การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ โดยวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด: กรณีศึกษา สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี

Solving a Vehicle Routing Problem for Medical Equipment Maintenance by Saving Algorithms : A Case Study of Ubon Ratchathani Provincial Health Office

กนกวรรณ สุภักดี บธ.ม. (Kanokwan Supakdee, M.Business.)[1]

นัทธพงศ์ นันทสำเริง ปร.ด. (Natthapong Nanthasamroeng, Ph.D.)[2]

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส Ph.D. (Rapeepan Pitakaso, Ph.D.)[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีจุดมุ่งหมายที่จะแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปทำซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวน 316 แห่งใน 25 อำเภอของจังหวัดอุบลราชธานี ด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางวิธีปัจจุบัน วิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ และวิธีการจัดเส้นทางแบบอัลกอริทึมแบบประหยัด ผลการวิจัยพบว่า วิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีปัจจุบัน 42.31% วิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ 8.33% และวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด 3.20%

คำสำคัญ : ปัญหาการจัดเส้นทาง, อัลกอริทึมแบบประหยัด, การจัดกลุ่ม

Abstract

This experimental study aimed to solve a vehicle routing problem to decrease the transportation cost for medical equipment maintenance at 316 Sub-district Health Promoting Hospitals in 25 Districts of Ubon Ratchathani. This experiment employed the modified saving algorithms. In addition, the experiment was compared with current routing method, district clustering method, and saving algorithms technique. The study found that the modified saving algorithms can reduce the transportation cost. This is considered lower cost than the current routing method 42.31%, the district clustering method 8.33% and the saving algorithm technique 3.20%.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Saving Algorithms, Clustering

---

[1]นักศึกษาปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[2]อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

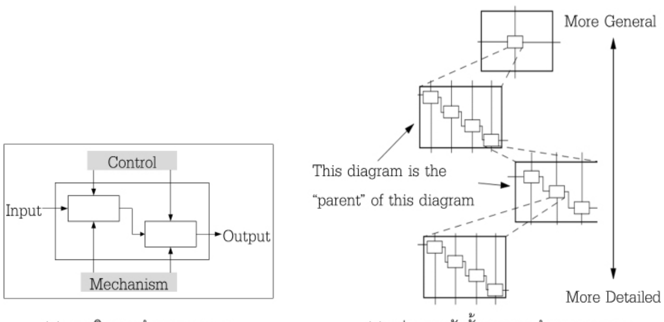
[3]รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ประเทศไทยมีพัฒนาการด้านสุขภาพมายาวนาน ทำให้คุณภาพชีวิตของคนไทยดีขึ้นมากเห็นได้จากโรคติดเชื้อสำคัญลดลง อัตราทารกตายและอัตรามารดาตายลดลงมาก คนไทยมีอายุเฉลี่ยสูงขึ้นมาก และมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญจากการดำเนินนโยบายของรัฐบาล คือ การสร้างหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้าซึ่งทำให้ประชาชนทุกคนเข้าถึงบริการสาธารณสุขได้ ที่ว่าระบบบริการที่มีอยู่ยังไม่อาจทำให้คนใช้บริการได้อย่างถูกที่ถูกทาง ประชาชนมักจะเชื่อถือและไปแออัดอยู่ที่โรงพยาบาลขนาดใหญ่ แม้ว่าโรคส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องให้แพทย์ทำการรักษา โดยเฉพาะแพทย์เฉพาะทางการส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรคยังถูกละเลย และมีการลงทุนด้านนี้น้อยทั้งๆ ที่ต้นทุนต่ำกว่าการรักษาเมื่อเจ็บป่วย และแนวโน้มการเกิดโรคที่เป็นภาระต่อสังคมและประเทศชาติ เปลี่ยนเป็นโรคเรื้อรังที่เกิดจากพฤติกรรมและสามารถป้องกันได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคมะเร็ง การยกระดับสถานีอนามัยที่มีกว่า 9 พันแห่ง เป็นโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) จึงเป็นจุดเปลี่ยนระบบสาธารณสุขครั้งสำคัญที่จะพัฒนาระบบบริการสุขภาพของประเทศไทย (ศุภกิจ ศิริลักษณ์, 2553)

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งมีบทบาทในหน้าที่ในการส่งเสริมสนับสนุนให้ประชาชนมีความพร้อมและพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้อง สิ่งที่ต้องพัฒนาควบคู่ไปด้วยกันกับการพัฒนาสถานีอนามัยให้มีมาตรฐานในการรักษา คือ เครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องให้มีการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ประจำสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจำนวน 316 แห่ง ตามตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ที่แสดงในภาพที่ 1 ให้ได้มาตรฐาน ซึ่งในการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ ต้องอาศัยการเดินทางไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเกิดขึ้น หากบุคลากรที่เกี่ยวข้องสามารถจัดเส้นทางเพื่อเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้

ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic method) สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง โดยได้ศึกษาปัญหาของการจัดเส้นทางการเดินทางของเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ในการไปซ่อมบำรุงเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องที่สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวน 316 แห่ง มุ่งเน้นการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อันจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานได้



(ก) แนวคิดแบบจำลองระบบงาน (ข) รูปแบบระดับชั้นของแบบจำลองระบบงาน

ภาพที่ 1 ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี

ที่มา: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ (2556)

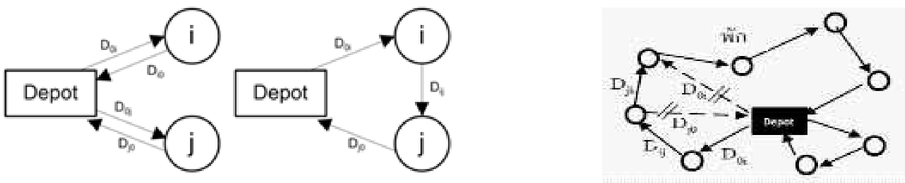
การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่าน เช่น Danzig et al. (1954) นำเสนอการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย หรือ TSP จากนั้นได้มีการนำปัญหานี้ไปหาวิธีการแก้ไขอย่างกว้างขวางจนมีงานวิจัยหรือบทความวิจัยที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับปัญหา TSP จำนวนมาก Clark & Wright (1964) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหา TSP กรณีที่พาหนะขนส่งมากกว่า 1 คัน โดยพิจารณาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความต้องการของลูกค้าหลายรายและยานพาหนะมีความจุหลายขนาดส่งสินค้าออกจากคลังพัสดุแห่งเดียว งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุดและผลที่ได้จากการแก้ไขปัญหานี้ คือ ทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่จะใช้ในการขนส่งและปริมาตรสินค้าที่ขนส่งโดยยานพาหนะแต่ละคันและนั่นก็เป็นครั้งแรกที่ปัญหา VRP เกิดขึ้นครั้งแรกในงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ แต่อย่างไรก็ตาม Clark & Wright ก็ไม่ได้นำเสนอศัพท์คำว่าการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle routing) ในงานของพวกเขา คำว่า Vehicle routing ถูกนำมาใช้ในการเขียนบทความวิจัยครั้งแรกในปี 1972 โดย Golden, Magati, & Nguyan นอกจากนี้ยังมี Thangiah et al. (1996) ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการเดินรถเที่ยวกลับ (Vehicle Routing Problem with Backhaul) ที่มีการกำหนดกรอบเวลาในการรับบริการโดยลูกค้า ซึ่งผู้ขนส่งจะต้องรับ/จัดส่งสินค้าภายในช่วงเวลานี้เท่านั้น และการส่งสินค้าให้ลูกค้าจะต้องเกิดก่อนการรับสินค้าจากลูกค้า โดยวัตถุประสงค์ คือ สามารถบริการลูกค้าครบทุกรายโดยที่ใช้จำนวนยานพาหนะและระยะทางการเดินทางน้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัด ซึ่งได้แก่ ความจุของยานพาหนะ ระยะเวลาเดินทางในแต่ละเส้นทางเดินของยานพาหนะ และกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนด งานวิจัยนี้ใช้ ฮิวริสติกส์แบบโลคอลเสิร์ช (Local Search Heuristics) ร่วมกับการปรับปรุงเส้นทางขั้นต้นในการหาคำตอบ โดยทดสอบฮิวริสติกส์ที่นำเสนอกับปัญหาจำนวน 45 ปัญหา ซึ่งมีจำนวนลูกค้าอยู่ในช่วง 25 ถึง 100 ราย พบว่ามีความรวดเร็วและสามารถแก้ปัญหาภายในเวลาอันสั้นได้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยกล่าวว่าวิธีหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์นี้ สามารถใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนลูกค้า 250 ถึง 500 ราย โดยผลลัพธ์ของวิธีหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด พบว่าคำตอบที่ได้อยู่ในช่วง 2.5% ของคำตอบที่ได้จากวิธีหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดรวมถึง Laporte et al. (2000) ทบทวนวิธีหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ที่สำคัญสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการนำเสนอโดยนักวิจัยจำนวนมาก ซึ่งฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิมได้แก่ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Savings Algorithm) ของ Clarke & Wright (1964) วิธีการกวาด (Sweep Algorithm) และวิธีทูเฟส (Two-Phase) ซึ่งประกอบด้วย วิธีการแก้ปัญหาแบบลำดับขั้น (Sequential Improvement), วิธีการจัดกลุ่มแบบกลีบดอกไม้ (Petal Algorithm) และการจัดกลุ่มจุดรับสินค้าก่อนแล้วจึงจัดเส้นทางเดินรถ (Cluster-First, Route-Second Algorithm) ส่วนฮิวริสติกส์แบบใหม่ได้แก่ วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search: TS) ซึ่งเป็นวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ที่ได้มีการพิสูจน์แล้วว่าสามารถแก้ปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ดีโดยเฉพาะปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ และ Laporte et al. (2000) ได้รวบรวมวิธี Tabu Search ที่ถูกนำเสนอไว้ในงานวิจัยหลายชิ้น และนำฮิวริสติกส์เหล่านี้ไปทดสอบกับตัวอย่างเปรียบเทียบ (Benchmark) ของ Christofides et al. (1979) จำนวน 14 ตัวอย่าง พบว่า วิธีหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิมที่ให้ผลดีและรวดเร็วคือวิธี Saving Algorithm และ วิธี Sweep Algorithm อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีวิธีหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิมวิธีใดที่ให้ผลดีเท่ากับวิธี Tabu Search ซึ่งวิธีนี้ให้ค่าของคำตอบในปัญหาทดสอบขนาดกลางได้ดีที่สุดหรือใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด Beatrice et al. (2006) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา VRP แบบมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Problem) โดยการหาจำนวนรถขนส่งน้อยที่สุดและผลรวมต้นทุนในการเดินทางขนส่ง หรือระยะทางสั้นที่สุด โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และเทคนิคการเรียงลำดับแบบพาเรโต้ (Pareto Ranking) ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ Wy & Kim (2013) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางรถแบบ Rollon-rolloff ในการกำหนดเส้นทางการทิ้งขยะ โดยลดจำนวนของรถแทคเตอร์และเวลาในการให้บริการ ด้วยวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่ (Large neighborhood search: LNS) จากผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลมาตรฐานพบว่าได้คำตอบที่กว่า 17 ปัญหาจาก 20 ปัญหา

