

การหาเส้นทางการเดินทางหน้บัตรเพื่อเติมตู้เอทีเอ็ม โดยคำนึงถึงความปลอดภัย

จิรพันธ์ แซ่จิว¹, ชุมพล มณฑาทิพย์กุล¹,ธีรเดช วุฒิพรพันธ์²

¹บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาธิปไตย บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 ประเทศไทย

โทรศัพท์ 66 2470 9783 อี-เมลล์ en_chumpol@yahoo.com

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 ประเทศไทย

โทรศัพท์ 66 2913 2500-24 โทรสาร 66 2587 4842 อี-เมลล์ teeradejw@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำเสนอวิธีการจัดเส้นทางเดินทางสำหรับรถยนต์บรรทุกเติมตู้เอทีเอ็มหนึ่งคัน โดยพิจารณาถึงประเด็นเรื่องความปลอดภัยจากการโจรกรรม วิธีการดังกล่าวนี้ได้มีการประยุกต์ใช้โมเดลปัญหาการเดินทางของเซลส์แมนโดยทั่วไป (General Traveling Salesman Problem) ในการหากรู่มของเส้นทางที่มีระยะการเดินทางรวมต่ำสุด โดยมีการนำสเปรตซ์มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบของกลุ่มของเส้นทางดังกล่าว สำหรับเส้นทางจริงที่ถูกนำไปใช้ (Implemented) ในแต่ละวันจะถูกเลือกแบบสุ่มจากกลุ่มคำตอบดังกล่าวโดยไม่ให้ซ้ำเส้นทางเดิมเพื่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบและนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันของธนาคารตัวอย่าง ผลการทดลองเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สำหรับสองกรณีศึกษาซึ่งนำมาทดสอบ พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ระยะเดินทางรวมที่ลดลง 42.6% และ 46.4%

คำสำคัญ : ตู้เอทีเอ็ม / การจัดเส้นทางเดินทาง / ความปลอดภัยจากการถูกดักโจรกรรม / สเปรตซ์ / ปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ความต้องการใช้บริการถอนเงินสดจากตู้เอทีเอ็มมีอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นธนาคารต่าง ๆ จึงต้องตื่นตัวในการขยายจำนวนตู้เอทีเอ็มและต้องมีการบริหารจัดการที่ดีในการเคลื่อนย้ายเงินสดเพื่อการเติมตู้เอทีเอ็มเพื่อรองรับต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถแข่งขันได้ในธุรกิจ เพราะถ้าหากตู้เอทีเอ็มของธนาคารใดชนับตรหกดบ่อย ลูกค้าคงไม่ได้รับความพึงพอใจและมีโอกาสเปลี่ยนใจไปใช้บริการของธนาคารอื่นได้ ด้วยเหตุนี้ธนาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยได้จ้างผู้เชี่ยวชาญในด้านการขนส่งเงินสดที่มีการป้องกันภัยที่ดีทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายเงินสดและเติมเงินสดลงตู้เอทีเอ็ม แต่อย่างไรก็ตามการขนส่งเงินสดที่ต้องคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยจากการโจรกรรมนั้นจะทำให้ต้นทุนการขนส่งมีค่าสูงขึ้น เพราะไม่สามารถใช้เส้นทางที่ประหยัดที่สุดในทุกวันได้ (เส้นทางในการขนส่งในแต่ละวันจะต้องไม่ซ้ำเดิม) ดังนั้นหากผู้ให้บริการไม่มีการบริหารจัดการที่ดีแล้วก็จะทำให้การใช้ทรัพยากรไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นเครื่องมือที่ช่วยในการบริหารจัดการในการขนส่งเพื่อเติมเงินสดลงตู้เอทีเอ็มในแต่ละวันให้มีประสิทธิภาพ จึงควรถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถช่วยประหยัดทรัพยากร ทั้งในส่วนของรถยนต์บรรทุกชนับตรที่ต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันภัยจากการโจรกรรม และทั้งในส่วนของพลังงานจากน้ำมันซึ่งนับวันจะมีราคาสูงขึ้นและเหลือน้อยลงทุกที

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การจัดเส้นทางรถขนรถชนับตรให้มีประสิทธิภาพโดยมีการคำนึงถึงความปลอดภัยจากการโจรกรรมและการประหยัดค่าขนส่งพร้อม ๆ กัน ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนรถชนับตรหนึ่งคันโดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นหนึ่งจุดและเดินทางไปยังจุดหมายต่าง ๆ จุดละหนึ่งครั้งและเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยที่ไม่มีการเดินทางย้อนกลับไปกลับมานั้นเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นปัญหาการเดินทางของเซลส์แมนแบบทั่วไป (General Traveling Salesman Problem, GTSP) Laporte และ Nobert (1983) เป็นบุคคลยุคแรก ๆ ที่ได้เสนอแนวทางการสร้างโปรแกรมอินทีเจอร์ (Integer Programming) เพื่อแสดงถึงปัญหาจีทีเอสพี นักวิจัยทั้งสองได้ประยุกต์ใช้วิธีการแบบแยกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) เพื่อแก้ปัญหาจีทีเอสพีทั้งแบบขนาดกลางและเล็ก Noon (1988) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบผ่อนคลายลากรางเจียน (Lagrangian relaxation) เพื่อแก้ปัญหาจีทีเอสพีแบบไม่สมมาตร (Asymmetric GTSP) ปัญหาจีทีเอสพีขนาดใหญ่ระดับ 442 จุดได้ถูกแก้จนได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimality) โดย Fischetti และคณะ (1995, 1997) ด้วยวิธีการแบบแยกกิ่งและตัด (Branch and Cut) นอกจากวิธีการดังกล่าวแล้วยังมีการแก้ปัญหาจีทีเอสพีด้วยวิธีปัญญาเทียม (Artificial Intelligence) ต่าง ๆ เช่น นูรอลเน็ตเวิร์ก (Neural Network) (Shirish และ คณะ 1993) การค้นหาโดยใช้ตาราง (Tabu Search) (Glover 1990) และ จีเอ (GAs) (Goldberg และ Lingle 1985) ภาพรวมของปัญหาจีทีเอสพีและวิธีการหาคำตอบสามารถดูได้จากรายงานของ Lawler และคณะ 1985

