การวิเคราะห์ตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมเพื่อสนับสนุนการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัช

Analysis of Optimal Locations for Towing Service Stations to Support Accident Management on Chalong Rat Expressway

ณฐพนธ์ พักตรผิว[1,*] อุทัย วังชัยศรี[2] ทักษิณา กรไกร[3] และ ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล[4]

[1,3,4] กองวิจัยและนวัตกรรม ฝ่ายดิจิทัล 1 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร
[2] กองสื่อสาร ฝ่ายควบคุมการจราจร การทางพิเศษแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: nathaphon.exat@gmail.com*

บทคัดย่อ

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) ให้บริการทางพิเศษเพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินทางของประชาชน ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระยะทางรวมกว่า 224.6 กิโลเมตร และมีปริมาณจราจรรายวัน 1.71 ล้านคันต่อวัน แม้ว่าการให้บริการบนทางพิเศษจะได้รับการออกแบบเพื่ออำนวยความสะดวกและปลอดภัยในการเดินทางแก่ผู้ใช้ทาง แต่ก็ยังคงมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นได้จากหลากหลายปัจจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 จนถึง พ.ศ.2566 แนวโน้มของการเกิดอุบัติเหตุลดลง เฉลี่ยร้อยละ 8.6 ต่อปี อย่างไรก็ตามจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นยังต้องการการจัดการที่รวดเร็วและปลอดภัย เพื่อลดความสูญเสียด้านชีวิตและทรัพย์สิน ลดความล่าช้าและกระแสจราจรติดขัดจากการเกิดอุบัติเหตุ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัช เพื่อสนับสนุนการจัดการอุบัติเหตุ ด้วยแบบจำลองการเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) โดยวิเคราะห์ด้วยข้อมูลสถิติอุบัติเหตุและข้อมูลตำแหน่งอู่ที่ให้บริการรถลากบริเวณรอบทางพิเศษฉลองรัช ภายใต้เงื่อนไขของระยะทางระหว่างจุดเกิดอุบัติเหตุและตำแหน่งอู่ให้บริการรถลาก ผลการศึกษาพบว่าจำนวนอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมอย่างน้อยที่สุดมีทั้งหมด 7 แห่ง ครอบคลุมอุบัติเหตุทั้งหมดร้อยละ 92.5 นอกจากนี้จุดเกิดอุบัติเหตุที่อยู่นอกเหนือการให้บริการของอู่ฯ คิดเป็นร้อยละ 7.5 ซึ่งอู่ฯ ดังกล่าวสามารถให้บริการทั้งในและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน อีกทั้งยังครอบคลุมทั้งสองทิศทาง ช่วยสนับสนุนหรือทดแทนการประจำการของรถลาก กทพ. ได้ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าว จะเป็นข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจร่วมมือกับอู่รถลากในพื้นที่ สำหรับจุดเกิดอุบัติเหตุที่นอกเหนือการครอบคลุมของอู่ฯ ยังสามารถทดแทนด้วยการประจำการรถลากของ กทพ. เพื่อให้ครอบคลุมอุบัติเหตุทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นบนสายทางพิเศษฉลองรัช ช่วยลดต้นทุนองค์กรจากการลดจำนวนรถลากและค่าบำรุงรักษาพาหนะของ กทพ. อีกทั้งยังยกระดับการให้บริการด้วยการจัดการอุบัติการณ์ที่รวดเร็วและครอบคลุมทั้งทางพิเศษฉลองรัช