ส่วนงานวิจัยในประเทศได้แก่ตันติกร พิชญ์พิบูล และเรื่องศักดิ์ แก้วธรรมชัย (2550) ได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ Clarke-Wright Saving ในการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการขนส่งแบบไป-กลับของการขนส่งสินค้าของลูกค้าในแต่ละจังหวัดทั่วประเทศไทย และได้นำผลการหาเส้นทางโดยวิธีฮิวริสติกส์ Clarke-Wright Saving ไปเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบเดิมด้วยวิธีหาคำตอบจากปมข้างเคียงใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor) พบว่า วิธีฮิวริสติกส์ Clarke-Wright Saving มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า วิธีฮิวริสติกส์ Nearest Neighbor โดยสามารถลดต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งลงได้เป็นจำนวนเงิน 2,338,915 บาท และใช้เวลาประมวลผล 250 วินาที ต่อการประมวลผล 120 ตัวอย่าง ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และคณะ (2553) ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ Clarke-Wright Saving Heuristic และ Nearest Neighborhood Heuristic สำหรับการค้นหาคำตอบภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอนความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด กระบวนการทำงานของฮิวริสติกส์ แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution Phase) เพื่อพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข โดยวิธี Clarke-Wright Saving Heuristic และวิธีฮิวริสติกแบบค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Nearest Neighborhood Heuristic) และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคำตอบ โดยใช้โปรแกรม Lingo V.11 ผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางของผู้ประกอบการพบว่า วิธีฮิวริสติกส์ที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี อภิชิต มณีงาม กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และอภินันทนา อุดมศักดิกุล (2556) ได้พิจารณาเงื่อนไขการจำกัดเวลาเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ในเขตเมือง เพื่อให้ได้เส้นทางการเดินรถที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยพัฒนาวิธีหาคำตอบ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจัดกลุ่มลูกค้าตามเงื่อนไขการจำกัดช่วงเวลาในการเดินรถ ขั้นตอนที่สองสร้างคำตอบเริ่มต้นด้วยเซฟวิ่งอัลกอริทึม ขั้นตอนสุดท้ายปรับปรุงเส้นทางโดยวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งใช้การแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทางผสมกับวิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง ผลการศึกษาพบว่าวิธีการนำเสนอสามารถลดระยะทางรวมจากเดิมร้อยละ 9.70 นอกจากนี้ กนกวรรณ สุภักดี, นัทธพงศ์ นันทสำเริง และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2556) ได้ทำการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อลดต้นทุนการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 316 แห่ง ของหน่วยซ่อมบำรุงสังกัดสำนักงานสาธารณสุข จังหวัดอุบลราชธานี โดยทำการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการจัดกลุ่มผู้รับบริการก่อน จากนั้นจึงกำหนดที่ตั้งของศูนย์ประสานงานซ่อมบำรุงแล้วจึงจัดเส้นทางการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงในแต่ละกลุ่มเป็นขั้นตอนสุดท้าย ในขั้นตอนการจัดกลุ่มได้ใช้วิธีการกวาดมุมสามารถจัดกลุ่มสถานพยาบาลได้เป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 79 แห่ง จากนั้นจึงทำการหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์ประสานงานซ่อมบำรุงโดยใช้วิธีคำนวณจากระยะทางและภาระงานในการซ่อมบำรุงแต่ละแห่ง สำหรับจัดเส้นทางการเดินทางในแต่ละกลุ่มได้ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ผลที่ได้จากการจัดสามารถลดระยะทางการเดินทางรวมได้ 15,430.50 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 67.25% และลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขนส่งรวมได้ 254,095.37 บาท/ปี หรือคิดเป็น 52.76%, Supakdee, Nanthasamroeng & Pitakaso (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางไปซ่อมบำรุง เครื่องมือแพทย์ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 316 แห่ง ด้วยวิธีการจัดกลุ่มหาที่ตั้งและจัดเส้นทาง (Clustering-Locating-Routing technique : CLR) โดยทำการเปรียบเทียบการจัดกลุ่มที่แตกต่างกัน 2 วิธี วิธีแรกเป็นการจัดกลุ่มด้วยวิธีการกวาด (Sweep Algorithm : SW-CLR) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ 4 กลุ่มๆ ละ 79 แห่ง วิธีที่ 2 เป็นการจัดกลุ่มตามอำเภอ (District Boundary : DB-CLR) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ 25 กลุ่ม จากนั้นทำการเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมเพียงแห่งเดียวในแต่ละกลุ่มด้วยเทคนิคการหาระยะทางร่วมกับค่าขนส่ง (Load Distance Technique) ขั้นตอนสุดท้าย จัดเส้นทางการเดินทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการจัดเส้นทางการเดินทางของพาหนะ พบว่าการเดินทางแบบ VRP มีรูปแบบการวิ่งรถขนส่งโดยทั่วไปมักเป็นการวิ่งแบบที่ต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอ เมื่อหมดรอบเวลาการทำงานรถขนส่งทุกคันจะกลับมายังจุดเริ่มต้นเมื่อเสร็จการทำงานขนส่ง อีกทั้งนิยมใช้ความจุของยานพาหนะเป็นข้อกำหนดและจากการทบทวนวรรณกรรมยังพบว่า