การศึกษาปัญหาจีทีเอสพีของสังคมนักวิจัยนั้น นอกจากจะให้ความสนใจในการพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพแล้ว นักวิจัยบางท่านยังให้ความสนใจในการแก้ปัญหาซึ่งมีลักษณะเฉพาะออกไป เช่น Gouveia และ VoB (1993) ได้ศึกษาปัญหาการเดินทางของเซลส์แมนที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Time-Dependent Traveling Salesman Problem: TDTSP) Chan และ Baker (2005) ได้ศึกษาปัญหาการเดินทางของเซลส์แมนหลายคน (Multiple Salesmen) ซึ่งสามารถเดินทางได้พร้อม ๆ กัน โดยปัญหาได้พิจารณาถึงความสามารถในการเดินทางของรถยนต์ในแต่ละวันด้วย นักวิจัยทั้งสองได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีทางฮิวริสติกส์ (Heuristics) Kara และ Bektas (2005) ได้ทำการศึกษาในการขยายผลจากปัญหาการเดินทางพร้อมกันของเซลส์แมนจำนวนหลายคน (Multiple Traveling Salesmen Problem: MTSP) ตามแบบดั้งเดิม โดยการกำหนดจำนวนตำแหน่งขึ้นต่ำซึ่งผู้เดินทางจะต้องแวะเยี่ยมเป็นสภาวะ

ข้างเคียงอีกหนึ่งสภาวะ รวมทั้งพิจารณากรณีที่มีจำนวนคลังเดี่ยวและหลายคลัง (Single and Multi Depots) และนำเสนอการสร้างไอแอลพี (ILP, Integer Linear Program) ของทั้งกรณีคลังเดี่ยวและกรณีหลายคลัง Carter และ Ragsdale 2006 ก็ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเดินทางพร้อมกันของเซลล์แมนจำนวนหลายคน (MTSP) นักวิจัยทั้งสองได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบใหม่โดยประยุกต์ใช้วิธีทางจีเอ (GA, Genetic Algorithm) Tanga และ Miller-Hooksb (2007) ได้ทำการศึกษาปัญหาที่เอสพีที่ลูกค้ามีความไม่แน่นอนที่เรียกว่าพีจีทีเอสพี (PGTSP, Probabilistic Generalized Traveling Salesman Problem)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่า ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนขนบัตรเพื่อเติมตู้เอทีเอ็มโดยคำนึงถึงความปลอดภัยการโจรกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาวิธีการดังกล่าว โดยจะประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวกับกรณีศึกษาจริงสองกรณีกับธนาคารตัวอย่างในประเทศไทย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการที่ใช้อยู่จริงของธนาคารตัวอย่างที่ศึกษา งานวิจัยนี้มีประโยชน์ (Contribution) คือได้วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนขนบัตรที่สามารถนำไปใช้ได้จริงกับธนาคารตัวอย่างและเป็นแนวทางสำหรับการจัดเส้นทางการเดินทางของอุตสาหกรรมการผลิตหรือการบริการที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน งานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 7 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 คือบทนำ ส่วนที่ 2 อธิบายปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนขนบัตร ส่วนที่ 3 นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบใหม่ ส่วนที่ 4 และ 5 อธิบายกรณีศึกษาที่หนึ่งและสองตามลำดับ ส่วนที่ 6 คือผลการวิจัย และส่วนที่ 7 บทสรุปและอธิบายงานวิจัยในอนาคต

2. ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนบัตรเพื่อเติมเงินตู้เอทีเอ็ม

การขนส่งรถขนบัตรเพื่อเติมตู้เอทีเอ็มนั้นสามารถถูกพิจารณาได้ว่าเป็นการแก้ปัญหาการเดินทางของเซลล์แมนแบบทั่วไป (General Traveling Salesman Problem, GTSP) กล่าวคือ มีการออกเดินทางจากจุดเริ่มต้นคือศูนย์เงินสดแล้วขนส่งเงินสดไปเติมตามตู้เอทีเอ็มต่างๆ จนครบแล้วกลับมาอยู่ที่ศูนย์เงินสดอีกครั้งหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหานี้โดยใช้ตัวแบบที่เอสพีแบบทั่วไปนั้น (GTSP) ยังขาดประสิทธิภาพเพราะจะได้เส้นทางคำตอบเพียงหนึ่งเส้นทางซึ่งเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด แต่มีความเสี่ยงสูงต่อการถูกตัดโจรกรรม โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการหยุดแวะที่ตู้เอทีเอ็มต่างๆ ซึ่งจะมีการเปิดรถและนำกล่องรถขนบัตรออกมาเปลี่ยนกับกล่องเติมที่อยู่ในตู้เอทีเอ็ม เพราะฉะนั้นหากเรามีรูปแบบเส้นทางมากกว่าหนึ่งรูปแบบเส้นทางที่ใช้สำหรับการวิ่งของรถขนบัตรเติมตู้เอทีเอ็มก็จะเป็นการยากขึ้นสำหรับโจรผู้ร้ายในการที่จะคาดเดา หรือวางแผนในการดักโจรกรรมขณะที่มีการจอดแวะพักของรถขนบัตรเติมตู้เอทีเอ็มได้