คำสำคัญ: การแก้ปัญหาสถานที่ตั้ง, การจัดการอุบัติเหตุ, ทางพิเศษ

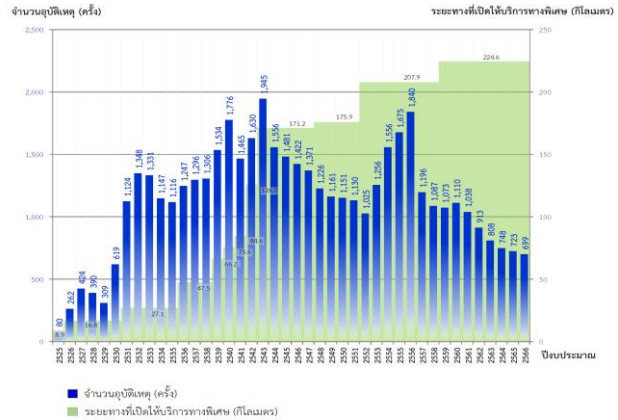
Abstract

Expressway Authority of Thailand (EXAT) operates expressways to facilitate and enhance the efficiency of transportation for the public, covering Bangkok and its surrounding areas with a total distance of over 224.6 kilometers and serving a daily traffic volume of approximately 1.71 million vehicles. Although the expressways are designed to provide convenient and safe travel for users, accidents can still occur due to various factors. From 2013 to 2023, the trend of accident occurrences has decreased by an average of 8.6% per year. However, the accidents that do occur still require rapid and safe management to minimize the loss of life and property, as well as to reduce delays and traffic congestion resulting from such incidents. The study found that at least seven towing service stations are required to achieve coverage of 92.5% of accident locations. The remaining 7.5% of accident sites fall outside the service coverage. The proposed towing service stations can operate both during and outside peak hours and cover both directions of traffic, thereby supporting or substituting for EXAT's own towing operations. These findings can serve as a basis for decision-making in collaborating with local towing service providers. For accident sites outside the coverage area, EXAT's own towing vehicles can be deployed to ensure full coverage along the Chalong Rat Expressway. This approach not only reduces organizational costs by lowering the number of EXAT-owned tow trucks and related maintenance expenses, but also enhances the level of service by enabling faster and more comprehensive incident management across the Chalong Rat Expressway.

Keywords: Location Problem, Accident Management, Expressway

1. คำนำ

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) มีภารกิจหลักในการให้บริการทางพิเศษเพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินทางของประชาชน ภายใต้วิสัยทัศน์ “องค์กรนวัตกรรมเพื่อการเดินทาง และคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น” กทพ. มีหน้าที่ในการให้บริการทางพิเศษ 8 สายทาง ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระยะทางรวมกว่า 224.6 กิโลเมตร และมีปริมาณจราจรรายวัน 1.71 ล้านคันต่อวัน แม้ว่าการให้บริการบนทางพิเศษจะได้รับการออกแบบเพื่ออำนวยความสะดวกและปลอดภัยในการเดินทางแก่ผู้ใช้ทาง แต่ก็ยังคงมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นได้จากหลากหลายปัจจัย เช่น การขับรถเร็วเกินกำหนด การดื่มแอลกอฮอล์ ทัศนวิสัยแย่ เป็นต้น ถึงแม้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 จำนวนอุบัติเหตุจะสูงถึง 1,840 ครั้ง แต่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องสวนทางกับระยะทางที่เปิดให้บริการทางพิเศษ จนกระทั่งในปี พ.ศ.2566 อุบัติเหตุลดลงเหลือ 699 ครั้ง เฉลี่ยร้อยละ 8.6 ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 1 นับว่าเป็นสัญญาณที่ดีในการลดอุบัติเหตุ อย่างไรก็ตามจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ยังต้องการการจัดการที่รวดเร็วและปลอดภัย เพื่อลดความสูญเสียด้านชีวิตและทรัพย์สิน ลดความล่าช้าและกระแสจราจรติดขัดจากการเกิดอุบัติเหตุ



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบจำนวนอุบัติเหตุบนทางพิเศษกับระยะทางที่เปิดให้บริการทางพิเศษตั้งแต่เปิดให้บริการปีงบประมาณ พ.ศ.2525 – 2566 [1]