อัลกอริทึมแบบประหยัดเป็นวิธีที่นิยมและใช้กันแพร่หลายในทางปฏิบัติเพราะเป็นวิธีที่ง่ายและบอกไม่ได้ว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางของรถเป็นการเดินรถที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องโดยสามารถหยุดพัก เมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดให้ไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ และใช้เวลาในการเดินทางและการซ่อมบำรุงมาเป็นข้อกำหนดความจุของยานพาหนะ จึงทำให้ไม่สามารถนำปัญหาที่สนใจไปเปรียบเทียบกับปัญหามาตรฐานได้ และทำการหาคำตอบด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน เมื่อเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ มากกว่าค่าที่พักค้างคืนจะทำการนอนพักค้างคืน (กรณีพัก Dj0+ D0i รอบใหม่ > ค่าที่พัก) แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่พักค้างคืนจะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น (กรณีไม่พัก Dj0+ D0i รอบใหม่ $\leq$ ค่าที่พัก) ดังภาพที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในจังหวัดอุบลราชธานี



(a) (b)

ภาพที่ 2 (a) การจัดส่งสินค้าไป-กลับแบบ Clark-Wright Saving Heuristic

(b) การจัดส่งสินค้าไป-กลับแบบโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด

กรณีศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในจังหวัดอุบลราชธานี (ตารางที่ 1) เมตริกซ์ระยะทางในแต่ละสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (ตารางที่ 2) ประเภทของเครื่องมือแพทย์ (ตารางที่ 3) ข้อมูลเวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง (ตารางที่ 4) และตัวอย่างการคำนวณเวลาในการปฏิบัติงาน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 1 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อ.เมืองอุบลราชธานี	
1	รพ.สต.ปทุม
2	รพ.สต.ขามใหญ่
...	....
(25) อ.สำโรง	
316	รพ.สต.คำก้าว

ที่มา : สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี (2555)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเมตริกซ์ระยะทาง (หน่วย: กิโลเมตร)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	0	53.7	70.5	58.1	9.3
2	53.7	0	32.4	117	47.5
3	70.5	32.4	0	137	64.3
4	58.1	117	137	0	71.3
5	9.3	47.5	64.3	71.3	0

ที่มา:ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ (2556)