การหารูปแบบเส้นทางที่หลากหลายนั้นทำได้หลายวิธี สำหรับในกรณีศึกษาธนาคารตัวอย่างนั้น ได้กำหนดให้ผู้ขับรถต้องใช้เส้นทางที่หลากหลายโดยไม่ซ้ำกับเส้นทางเดิมในแต่ละวันตลอดระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ โดยวิธีปฏิบัติงานจริงของผู้ขับชื่อก็คือจะเลือกเส้นทางแบบสุ่มโดยไม่ให้ซ้ำกับเส้นทางเดิม โดยไม่ได้มีการพิจารณาปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม (Completely Random) แต่ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการเดินทางของเซลล์แมนแบบทั่วไป (General Traveling Salesman Problem: GTSP) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์รูปแบบเส้นทางที่แตกต่างกันหลายรูปแบบและคำนึงถึงระยะทางของการขนส่งด้วย โดยจะคัดเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดและสั้นเป็นลำดับรองๆ ลงมาเพื่อเป็นทางเลือกในการเดินทางในแต่ละวัน

สำหรับธนาคารตัวอย่างที่ศึกษานั้นใช้นโยบายเดินรถเติมเงินลงตู้เอทีเอ็มทุกวัน โดยรถหนึ่งคันจะรับผิดชอบจำนวนเอทีเอ็มจำนวนจำกัดโดยอยู่ภายใต้การปกครองเดียวกันของศูนย์เงินสด หรืออยู่ในแนวถนนเดียวกัน เส้นทางรวมหนึ่ง ๆ นั้นจะประกอบด้วยจำนวนตู้เอทีเอ็มประมาณ 10-18 เครื่อง โดยมีจำนวนตู้เอทีเอ็มตั้งอยู่เป็นกลุ่ม ๆ กลุ่มละประมาณ 1-3 เครื่อง กลุ่มของตู้เอทีเอ็มแต่ละกลุ่มนั้นจะอยู่ใกล้กัน การเดินทางต้องใช้รถยนต์เท่านั้น แต่การเดินทางระหว่างตู้ภายในกลุ่มเดียวกันนั้น ระยะเวลาสั้นและใช้การเดินเท้าเท่านั้น ดังนั้นในการวิจัยนี้จะไม่พิจารณาการเดินทางเติมเงินของตู้เอทีเอ็มภายในกลุ่มเดียวกัน แต่จะพิจารณาในระดับกลุ่มของตู้เอทีเอ็มเท่านั้นซึ่งต้องใช้รถยนต์ขนส่ง จำนวนกลุ่มตู้เอทีเอ็มในแต่ละวันสำหรับรถหนึ่งคันมีไม่เกิน 12 กลุ่ม อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของระยะเวลาปฏิบัติงานในแต่ละวันและเป็นนโยบายของธนาคารตัวอย่าง การอธิบายตัวแบบจีทีเอสพี (GTSP) นั้นจะกำหนดสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

- n = ดัชนีแสดงกลุ่มของตู้เอทีเอ็ม
- N = เซตของตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มตู้เอทีเอ็มทั้งหมดที่พิจารณา; $N = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$
- V = สับเซต (subset) ใดๆที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของเซต N : $V \subset N$ โดยที่ $V \neq \phi$ และ $V \neq N$
- $|V|$ = จำนวนสมาชิกของเซต V
- i = ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของแต่ละเส้นทางย่อยภายในเส้นทางรวม; $i \in N$
 โดย $i = 0$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ ศูนย์เงินสด โดยเป็นทั้งตำแหน่งจุดเริ่มต้นของเส้นทางรวม และตำแหน่งต้นทางของเส้นทางย่อยที่มีลำดับแรกสุดภายในเส้นทางรวม
 และ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ กลุ่มตู้เอทีเอ็มต่างๆ และเป็นตำแหน่งต้นทางของเส้นทางย่อยต่างๆ ภายในเส้นทางรวม
- j = ตำแหน่งปลายทางของแต่ละเส้นทางย่อยภายในเส้นทางรวม; $j \in N$
 โดย $j = 0$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ ศูนย์เงินสด โดยเป็นทั้งตำแหน่งจุดสิ้นสุดภายในเส้นทางรวม และตำแหน่งปลายทางของเส้นทางย่อยที่มีลำดับท้ายสุดภายในเส้นทางรวม
 และ $j = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาคือ กลุ่มตู้เอทีเอ็ม ต่างๆ และเป็นตำแหน่งปลายทางของเส้นทางย่อยต่างๆ ภายในเส้นทางรวม
- D_{ij} = ระยะทางจากตำแหน่ง i ไปยังตำแหน่ง j
- x_{ij} = ตัวแปรไบนารีแสดงถึงเส้นทางระหว่างตำแหน่ง i และ j , $x_{ij} = 1$ เมื่อมีการเดินทางจากตำแหน่ง i ไป j มิฉะนั้น $x_{ij} = 0$
- จากสัญลักษณ์ข้างต้น สามารถแสดงรูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบไอแอลพี (ILP; Integer Linear Program) ของปัญหาจีทีเอสพี (GTSP) ได้ดังนี้

$$\text{การหาค่าต่ำสุด (Minimize) ระยะทาง} = \sum_{i,j \in N} x_{ij} D_{ij} \quad \dots(2.1)$$

s.t.

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad \dots(2.2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in N \quad \dots(2.3)$$

$$\sum_{i=j} x_{ij} = 0, \quad \dots(2.4)$$

$$\sum_{i,j \in V} x_{ij} \leq |V| - 1, \quad \dots(2.5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \dots(2.6)$$

สมการ 2.1 แสดงถึงการหาค่าระยะทางที่ต่ำที่สุด สมการที่ 2.2 แสดงถึงการเดินทางจากจุดเริ่มต้นใดๆ จะมีจุดหมายปลายทางเพียงหนึ่งเดียวเท่านั้น สมการที่ 2.3 แสดงว่าที่จุดปลายทางใดๆ จะมีจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น สมการที่ 2.4 แสดงว่าจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันไม่ได้ ข้อจำกัดที่ 2.5 เป็นการกำจัด การเดินทางย่อย (Sub-tour Elimination) เงื่อนไขที่ 2.6 บังคับให้ตัวแปร x_{ij} เป็นค่าไบนารีเท่านั้น การแก้ปัญหาตัวแบบจีทีเอสพีนั้น โดยทั่วไปจะให้คำตอบที่ดีที่สุดเพียงหนึ่งคำตอบเท่านั้น วิธีการประยุกต์ตัวแบบจีทีเอสพีเพื่อให้ได้คำตอบหลายเส้นทางนั้นจะถูกนำเสนอในส่วนตัวต่อไป

3. วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนบรรทุกโดยคำนึงความปลอดภัย

รูปที่หนึ่งแสดงถึงวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนบรรทุกโดยคำนึงความปลอดภัยแบบใหม่ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงานทั้งหมดเจ็ดขั้นตอน สัญลักษณ์ต่อไปนี้ถูกกำหนดขึ้นเพิ่มเติมเพื่อประกอบการอธิบาย

- p = ดัชนีของการหาเส้นทางคำตอบจากการแก้ปัญหาครั้งที่ p ; $p = 1, 2, 3, \dots, P$
- P = คำตอบเส้นทางทางเลือกทั้งหมดที่ต้องการ (ระดับความปลอดภัย)
- AP_p = เซตซึ่งมีสมาชิกประกอบด้วย x_{ij} ซึ่งเท่ากับ 1 ทั้งหมด จากการหาคำตอบครั้งที่ p

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูลระยะทางระหว่างกลุ่มตู้เอเอ็มทั้งหมดและระยะทางระหว่างศูนย์เงินสดกับกลุ่มตู้เอเอ็มทุกตู้ด้วย

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดระดับความปลอดภัย P ที่ต้องการ กล่าวคือ กำหนดจำนวนเส้นทางที่ต้องการสร้างขึ้น เช่น หาเส้นทาง หรือสิบเส้นทาง เป็นต้น การกำหนดระดับความปลอดภัยนี้กำหนดได้โดยผู้บริหาร แต่อย่างไรก็ตามจำนวนเส้นทางที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้มีเส้นทางทางเลือกน้อยและเกิดความไม่ปลอดภัยขึ้น เช่น ถ้ากำหนดให้มีเส้นทางทางเลือกสองเส้นทาง รถขนบรรทุกก็จะวิ่งภายในสองเส้นทางนี้ ซึ่งจะส่งผลให้โอกาสในการถูกดักโจรกรรมมีค่าสูง

ขั้นตอนที่ 3 หาคำตอบเส้นทางโดยการแก้ปัญหาตัวแบบจีทีเอสพี (GTSP: General Traveling Salesman Problem) ส่วนที่สองประกอบ ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สเปรดชีท (ไมโครซอฟท์ เอกเซล) กับเอกเซลโซลเวอร์ (Excel Solver) ในการแก้ปัญหาและเนื่องจากตัวแผ่นสเปรดชีทมีความยาวมาก จึงไม่ได้นำเสนอในรายงานฉบับนี้ ผู้ที่สนใจสามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ จีรนนทร์ (2550)

ขั้นตอนที่ 4 บันทึกคำตอบเส้นทางที่ได้จากขั้นตอนที่สาม

ขั้นตอนที่ 5 เพิ่มข้อจำกัด (Constraint) ที่ทำให้ได้คำตอบที่ไม่ซ้ำเดิม ดังข้อจำกัดที่ 3.1

$$\sum_{x_{ij} \in AP_p} x_{ij} \leq n, \quad \forall p \quad \dots(3.1)$$

ตัวอย่าง เช่น สมมติว่าคำตอบของการแก้ปัญหาครั้งที่หนึ่ง ($p=1$) คือ $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow$

0

และ $n = 3$ ดังนั้น $AP_1 = \{x_{01}, x_{12}, x_{23}, x_{30}\}$ ดังนั้น ในการแก้ปัญหาครั้งที่สอง ($p=2$) ต้องเพิ่มข้อจำกัดดังนี้

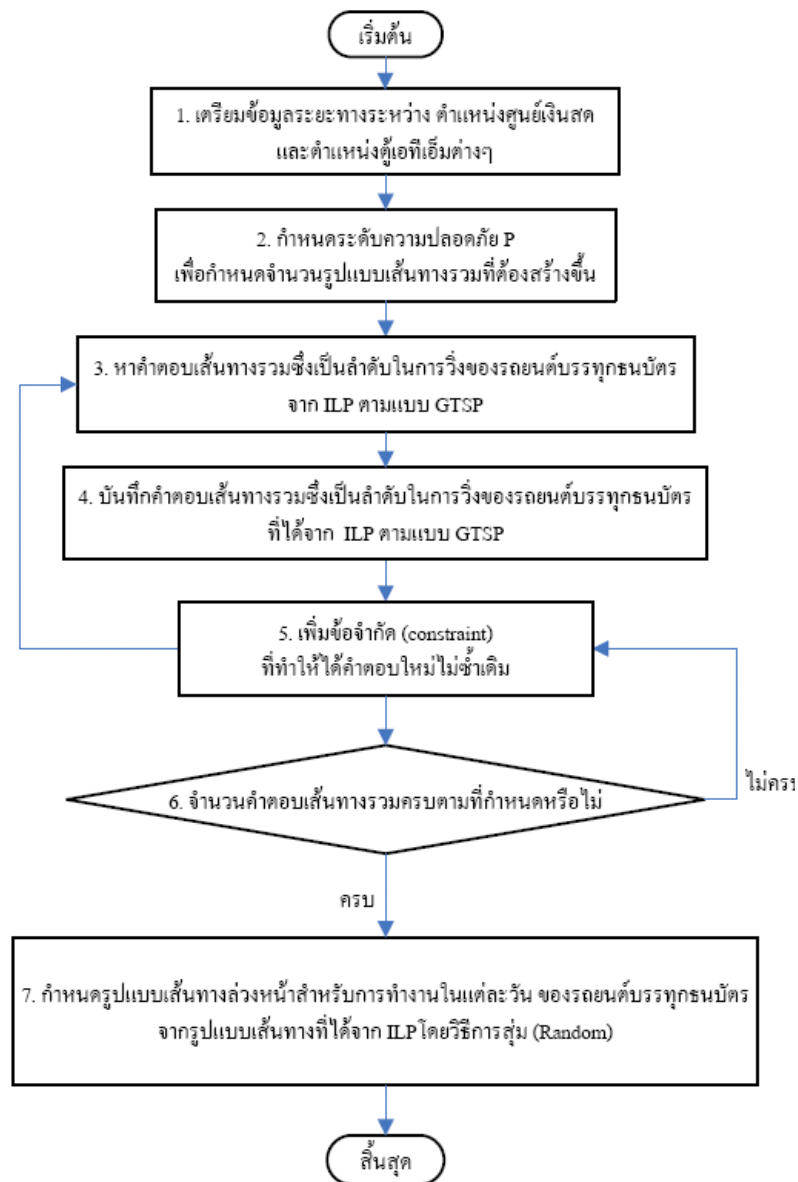
$$x_{01} + x_{12} + x_{23} + x_{30} \leq 3$$