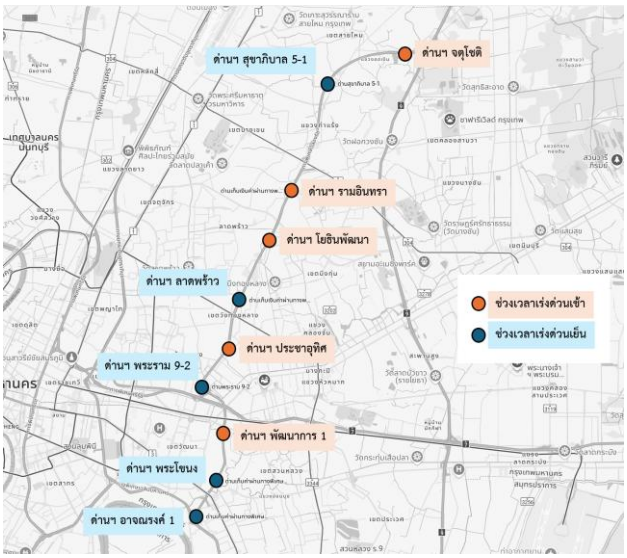
การจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษนับว่าเป็นกระบวนการสำคัญ โดยมีเป้าหมายในการให้ความช่วยเหลือที่รวดเร็วและปลอดภัย เพื่อลดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ตลอดจนป้องกันการติดขัดของการจราจรบนทางพิเศษ อย่างไรก็ตาม ระบบงานกู้ภัยของ กทพ. มีข้อจำกัดด้านจำนวนพาหนะ จุดประจำการเพื่อรองรับการกู้ภัย และต้นทุนในการบำรุงรักษาพาหนะกู้ภัย กทพ. จึงเกิดแนวคิดในการใช้บริการอู่รถลากภายนอกช่วยในการจัดการอุบัติเหตุ โดยให้อู่รถลากที่ตั้งอยู่บริเวณทางพิเศษฉลองรัชเข้ามามีส่วนร่วมในการให้บริการผู้ใช้ทางเมื่อเกิดอุบัติเหตุ แนวคิดดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการอุบัติเหตุและลดต้นทุนขององค์กร

อย่างไรก็ตาม ผู้ศึกษาพบว่าความท้าทายของแนวคิดนี้อยู่ที่การเลือกตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมในการสนับสนุนการจัดการอุบัติเหตุ ภายใต้การพิจารณาปัจจัยร่วม เช่น ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุ มาตรฐานการเข้าช่วยเหลืออุบัติเหตุบนทางพิเศษ เป็นต้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังต้องการศึกษาแบบจำลอง การเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) อีกทั้งยังต้องการผลการวิเคราะห์เพื่อสนับสนุนแนวคิดดังกล่าวเพื่อพัฒนายกระดับการกู้ภัยให้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกู้ภัยบนทางพิเศษในปัจจุบัน

กทพ. มีหน่วยงานที่รับผิดชอบหลักในการบริหารจัดการอุบัติเหตุคือ ฝ่ายควบคุมการจราจร ซึ่งประกอบไปด้วย กองสื่อสาร กองจัดการจราจร และกองกู้ภัย ปฏิบัติหน้าที่ร่วมกัน โดยกองสื่อสารทำหน้าที่สังเกตการณ์ รับแจ้งเหตุและสั่งการไปยังกองกู้ภัยและกองจัดการจราจร เพื่อจัดเตรียมเจ้าหน้าที่ อุปกรณ์และพาหนะที่ใช้ในการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษ เพื่อเข้าพื้นที่และแก้ไขปัญหาจราจรบนทางพิเศษ อย่างไรก็ตาม กองกู้ภัย เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบพาหนะในการกู้ภัย เช่น รถลาก ในปัจจุบันมีการจัดเวรเพื่อประจำการรถลากในช่วงเร่งด่วนเช้าและเร่งด่วนเย็น โดยช่วงเร่งด่วนเช้ารถลากจะประจำการอยู่บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษขาเข้าเมืองทั้งหมด 5 จุด ประกอบด้วย ด่านฯ จตุโชติ ด่านฯ รามอินทรา ด่านฯ โยธินพัฒนา ด่านฯ ประชาอุทิศ และด่านฯ พัฒนาการ 1 ในช่วงเร่งด่วนเย็นรถลากจะประจำการอยู่บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษขาออกเมืองทั้งหมด 5 จุดเช่นเดียวกัน ประกอบด้วย ด่านฯ อาจณรงค์ 1 ด่านฯ พระโขนง ด่านฯพระราม 9-2 ด่านฯ ลาดพร้าว และด่านสุขาภิบาล 5-1 จะเห็นได้ว่ารถลากประจำการช่วงเร่งด่วนเช้าแค่ขาเข้าเมืองและประจำการช่วงเร่งด่วนเย็นแค่ขาออกเมืองเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อเกิดอุบัติเหตุบริเวณใกล้เคียงและประเมินแล้วว่าต้องการใช้รถลากจึงจะสามารถดำเนินการได้ ซึ่งจุดประจำการดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมในช่วงเวลานอกช่วงเร่งด่วน อีกทั้งยังไม่มีการประจำการทั้งสองทิศทางพร้อมกัน ถ้าหากเกิดอุบัติเหตุนอกช่วงเวลาหรือระยะทางไกลห่างจากจุดประจำการ อาจทำให้การจัดการอุบัติเหตุล่าช้า ส่งผลให้การจราจรติดขัดบนทางพิเศษตามมาอีกด้วย