ตารางที่ 3 ประเภทของเครื่องมือแพทย์

ลำดับที่	รายการ
1	เครื่องปั่นเลือด
2	เครื่องโคมไฟส่องสว่าง
3	เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค
4	เครื่องขูดหินปูน
5	เครื่องยูนิตทันตกรรม (เคลื่อนที่)
6	เครื่องยูนิตทันตกรรม (ยูนิต)
7	เครื่องวัดความดันโลหิต (อนาล็อก)
8	เครื่องวัดความดันโลหิต (ดิจิตอล)
9	เครื่องชั่งน้ำหนักเด็ก
10	เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ใหญ่
11	หูฟัง
12	ตู้เย็นเก็บวัคซีน
13	เครื่องต้มฆ่าเชื้อ
14	เครื่องวัดระดับน้ำตาล
15	เครื่องตรวจไขมัน
16	เครื่องฟังเสียงหัวใจทารกในครรภ์
17	เครื่องปรับอากาศ

ที่มา : สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี (2555)

ตารางที่ 4 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง

ลำดับที่		เครื่องปั่นโลหิต	เครื่องโคมไฟ	เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ	เครื่องขูดหินปูน	เครื่องยูนิตทันตกรรม		เครื่องวัดความดันโลหิต		เครื่องชั่งน้ำหนัก		หูฟัง	ตู้เย็นเก็บวัคซีน	เครื่องต้มฆ่าเชื้อ	เครื่องวัดระดับน้ำตาล	เครื่องตรวจไขมัน	เครื่องฟังเสียงหัวใจทารก	เครื่องตรวจหู คอ จมูก	เครื่องพ่นละอองยา	เครื่องพ่นหมอกควัน	เครื่องปรับอากาศ	ปรอทวัดไข้	ปรอทวัดไข้ทางหู	ตู้เก็บยา	โทรศัพท์เครื่องFax.	หม้อหุงข้าว	ภาระงาน (วินาที)	ภาระงาน (นาที)
						เคลื่อนที่	ยูนิต	analog	digital	เด็ก	ผู้ใหญ่																	
	รพ.สต / เวลาเฉลี่ย (วินาที)	951	212	595	1200	1800	2700	235	133	190	100	105	156	120	72	85	324	460	180	750	568	61	209	61	1815	1230		
1	รพ.สต.นิคมฯผัง2	1	2	1				2		1	1	1	1				1				1						388	65
2	รพ.สต.กลาง	1	1	2	1	1		2	1	1	2	3	1		1	1	2				4						9894	165
3	รพ.สต.กุศกร	1	1	1	1	1		3	4	1	2	2	1	1			1				2						8331	139
4	รพ.สต.ก่อ	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1		1	1	1				5						12432	207
....	....	.....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
313	รพ.สต.แสงไผ่ ตำบลไผ่ใหญ่	2	1	1				2	1	1	2	3	1		1	1	1										4654	78
314	รพ.สต.โนนยาง	1	2	1				2	1	1	3	2	2		3	1	1				3						5914	99
315	รพ.สต.ใหม่พัฒนา ตำบลโนนสมบูรณ์	1	1	1					1	1	2	2	1		1		1				4						5315	89
316	รพ.สต.หัวดูน	1	2	1	1	1		1	2	1	2	1	1		1						6						9602	160

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณเวลาในการปฏิบัติงาน (หน่วย: นาที)

ลำดับ	รพ.สต.	ภาระงาน (นาที)	กรอกข้อมูล (นาที)	รวม(นาที)	เวลาเผื่อ(นาที)	รวม (นาที)	เวลาเฉลี่ย / พนักงาน 2 คน
1	รพ.สต.นิคมฯผัง 2	65	20	85	13	97	49
2	รพ.สต.กลาง	165	20	185	28	213	106
3	รพ.สต.กุศกร	139	20	159	24	183	91
4	รพ.สต.ก่อ	207	20	227	34	261	131
......	......	......	......	......	......	......	......
316	รพ.สต.หัวดูน	160	20	180	27	207	104

วิธีการแก้ปัญหากรณีศึกษา

ในการแก้ปัญหาได้ทำการศึกษาจากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดแบบดั้งเดิมสโดยมีวิธีการดำเนินการดังนี้ 1) คำนวณค่าอัลกอริทึมแบบประหยัด 2) เรียงค่าอัลกอริทึมแบบประหยัดจากมากไปหาน้อย 3) การจัดเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และ 4) ดำเนินการหาต้นทุนในการเดินทางจากนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนการแก้ปัญหาด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด ดังนี้ 1) คำนวณค่าอัลกอริทึมแบบประหยัด 2) เรียงค่าอัลกอริทึมแบบประหยัดจากมากไปหาน้อย 3) จัดเรียงเส้นทางด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัดโดยนำระยะทางขาไป, เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับ มารวมกัน ต้องไม่เกิน 420 นาที และ 4) ดำเนินการหาต้นทุนในการเดินทาง

1. วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดแบบดั้งเดิม

1.1 คำนวณค่าอัลกอริทึมแบบประหยัด ดังสมการที่ (1)

$$S_{ij} = D_{0i} + D_{0j} - D_{ij} \qquad (1)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณบางส่วนดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณค่าอัลกอริทึมแบบประหยัด

	เมือง	**เมือง**	**D_{0i}**	**D_{0j}**	**D_{ij}**	**Saving value**
Saving	1	2	18.1	47.6	42.6	23.1
Saving	1	3	18.1	38.4	20.6	35.9
Saving	1	4	18.1	26.6	8.9	35.8
Saving	1	5	18.1	49.4	45.4	22.1
Saving	1	6	18.1	43.5	61.7	-0.1

1.2 เรียงค่าอัลกอริทึมแบบประหยัดจากมากไปหาน้อย

ตัวอย่างในการจัดเรียงแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตัวอย่างการคำนวณค่าอัลกอริทึมแบบประหยัด

	เมือง	**เมือง**	D_{0i}	D_{0j}	D_{ij}	**Saving value**
Saving	20	111	127.00	129	8.2	247.8
Saving	111	20	129.00	127	8.2	247.8
Saving	111	148	127.00	123	3.9	246.1
Saving	148	111	123.00	127	3.9	246.1
Saving	20	148	129.00	123	6.8	245.2

1.3 การจัดเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

จากการจัดเรียงเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด จะจัดเส้นทางไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้งหมด 316 แห่ง (ตารางที่ 8) ซึ่งมีระยะทางรวม คือ 16,236.60 กิโลเมตร

ตารางที่ 8 ตัวอย่างจัดเส้นทางไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

เที่ยว	**ลำดับ**	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
	1-20-111-314-1	106.60
	1-71-148-1	254.10
	1-75-313-249-50-1	240.00
	1-273-316-245-237-1	226.30
....	....	....
รวม		16,236.60

1.4 ดำเนินการหาต้นทุนในการเดินทาง

ต้นทุนในการเดินทางประกอบด้วยต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงต้นทุนค่าซ่อมบำรุงค่าแรงงานและค่าที่พักซึ่งมีต้นทุนรวม 287,033.49 บาท (ตารางที่ 9)

$$\text{Min } Z = [(Cf+ Cm) \times d] + [(Cl \times r)]+ [(Ch \times (r-1)] \qquad (2)$$

เมื่อ Cf= ค่าน้ำมัน (บ./ก.ม.) Cm= ค่าบำรุงรักษา (บ./ก.ม.)

Cl= ค่าแรงงานต่อวัน (บ./วัน) Ch=ค่าที่พักต่อวัน (บ./วัน)

d= ระยะทาง (กม.) r = จำนวนเที่ยว (รอบ)

ในการคำนวณ คิดจากค่าน้ำมันที่อัตรา 4 บาทต่อกิโลเมตร ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วยค่าสารหล่อลื่นราคา 570 บาทต่อลิตร ทำการเปลี่ยนครั้งละ 6 ลิตร ทุกๆ 10,000 กิโลเมตรคิดเป็น 0.342 บาทต่อกิโลเมตร และค่ายางรถยนต์ราคา 3,700 บาทต่อเส้น มีอายุการใช้งาน 40,000 กิโลเมตรต่อเส้นต้นทุนรวม 0.37 บาทต่อกิโลเมตรคิดเป็น 1.48 บาทต่อกิโลเมตร ค่าแรงงานประกอบด้วยค่าจ้าง 377 บาทต่อวัน ค่าเบี้ยเลี้ยง 240 บาทต่อวันและค่าที่พัก 500 บาทต่อวัน

ตารางที่ 9 ผลค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางการเดินทาง

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม
ค่าน้ำมัน	5.822	16,236.60	94529.4852
ค่าแรง	1,851	104	192504
ค่าที่พัก	500	-	-
			287,033.49

2. วิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด

2.1 นำค่าอัลกอริทึมแบบประหยัดที่คำนวณได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด มาจัดเรียงเส้นทางด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด โดยนำระยะทางขาไป เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับมารวมกันต้องไม่เกิน 420 นาที นำมาคำนวณค่าใช้จ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ (4 บาท x ระยะทาง) เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน 500 บาท หากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ มากกว่า 500 บาท จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ 500 บาท จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น วิธีการคำนวณแสดงในตารางที่ 10 และ 11 ได้เส้นทางในการเดินทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ทั้งหมด 34 เส้นทาง จำนวนวันทำงาน 98 วัน พักค้างคืน 49 วัน รวมระยะทางที่ได้ 12,357.4 กิโลเมตร

การคิดค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางเส้นทางถัดไปจาก 314 กลับ 1 มีระยะทาง 116 กิโลเมตร และ จาก 1 ไป 71 มีระยะทาง 120 กิโลเมตร