และการแก้ปัญหาในครั้งต่อไปก็เพิ่มข้อจำกัดจากการแก้ปัญหาครั้งก่อนหน้าในลักษณะเดียวกัน เมื่อกำหนดข้อจำกัดข้างต้นแล้วจะทำให้ได้คำตอบเส้นทางใหม่ ที่อาจให้ผลลัพธ์ซึ่งมีระยะทางวิ่งรวมเท่ากับค่าเดิมหรือมากกว่าค่าเดิมก็ได้ขึ้นอยู่กับข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งต่างๆ โดยคำตอบใหม่ที่ได้นี้จะถูกนำมาบันทึกไว้เป็นเส้นทางทางเลือกต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบจำนวนคำตอบที่ได้ครบตามจำนวนแล้วหรือยัง ถ้ายังไม่ครบให้กลับไปเพิ่มข้อจำกัดตาม

ขั้นตอนที่ห้าแล้วหาคำตอบใหม่เพิ่มเติม แต่ถ้าครบแล้วให้หยุดการหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 7 เลือกเส้นทางการเดินทางในแต่ละวัน โดยเลือกแบบสุ่มจากทางเลือกที่มีทั้งหมด โดยที่ทางเลือกที่เลือกในครั้งหลังๆ ต้องไม่ซ้ำกับทางเลือกในครั้งก่อนๆ

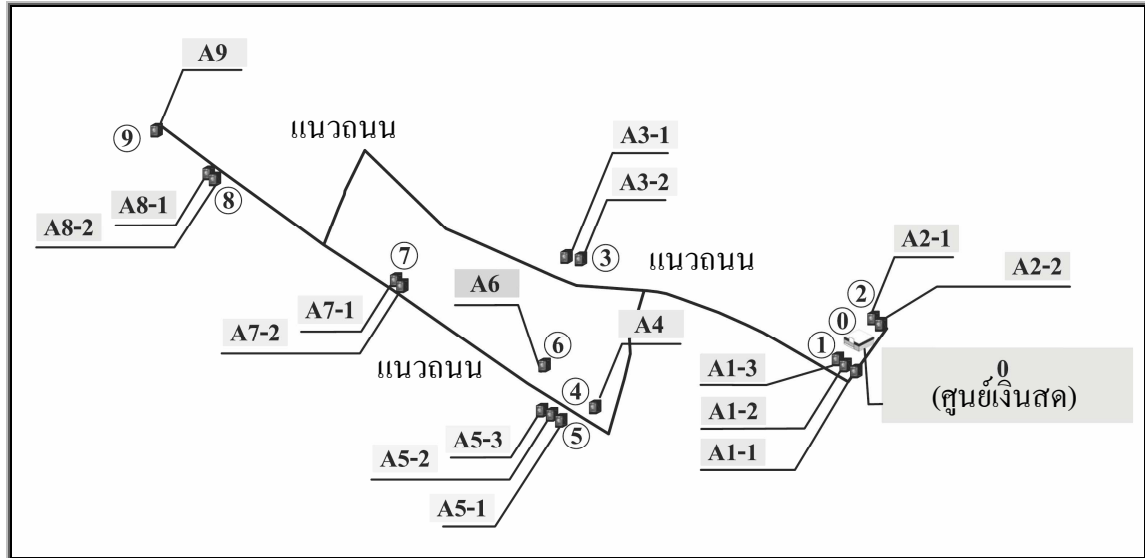


รูปที่ 1 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับรถยนต์บรรทุกขนบัตรเติมตู้เอทีเอ็ม เพื่อความปลอดภัยจากการถูกกักโจรกรรมแบบใหม่

4. กรณีศึกษาที่หนึ่ง: กรุงเทพฯ ผังกรุงธนบุรี เขตที่หนึ่ง

กรณีศึกษาที่หนึ่งแสดงได้ดังรูปที่สอง ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนตู้เอทีเอ็มทั้งหมด 17 เครื่อง กระจายตั้งอยู่บนเก้าตำแหน่ง (A1 ถึง A9) และศูนย์เงินสดจำนวนหนึ่งแห่ง (A0) ทำให้จำนวนตำแหน่งต่างๆ ทั้งหมดเท่ากับสิบตำแหน่ง ที่แต่ละตำแหน่งสามารถมีตู้เอทีเอ็มได้มากกว่าหนึ่งเครื่อง เช่น ที่ตำแหน่ง A1 มีตู้เอทีเอ็มทั้งหมดสามเครื่องคือ A1-1 A1-2 และ A1-3 เป็นต้น การจัดเส้นทางย่อยของตู้เอทีเอ็มทั้งสามตู้ในตำแหน่ง A1 ไม่ถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้ เพราะไม่มีการเดินทางของรถระหว่างตู้ทั้งสาม ในการปฏิบัติงานจริงพนักงานจะจอดรถไว้ที่ตำแหน่ง A1 และทำการเดินไปเติมเงินตามตู้ทั้งสามแทน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะ

พิจารณาในระดับตำแหน่งเท่านั้น ตารางที่หนึ่งเป็นข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งต่างๆ ของกรณีศึกษาที่หนึ่ง ซึ่งวัดจริงจากเส้นทางการเดินรถโดยพิจารณาถึงทิศทางการเดินรถตามกฎหมายจราจรด้วย



รูปที่ 2 แผนที่แสดงเส้นทางและตำแหน่งต่างๆ สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

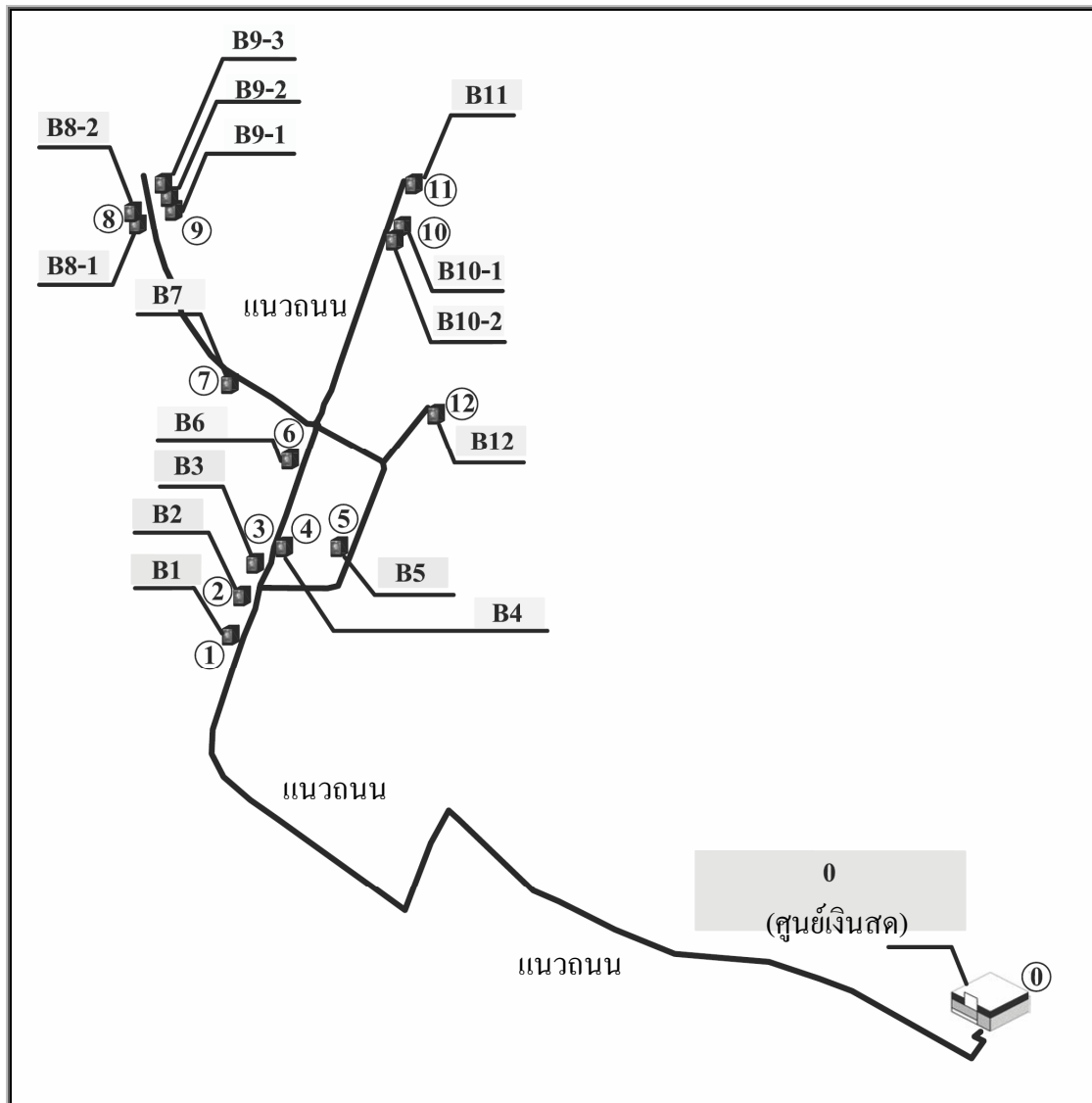
ตารางที่ 1 แสดงระยะทางระหว่างตำแหน่ง A0 ถึง A9 ของกรณีศึกษาที่หนึ่ง

จาก \ ถึง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	34	128	2,500	2,626	2,988	3,450	4,190	5,043	5,356
1	34	0	144	2,150	2,275	2,637	3,099	4,157	4,693	5,006
2	128	144	0	2,612	2,420	2,782	3,239	4,302	4,838	5,151
3	1,850	1,817	1,962	0	1,139	1,501	1,963	2,008	3,304	3,617
4	2,001	1,968	2,113	1,114	0	264	727	2,263	2,320	2,633
5	2,933	2,900	3,045	2,097	710	0	462	1,998	2,056	2,369
6	2,471	2,438	2,583	1,609	248	342	0	2,341	2,398	2,711
7	3,351	3,318	3,463	2,296	1,128	1,392	880	0	1,296	1,609
8	4,484	4,451	4,596	2,634	2,430	2,695	2,182	1,302	0	313
9	6,511	6,478	6,623	4,661	4,457	4,722	4,209	3,329	2,832	0

หมายเหตุ: ระยะทางโดยเฉลี่ยจากวิธีการกำหนดเส้นทางแบบเก่า (สุ่ม) มีค่าเท่ากับ 29810 เมตร