รูปที่ 2 ตำแหน่งประจำการรถลากของกทพ. ในช่วงเร่งด่วนเช้าและช่วงเร่งด่วนเย็น

2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเป็นการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อใช้ปลูกสร้าง อาคาร โรงงาน หรือคลังสินค้าไว้ในสถานที่ที่ใดที่หนึ่งที่ได้กำหนดไว้ โดยสามารถพิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ได้ [2] ทั้งนี้ ยังเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญในทุกองค์กร เพราะมีบทบาทโดยตรงต่อการตัดสินใจในด้านการดำเนินการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบริการ [3] แนวทางการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแก้ไขด้วยการจำลองปัญหาและเงื่อนไขในการตัดสินใจจากสถานการณ์จริง ให้อยู่ในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ จากนั้นแก้สมการเพื่อหาคำตอบให้กับสถานการณ์จริง ซึ่งแต่ละสถานการณ์ก็จะมีวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน จึงทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความหลากหลายและวิธีการในการแก้ปัญหาแตกต่างกันออกไปด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า (Covering Problem) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการหาตำแหน่งของสถานที่บริการที่สามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างทั่วถึงภายใต้ข้อจำกัดของระยะเวลาหรือระยะทาง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น แบบจำลองระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisum Facility Location Problems) แบบจำลองครอบคลุมความต้องการของลูกค้า (Covering Location Problem) แบบจำลองระยะทางไกลที่สุดน้อยที่สุด (Minimax Facility Location Problems) เป็นต้น

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นัทธ์ดนัย จันลาวงศ์ [4] ได้ศึกษาการกำหนดที่ตั้งจุดบริการแพทย์ฉุกเฉินด้วยตัวแบบปัญหาอัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยสูงสุด เพื่อยกระดับระยะเวลาตอบสนองการเข้าถึงจุดเกิดเหตุให้รวดเร็วยิ่งขึ้นและช่วยเพิ่มโอกาสรอดชีวิตจากอุบัติเหตุมากขึ้นตามไปด้วย โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดสรรตำแหน่งจุดบริการแพทย์ฉุกเฉินให้เหมาะสมและใช้วิธีการวิเคราะห์การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเลือกสถานีที่ผู้ป่วยในพื้นที่ห่างไกลเข้าถึงได้รวดเร็วที่สุดและเพิ่มสถานีที่เข้าถึงได้รวดเร็วอันดับบรองลงมา โดยนำเข้าข้อมูลจุดบริการแพทย์ฉุกเฉินระดับ ALS BLS และ FR พื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดนครราชสีมา พบว่าเมื่อมีการเพิ่มสถานีฉุกเฉินส่งผลให้ผู้ป่วยที่ห่างไกลจากพื้นที่เข้าถึงมีโอกาสรอดชีวิตสูงขึ้น และนำไปสู่การนำเสนอแนวทางในการวางแผนกลยุทธ์ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัดให้ครอบคลุมผู้ป่วยมากที่สุด

กฤติน เจนสิราสุรัชต์ [5] ได้ศึกษาที่ตั้งจุดบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินที่เหมาะสมบนทางหลวงโดยตัวแบบครอบคลุมความต้องการสูงสุด : กรณีศึกษาจังหวัดตาก เพื่อช่วยเหลือและเพิ่มโอกาสในการรอดชีวิตของผู้ประสบอุบัติเหตุ ด้วยการเข้าถึงจุดเกิดเหตุอย่างรวดเร็วและจุดบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินมีความเหมาะสม ด้วยวิธีการจัดสรรตำแหน่งที่สามารถครอบคลุมความต้องการของผู้ป่วยฉุกเฉินให้ได้มากที่สุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) ซึ่งใช้ข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุและระยะเวลาการตอบสนองของจุดบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินประกอบการวิเคราะห์ ในพื้นที่จังหวัดตาก ผลการศึกษาสามารถนำเสนอตำแหน่งจุดบริการทางการแพทย์ที่เหมาะสมทั้งหมด 24 จุด สามารถลดจุดบริการได้ 22 จุด จาเดิมที่มีอยู่ 46 จุด และประสิทธิภาพของจุดบริการสามารถครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุทั้งหมดได้