ค่าใช้จ่าย = อัตราค่าน้ำมัน x (ระยะทางขากลับ + ขาไป)

= 4 x (116 + 120)

= 944 บาท

ซึ่งมีค่ามากกว่า ค่าที่พัก 500 บาท จึงทำการพักค้างคืนและจะทำเดินทางต่อไปในวันรุ่งขึ้น โดยในวันที่ตัดสินใจพักค้างคืน ยังเดินทางและทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ต่อไปแต่ต้องไม่เกิน 420 นาทีในแต่ละวัน

ตารางที่ 10 ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงที่มีการพักค้างคืน

เส้นทาง		ลำดับการเดินทางของยานพาหนะ								เวลารวม
1	**Node**	**1**	**20**	**111**	**314**	**148**	**71**	**พัก**	**157**	427.70
	ระยะทาง		127.00	8.2	13.5	9.2	11.1		11.4	
	ST		58.34	56.98	11.50	76.98	46.82		39.92	
	Vcap	420	234.66	169.47	144.47	58.29	0.37	420.00	368.68	
1	**Node**	**10**	**260**	**286**	**97**	**พัก**	**200**	**184**	**130**	
	ระยะทาง	2.4	4.9	6.8	6.8		18.8	12.5	17.6	
	ST	56.32	117.65	58.40	56.03		52.24	108	58.99	
	Vcap	309.95	187.40	122.20	59.37		348.96	228.46	151.88	
1	**Node**	**149**	**35**	**พัก**	**45**	**17**	**172**	**156**	**234**	
	ระยะทาง	3.8	13.5		13.5	10.7		6.7	5.5	
	ST	59.70	67.23		89.34	85.90	67.23	71.65	51.41	
	Vcap	88.37	7.64	420.00	317.16	220.57	148.04	69.70	12.79	
1	**Node**	**พัก**	**19**	**96**	**186**	**155**	**1**			
	ระยะทาง		7.3	0.9	11.4	8.4	90.5			
	ST		63.56	53.13	81.34	92.72				
	Vcap	420.00	349.14	295.11	202.37	101.25	10.75			

ตารางที่ 11 ผลค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางการเดินทาง

ประเภท	**ต้นทุน**	**ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก**	**รวม**
ค่าน้ำมัน	5.822	12,357.40	71,944.78
ค่าแรง	1,851	98	181,398.00
ค่าที่พัก	500	49	24,500.00
			277,842.78

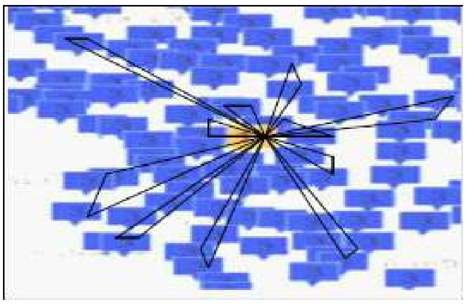
ผลการวิจัย

ดำเนินการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ และวิธีปัจจุบัน

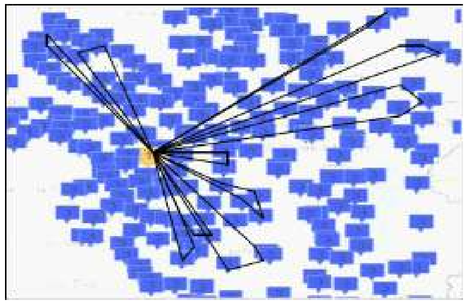
ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางสำหรับหน่วยซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ใน 3 ประเด็นคือ 1) จำนวนเที่ยวในการเดินทาง 2) ระยะทางรวมในการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ทั้ง 316 แห่ง และ 3) ต้นทุนรวมในการเดินทางไปซ่อมบำรุง ผลการวิจัยพบว่า วิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัดมีจำนวนเที่ยว ระยะทางรวม และค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ และวิธีปัจจุบัน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการจัดเส้นทางการเดินทางแต่ละวิธี

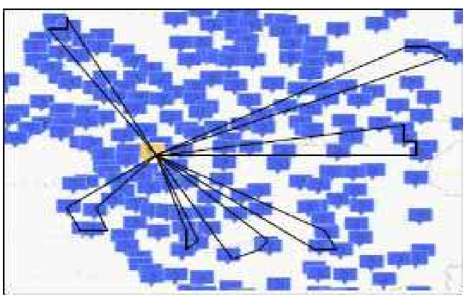
วิธี	ประเด็นที่เปรียบเทียบ			
	โมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด (MDSav.)	อัลกอริทึมแบบประหยัด (Sav.)	การจัดกลุ่มตามอำเภอ (DB-CLR)	ปัจจุบัน (Present)
จำนวนเที่ยว (รอบ)	34	104	113	188
ระยะทางรวม (กม.)	12,357.40	16,236.60	16,564.00	22,945.20
ค่าใช้จ่ายรวม(บาท)	277,842.78	287,033.49	298,497.80	475,150.30