5. กรณีศึกษาที่สอง: กรุงเทพฯ ฝั่งพระนคร เขตที่สอง

สำหรับปัญหาในกรณีศึกษาที่สองเป็นดังรูปที่สามซึ่งประกอบด้วยจำนวนตู้เอทีเอ็มทั้งหมด 16 เครื่อง กระจายตั้งอยู่บน 12 ตำแหน่งและศูนย์เงินสดจำนวนหนึ่งแห่ง ทำให้จำนวนตำแหน่งต่างๆทั้งหมดเท่ากับ 13 ตำแหน่ง ตารางที่สามแสดงระยะทางที่เกี่ยวข้องทั้งหมด



รูปที่ 3 แผนที่แสดงเส้นทางและตำแหน่งต่างๆ สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงระยะทางระหว่างตำแหน่ง B0 ถึง B12 ของกรณีศึกษาที่สอง

จาก\ถึง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	6,171	6,244	6,554	7,027	5,017	7,063	6,264	7,092	7,607	7,039	8,080	5,826
1	7,588	0	72	382	856	1,440	892	1,529	2,356	2,872	2,341	3,370	1,490
2	7,515	1,784	0	310	784	1,368	819	1,456	2,284	2,799	2,269	3,298	1,418
3	8,350	2,618	2,690	0	474	1,058	509	1,146	1,973	2,489	1,959	2,987	1,108
4	4,950	2,589	2,661	269	0	584	778	1,415	2,242	2,758	2,216	3,256	1,069
5	4,366	3,098	3,170	1,589	1,325	0	2,098	1,256	2,083	2,599	2,030	3,071	485
6	5,346	2,268	2,341	2,651	412	996	0	637	1,464	1,980	1,437	2,478	925
7	7,783	4,991	5,063	5,373	3,218	5,037	3,996	0	827	1,343	3,839	4,880	3,363
8	6,956	4,164	4,236	4,546	2,391	4,210	3,169	3,800	0	516	3,012	4,052	2,536
9	6,440	3,648	3,720	4,030	1,875	3,694	2,653	3,284	4,112	0	2,496	3,537	2,020
10	6,104	3,308	3,380	3,690	1,575	2,159	2,331	1,479	2,307	2,823	0	4,770	1,684
11	6,247	3,451	3,523	3,833	1,718	2,302	2,474	1,622	2,450	2,966	143	0	1,827
12	5,092	3,052	3,124	1,543	1,279	1,863	2,052	1,210	2,037	2,553	1,984	3,025	0

หมายเหตุ: ระยะทางโดยเฉลี่ยจากวิธีการกำหนดเส้นทางแบบเก่า (สุ่ม) มีค่าเท่ากับ 44093 เมตร

6. ผลการวิจัย

การแก้ปัญหาด้วยสเปรดชีทที่สร้างตามโมเดลจีทีเอสพีให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimum Solution) ซึ่งได้ระยะเดินทางรวมต่ำสุดของเขตที่ 1 และ 2 เท่ากับ 12,699 เมตร และ 20459 เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ 4) และสอดคล้องกับหน้าที่ของรถยนต์บรรทุกชนิดเต็มตู้เอทีเอ็ม คือ ต้องบรรทุกชนิดจากศูนย์เงินสดแล้วเดินทางไปเต็มชนิดรถตู้เอทีเอ็มให้ครบทุกตู้และทุกตำแหน่งตามที่กำหนดไว้ในเขตและกลับมายังศูนย์เงินสด ซึ่งมีลำดับเส้นทางย่อเป็นดังนี้

0 → 2 → 1 → 5 → 8 → 9 → 7 → 6 → 4 → 3 → 0 เขตที่ 1

1

0 → 1 → 2 → 3 → 6 → 7 → 8 → 9 → 11 → 10 → 4 → 5 → 12 → 0 เขตที่ 2

ที่ 2

หลังจากนั้นจึงได้ทำการหาคำตอบเพิ่มเติมโดยกำหนดจำนวนเส้นทางเป้าหมายไว้ที่ห้าเส้นทาง (P=5) เพราะตามนโยบายของผู้บริหารที่ต้องการให้มีเส้นทางที่ไม่ซ้ำกันในหนึ่งสัปดาห์ (หนึ่งสัปดาห์เดินรถห้าวัน) การเพิ่มข้อจำกัดที่ทำให้ได้คำตอบใหม่ไม่ซ้ำเดิมจะเป็นไปตามข้อจำกัดที่ 3.1 ตารางที่ 3 และ 4 แสดงผลของการแก้ปัญหาซึ่งได้ทางเลือกทั้งหมดห้าเส้นทางของเขตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การนำเส้นทางไปใช้งานจริงในแต่ละวันได้จากการเลือกแบบสุ่มจากทางเลือกทั้งหมดที่มีในสองตารางนี้

ตารางที่ 3 สรุปคำตอบเส้นทางที่ได้ สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

เส้นทางรวมที่	ลำดับเส้นทางย่อ	ระยะทางรวม (เมตร)
1	0 → 2 → 1 → 5 → 8 → 9 → 7 → 6 → 4 → 3 → 0	12,699
2	0 → 2 → 5 → 8 → 9 → 7 → 6 → 4 → 3 → 1 → 0	12,701
3	0 → 1 → 5 → 8 → 9 → 7 → 6 → 4 → 3 → 2 → 0	12,701
4	0 → 2 → 1 → 3 → 5 → 8 → 9 → 7 → 6 → 4 → 0	12,750
5	0 → 1 → 2 → 5 → 8 → 9 → 7 → 6 → 4 → 3 → 0	12,751

ตารางที่ 4 สรุปคำตอบเส้นทางที่ได้ สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