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน [3] ได้ศึกษาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ด้วยการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม (Facility Location Problem, FLP) พบว่าสามารถแบ่งประเภทปัญหาได้ 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบดีเทอร์มินิสติก แบบพลวัต แบบสโตแคสติก และแบบโรบัส นอกจากนี้ยังมีการนำไปประยุกต์ใช้หลากหลายรูปแบบ และวิธีแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และตัดสินใจเชิงระบบมากยิ่งขึ้น และให้ผลลัพธ์ที่ดีต่อองค์กรอย่างยั่งยืน

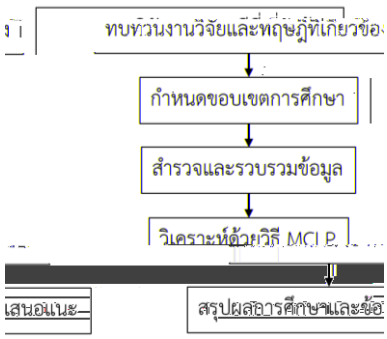
ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว [2] ได้รวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง โดยมุ่งเน้นในประเด็นของลักษณะปัญหาแบบต่างๆ และวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา พบว่าการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบ่งได้เป็น 2 แนวทาง ประกอบด้วย การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ และต้องพิจารณาทรัพยากรการผลิตและปัจจัยสภาพแวดล้อมร่วมด้วย ผู้วิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาวิธีการแบบฮิวริสติกพร้อมกับการกำหนดตัวแบบทางคณิตศาตร์ในการแก้ปัญหา เนื่องจากใช้หลักการที่ง่ายและใช้เวลาในการคำนวณหาคำตอบสั้นกว่ารวมถึงผลลัพธ์มีคุณภาพดี

วิศิษฎ์ ลิ้มพัฒนสิริ [6] ได้พัฒนาแบบจำลองการกำหนดตำแหน่งสถานีรถพยาบาลในเขตเมือง โดยคำนึงถึงปัญหาการจราจรติดขัดอย่างรุนแรง คือ แบบจำลอง Maximal Covering Location Problem with heavy traffic congestion (MCLP-htc) โดยขยายจากแนวคิดของ MCLP เดิม แบบจำลองเสนอแนวทาง 2 แบบ ได้แก่ การเพิ่มจำนวนประชากรที่ได้รับการครอบคลุมในสภาพการจราจรปกติ และการเพิ่มการครอบคลุมในสภาพรถติดหนัก ความเร็วในการเดินทางจำลองด้วยการแจกแจงแบบปกติผ่านค่าความน่าจะเป็นที่ต่างกัน พัฒนาอัลกอริธึมแบบ Dynamic Programming

เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาเชิงประสิทธิภาพ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากอัลกอริทึมกับโปรแกรม CPLEX ด้วยเครือข่ายสมมุติสองกรณี ประกอบด้วยเครือข่ายสมมุติ 60 โหนด และเครือข่ายจากเมืองโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริธึมสามารถให้ผลลัพธ์เทียบเท่ากับโปรแกรม CPLEX ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และแบบจำลอง MCLP-htc สามารถเพิ่มการครอบคลุมประชากรในช่วงเวลาตอบสนองที่สั้นลงได้ดีกว่าแบบจำลองเดิม โดยยังคงรักษาระดับมาตรฐานการให้บริการและช่วยลดจำนวนรูปแบบตำแหน่งที่ต้องพิจารณา เหมาะสำหรับนำไปใช้วางแผนระบบบริการการแพทย์ฉุกเฉินในเขตเมืองที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและการจราจรที่หนาแน่น

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยวิธีการดำเนินการศึกษาทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษาทั้ง 5 ขั้นตอน