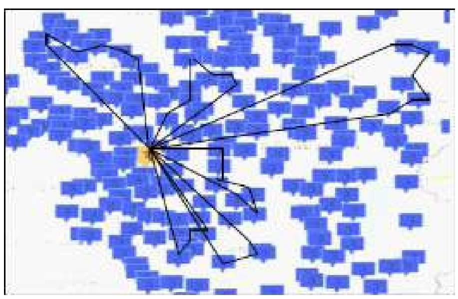
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 3 ก .ตัวอย่างการจัดเส้นทางวิธีปัจจุบัน ข. ตัวอย่างการจัดเส้นทางวิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ ค. ตัวอย่างการจัดเส้นทางวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ง. ตัวอย่างการจัดเส้นทางวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด

จากภาพที่ 3 ก. ถึง ง. แสดงตัวอย่างการจัดเส้นทางการเดินทางด้วยวิธีปัจจุบัน ,การจัดเส้นทางวิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ, การจัดเส้นทางวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และการจัดเส้นทางวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัดตามลำดับ

สรุป

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อลดต้นทุนการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 316 แห่ง โดยทำการประยุกต์อัลกอริทึมแบบประหยัดในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง พบว่าการจัดเส้นทางด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีปัจจุบัน 203,732.17 บาท หรือคิดเป็น 42.31% สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ 25,262.08 บาท หรือคิดเป็น 8.33% และ สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด 9,190.70 บาท หรือคิดเป็น 3.20%

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการจัดเส้นทางแบบเดิมด้วยวิธีฮิวริสติกส์ Nearest Neighbor เพื่อให้มีความหลากหลายมากขึ้น

รายการอ้างอิง

กนกวรรณ สุภักดี, นัทธพงศ์ นันทสำเริง และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2556). การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางสำหรับหน่วยซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ **วารสารการประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติครั้งที่ 4 ประจำปี 2556.** 17 พฤษภาคม 2556.

ตันติกร พิชญ์พิบูล และเรื่องศักดิ์ แก้วธรรมชัย. (2550). การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการขนส่งแบบไปกลับของการขนส่งสินค้า. **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปีด้านการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ ครั้งที่ 7**, 2550.

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี, ฐิติวรดา คำแหน, พงศธร มูลสาร และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2553), การพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณี ศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด จังหวัดอุบลราชธานี, **เอกสารการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2553 (IE-Network 2010)**, โรงแรมสุนีย์แกรนด์แอนด์คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จ.อุบลราชธานี, 13 - 15 ตุลาคม 2553, หน้า 219. (ORS 17)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ. (2556). เข้าถึงเมื่อ 3 มิถุนายน 2556, จาก http://gishealth.moph.go.th/healthmap/gmap.php.

ศุภกิจ ศิริลักษณ์. (2553). **นโยบายโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล.** เข้าถึงเมื่อ 19 กุมภาพันธ์ 2553, จาก http://phmahidol-bhusita.blogspot.com/2010/02/blog-post.html.

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี. (2555). **โครงการตรวจสอบบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เขตจังหวัดอุบลราชธานี ปี 2555.**

อภิชิต มณีงาม กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และอภินันทนา อุดมศักดิกุล. (2556). การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีการจำกัดเวลาการเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ กรณีศึกษา: การขนส่งอิฐบล็อกในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. **วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 3**(6), 73 - 85.

Beatrice, O., Brian, J. R. & Franklin, H. (2006). Multi objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows. **Applied Intelligence, 24**(1), 17-30.

Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., 1979. The vehicle routing problem. In Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., Sandi, C. (Eds.), **Combinatorial Optimization. Vol. 1.** Wiley Interscience, pp. 315–338.

Clarke, G. & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operation Research, 12**, 568-581.

Danzing et al. (1954). Solution of a large-scale travelling-salesman problem. **Operational Research, 2**, 393 - 410.

Wy, J. & Kim, B. (2013). A hybrid metaheuristic approach for the rollon-rollff Vehicle Routing Problem. **Computer & Operations Research** 2013.

Supakdee, K., Nanthasamroeng, N. & Pitakaso, R. (2013). Clustering-Location-Routing Algorithm for Vehicle Routing Problem: An Application in Medical Equipment Mainte nance. **IIE Asian 2013 Conference.** (July 18-20, Taipei, Taiwan)

Laporte, G., Potvin, M. G. J. Y. & Semet, F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions in Operational Research, 7**, 285-300.

Thangiah, S. R., Potvin, M. G. J. Y. & Sun, T. (1996). Heuristic approaches to vehicle routing problem with backhauls and time windows. **Computer and Operations Research, 11**(23), 1043-1057.