เส้นทางรวมที่	ลำดับเส้นทางย่อย	ระยะทางรวม (เมตร)
1	0 → 1 → 2 → 3 → 6 → 7 → 8 → 9 → 11 → 10 → 4 → 5 → 12 → 0	20,459
2	0 → 1 → 2 → 3 → 6 → 11 → 10 → 7 → 8 → 9 → 4 → 5 → 12 → 0	20,543
3	0 → 1 → 2 → 3 → 6 → 7 → 8 → 9 → 11 → 10 → 12 → 4 → 5 → 0	20,636
4	0 → 1 → 2 → 3 → 6 → 11 → 10 → 12 → 7 → 8 → 9 → 4 → 5 → 0	20,746
5	0 → 1 → 2 → 3 → 6 → 7 → 8 → 9 → 12 → 11 → 10 → 4 → 5 → 0	20,756

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอทำได้โดยการทดลองเชิงตัวเลข (Numerical Experiment) เพื่อจัดตารางเดินรถล่วงหน้าเป็นระยะเวลาสามเดือนเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถวิธีการเดิมของกรณีศึกษาตัวอย่าง (ดูส่วนที่สองสำหรับวิธีการจัดเส้นทางวิธีการเดิม) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือการจัดเส้นทางเดินรถตามวิธีการที่เสนอนั้นให้ระยะเดินทางรวมที่ต่ำกว่าการจัดเส้นทางเดินรถตามวิธีการปฏิบัติงานแบบเดิม 42.6% สำหรับเขตที่ 1 และ 46.4% สำหรับเขตที่ 2

7. บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการแก้ปัญหการจัดเส้นทางเดินรถขนขนบัตริของกรณีศึกษาจริงโดยคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยจากการโจรกรรม วัตถุประสงค์คือเพื่อให้ได้เส้นทางเดินที่ปลอดภัยและมีระยะทางการขนส่งที่สั้นเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการขนส่ง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบใหม่ โดยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบจีทีเอสพี (GTSP: General Traveling Salesman Problem) มาแก้ปัญหาเพื่อหาเส้นทางเดินรถขนส่งที่มีระยะทางสั้นที่สุด จากนั้นได้นำเสนอแนวทางการเพิ่มข้อจำกัด (Constraint) เพิ่มเติมเพื่อการแก้ปัญหาให้ได้เส้นทางคำตอบมากกว่าหนึ่งเส้นทาง จำนวนเส้นทางคำตอบที่ต้องการทั้งหมดสามารถกำหนดได้โดยผู้บริหารขององค์กร ซึ่งจะคำนึงถึงปัจจัยเรื่องความปลอดภัยจากการถูกโจรกรรมเป็นหลัก วิธีการที่นำเสนอนี้ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการแบบเดิมของธนาคารตัวอย่าง ด้วยกระบวนการทดลองเชิงตัวเลข เรพบว่าวิธีการแบบใหม่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และสามารถลดระยะทางการขนส่งลงได้ร้อยละ 42.6 สำหรับกรณีศึกษา เขตที่หนึ่ง และร้อยละ 46.4 สำหรับเขตที่สอง

งานวิจัยในอนาคตสามารถทำได้ดังนี้ นอกเหนือการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดแล้ว สิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติมต่อไปก็คือ การพิจารณาถึงข้อมูลการจราจรในแต่ละเส้นทาง เพราะเส้นทางที่มีระยะทางสั้นแต่มีการจราจรที่คับคั่งก็เป็นเส้นทางที่ไม่มีประสิทธิภาพเช่นกัน ในการทำดังนี้ ผู้วิจัยควรศึกษารูปแบบและข้อมูลของการจราจรของแต่ละเส้นทางในแต่ละช่วงเวลาด้วย เพื่อให้เกิดการกำหนดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- จีรพันธ์ แซ่จิว, 2550, “การจัดเส้นทางการเดินทางรถยนต์ขนรถบรรทุกเพื่อเติมเงินลงตู้เอทีเอ็มโดยคำนึงถึงความปลอดภัยจากการโจรกรรม”, การศึกษาอิสระ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- Carter A, E., Ragsdale, C.T., 2006, “A new approach to solving the multiple traveling salesperson problem using genetic algorithms”, *European Journal of Operational Research*, 175, 246–257.
- Chan, Y., Baker, S.F., 2005, “The multiple depot, multiple traveling salesmen facility-location problem: vehicle range, service frequency, and heuristic implementations”, *Mathematical and computer Modeling*, Vol. 41, No. 8-9, pp. 1035-1053
- Fischetti, M., Salazar, J., Toth, P., 1997, “A branch-and-cut algorithm for the symmetric generalized traveling salesman problem”, *Operations Research*, 45, 378–94.
- Fischetti, M., Salazar, J., Toth, P., 1995, “The symmetric generalized traveling salesman problem polytope”, *Networks*, 26, 113–23.
- Glover, F., 1990, “Artificial intelligence, heuristic frameworks and tabu search”, *Managerial and Decision Economics*, 11 (5), 365–378.
- Goldberg, D.E., Lingle, R.J., 1985, “Alleles, loci, and the traveling salesman problem”, *Proceedings of the International Conference on Genetic Algorithms*, London, pp. 154–159.
- Kara, I., Bektas, T., 2005, “Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations”, *European Journal of Operation Research*, Vol. 174, No. 3, 1449-1458.
- Gouveia L., and VoB, S., 1993, “A classification of formulations for the (time-dependent) traveling salesman problem”, *European Journal of Operation Research*, Vol. 83, No. 1, 69-82.
- Laporte, G., Nobert, Y., 1983, “Generalized traveling salesman problem through n sets of nodes: an integer programming approach”, *Informatik*, 21, 61–75.
- Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A., Shimoys, D., 1985, “The Traveling Salesman Problem”, John Wiley & Sons, New York.
- Noon, C., 1988, “The generalized traveling salesman problem”, PhD Dissertation, The University of Michigan, Ann Arbor.
- Shirrish, B., Nigel, J., Kabuka, M.R., 1993, “A Boolean neural network approach for the traveling salesman problem”, *IEEE Transactions on Computers*, 42 (10), 1271–1278.
- Tanga, H., Miller-Hooks, E., 2007, “Solving a generalized traveling salesperson problem with stochastic customers”, *Computers & Operations Research*, 34, 1963–1987.