3.1 กำหนดขอบเขตการศึกษา

3.1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

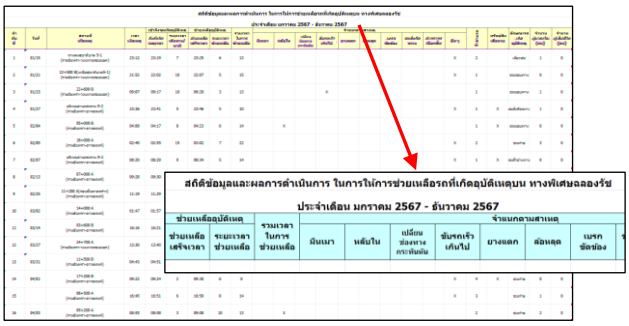
งานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาคือ ทางพิเศษฉลองรัช เนื่องจากเป็นทางพิเศษสายสำคัญที่ช่วยเชื่อมต่อและแบ่งเบาปริมาณจราจรจากนอกเมืองเข้าสู่ใจกลางเมืองพร้อมทั้งแก้ไขปัญหาการเดินทาง เริ่มจากวงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานครไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จนถึงไปบรรจบกับทางพิเศษเฉลิมมหานคร สายบางนา-ท่าเรือที่บริเวณอาจณรงค์ โดยไม่ต้องผ่านถนนที่มีปัญหาการจราจรติดขัด รวมระยะทาง 28.2 กิโลเมตร

3.1.2 สมมุติฐานการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้กำหนดสมมุติฐานโดยอ้างอิงจากคู่มือปฏิบัติงาน พนักงานและลูกจ้างในสังกัดกองกู้ภัย ฝ่ายควบคุมจราจร กทพ. [7] เมื่อเกิดเหตุรถขัดข้องบนทางพิเศษ ถ้าพนักงานกู้ภัยพบหรือได้รับแจ้งจากศูนย์ควบคุมว่ามีรถขัดข้อง จะต้องรีบดำเนินการให้ความช่วยเหลือทันที ภายในระยะเวลาเฉลี่ยไม่เกิน 10 นาทีเฉพาะบนทางพิเศษ (สำหรับทางพิเศษในเขตเมือง) หากต้องการเคลื่อนย้ายรถขัดข้องโดยใช้รถลากจูง คู่มือฯ กำหนดให้รถลากจูงใช้ความเร็วได้ไม่เกิน 50 กม./ชม. เนื่องด้วยการพิจารณาความเร็วจะต้องคำนึงถึงสภาพการจราจรในแต่ละวันและเวลา ซึ่งมีความแตกต่างและซับซ้อนไม่เหมาะกับแบบจำลองการเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) ผู้ศึกษาจึงไม่ได้นำปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมด้วย เพราะผลที่คาดว่าจะได้รับคือจำนวนอู่ฯ ที่น้อยที่สุดพร้อมตำแหน่งเริ่มต้นที่สามารถครอบคลุมอุบัติเหตุได้สูงที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกตำแหน่งอู่ฯ ตั้งต้นให้ครอบคลุมอุบัติเหตุก่อน และสามารถขยายการให้บริการออกไปได้ในอนาคต อย่างไรก็ตามการใช้บริการอู่รถลากภายนอกช่วยในการจัดการอุบัติเหตุจะต้องดำเนินการภายใต้มาตรฐานเดียวกันกับ กทพ. ผู้ศึกษาจึงกำหนดสมมุติฐานว่า การเข้าถึงจุดเกิดอุบัติเหตุจะต้องใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที รถลากหรือรถยกใช้ความเร็วไม่เกิน 50 กม./ชม. และระยะทางที่เหมาะสมระหว่างอู่ให้บริการรถลากกับจุดเกิดอุบัติเหตุต้องมีค่าน้อยกว่า 8 กิโลเมตรรวมระยะทางราบและทางพิเศษ

3.1.3 ขอบเขตของข้อมูล

ข้อมูลอุบัติเหตุถูกรวบรวมจากระบบรายงานผลการควบคุมจราจร (Traffic Control Report) ของ กทพ. โดยพิจารณาข้อมูลสถิติอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2565 - 2567 รวมทั้งหมด 1,066 ครั้ง ภายหลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 เนื่องจากปริมาณจราจรเริ่มสู่สภาวะกลับมาปกติ ผู้ศึกษาได้กำหนดจุดเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 108 จุด ทุกๆ 500 เมตร ทั้งทิศทางเข้าเมืองและทิศทางออกเมือง เพื่อให้ครอบคลุมอุบัติเหตุทุกจุดที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษฉลองรัช โดยแต่ละจุดได้รวบรวมความถี่ของการอุบัติเหตุเกิดขึ้นบนทางพิเศษบริเวณใกล้เคียงภายใต้รัศมี 250 เมตร เพื่อให้น้ำหนักและความสำคัญกับจุดที่เกิดอุบัติเหตุบ่อยก่อน นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและอู่ที่ให้บริการรถลากบริเวณรอบทางพิเศษฉลองรัช จำนวนทั้งหมด 100 แห่งเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ข้อมูลอุบัติเหตุถูกรวบรวมจากระบบรายงานผลการควบคุมจราจร (Traffic Control Report) ของ กทพ.

