส่งน้ำมันหล่อลื่น*. วิทยาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2558.
- [8] รัฐกร แดงแสงจันทร์. *การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อส่งสินค้าหลายจุดที่มีเงื่อนไขรอบเวลาและข้อจำกัดเวลาการทำงาน*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2558.
- [9] พรพรรณ โตโกชนพันธุ์ และคณะ. การจัดการเส้นทางเดินรถเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้ต่ำสุด ภายใต้ข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้า: กรณีศึกษาบริษัทจำหน่ายสินค้าประเภทอุปโภคบริโภค. *วารสารวิชาการบริหารธุรกิจสมาคมอุรุมศึกษาแห่งประเทศไทย (สสอท.)*, 2558, 4 (1), หน้า 92–101.
- [10] จุฬัย ส่ำประเสริฐ และคณะ. การจัดการเส้นทางเดินรถขนส่งที่เวลาในการเดินทางขึ้นอยู่กับช่วงเวลา สำหรับคลังสินค้ารูปแบบบรอดสตรีต. *KASETSART ENGINEERING JOURNAL*, 2559, 29 (96), หน้า 53–64.
- [11] วิรัตน์ สว่างญาติ. การเปรียบเทียบ 3 วิธี ในการออกแบบเส้นทางท่องเที่ยว กรณีศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารรังสิตบัณฑิตศึกษาในกลุ่มธุรกิจและสังคมศาสตร์*, 2561, 4 (2), หน้า 64–77. DOI: 10.14456/jrgbsrsangsit.2018.17
- [12] พลอยพรรณ ศรีกิจการ และคณะ. การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางเดินรถขนส่งเครื่องสำอาง : กรณีศึกษา. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*, 2556, 7 (2), หน้า 42–48.
- [13] จตุรงค์ ศรีบริกิจ และคณะ. การปรับปรุง พาติเคิล สวอม ออปติไมเซชัน โดยการประยุกต์การกลายพันธุ์ สำหรับการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย. ใน: *การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7. ประเทศไทย*, 2558, หน้า 255–259.
- [14] ดวงเดือน อัสวสุธิกุล. กระบวนการวางแผนการเดินทางอัตโนมัติ. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 2558, 11 (1), หน้า 12–21.
- [15] เสกสรรค์ วินยางค์กุล และคณะ. การประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน กรณีศึกษาการจัดเส้นทางรถรางนำเที่ยวของเทศบาลนครเชียงราย. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์*, 2557, 7 (2), หน้า 85–97.
- [16] พชรลักษณ์ รัชธรรมจิรสุข. การศึกษารูปแบบการจัดเส้นทางเพื่อทำการวางแผนการเดินทางของพนักงานขาย. ใน: *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7. ประเทศไทย*, 2557, หน้า 185–192.
- [17] ชวันลักษณ์ สุวรรณรัตน์. *การจัดเส้นทางสำหรับการให้บริการลูกค้าของตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์ทางวิศวกรรมในภาคใต้ของประเทศไทย*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2560.
- [18] คณัฏ จิตต์ธีรภาพ. *การเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อบริหารจัดการรถบริการ รับ-ส่ง พนักงาน*. ประกาศนียบัตรชั้นสูงการบริหารเศรษฐกิจสาธารณะสำหรับนักบริหารระดับสูง, สถาบันพระปกเกล้า, 2552.
- [19] นลร ไชยวงศ์ศักดิ์ และคณะ. การจัดการเส้นทางขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, 2558, 3 (1), หน้า 51-61.
- [20] อนันต์ มุ่งวัฒนา และคณะ. ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง. ใน: *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555*. เพชรบุรี, 2555, หน้า 104–109.
- [21] Bonomi, E. *et al.* The N -City Travelling Salesman Problem: Statistical Mechanics and the Metropolis Algorithm . *SIAM Review*, 2005, 26 (4), pp. 551–568. DOI: 10.1137/1026105
- [22] หาญพล พึ่งรัตน์. *การประเมินวัฏจักรชีวิต: หลักการและการประยุกต์*, พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ท่าพระจันทร์, 2559.
- [23] European Environment Agency. *Carbon dioxide emissions from passenger transport*. 2016.