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา

แบบจำลองการเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1974 โดย Church และ ReVelle ใช้แบบจำลองดังกล่าวหาจำนวนจุดให้บริการทางการแพทย์ p จุดที่สามารถครอบคลุมการให้บริการประชากรสูงที่สุด หลังจากนั้นมีการนำวิธี MCLP ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาภายใต้ข้อจำกัด

อื่นๆ [6] การศึกษานี้เลือกใช้วิธี MCLP ในการเลือกตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมเพื่อจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัช โดยการเลือกตำแหน่งอู่ฯ จำนวน S แห่ง ภายใต้ข้อจำกัดคือต้องครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะพิจารณาจากผลคูณระหว่างจำนวนอุบัติเหตุในแต่ละสถานี (fi) และระยะครอบคลุมของอู่ฯ (Yi) เพื่อคัดเลือกอู่ที่เหมาะสมที่สามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด โดยพิจารณาจากสมมุติฐานที่กำหนด โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1)

constraint

(2)

(3)

(4)

(5)

ดัชนี (Indexes)

i = จุดเกิดอุบัติเหตุที่ถูกครอบคลุม ณ ตำแหน่ง i โดยที่ i = 1,..,n

j = อู่ให้บริการรถลากตำแหน่งที่ j โดยที่ j = 1,...,n

พารามิเตอร์ (Parameters)

P = จำนวนอู่ให้บริการรถลากที่ถูกกำหนด

= จำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่ที่ครอบคลุมของแต่ละอู่ฯ

= ระยะทางเข้าถึงจุดเกิดเหตุโดยพิจารณาจากความเร็วพาหนะและระยะเวลาเข้าถึงจุดเกิดเหตุ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

= อู่ให้บริการรถลาก {1 เมื่อมีจุดบริการ, 0 เมื่อไม่มีจุดบริการ}

= จุดเกิดอุบัติเหตุที่ถูกครอบคลุมโดยอู่ฯ {1 ถูกครอบคลุม, 0 ไม่ถูกครอบคลุม}

จากสมการข้างต้น สมการวัตถุประสงค์คือสมการที่ (1) จำนวนอุบัติเหตุที่มากที่สุดที่อู่ให้บริการรถลากครอบคลุม สมการที่ (2) จุดเกิดอุบัติเหตุทุกจุดจะต้องครอบคลุมบริการจากอู่ฯ อย่างน้อย 1 ที่ ภายในเงื่อนไขที่กำหนด สมการที่ (3) กำหนดจำนวนอู่ฯที่ให้บริการ สมการที่ (4) และสมการที่ (5) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวแปรในการเลือกตำแหน่งอู่ฯ ให้ครอบคลุมจุดเกิดอุบัติเหตุ

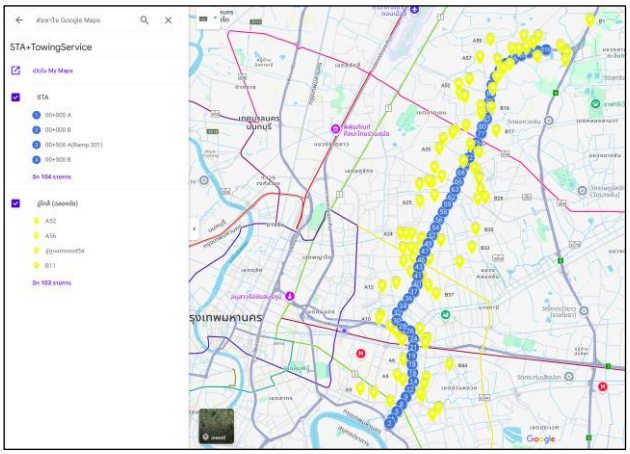
3.2 สำรวจและรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง MCLP ซึ่งประกอบด้วย ชุดข้อมูลทั้งหมด 2 ชุดหลัก ประกอบด้วย

ชุดข้อมูลสถิติจำนวนอุบัติเหตุและตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชได้รับข้อมูลจากระบบรายงานผลการควบคุมจราจร (Traffic Control Report) ของ กทพ. ซึ่งเป็นระบบที่จัดทำขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษ

ชุดข้อมูลตำแหน่งอู่ที่ให้บริการรถลากบริเวณรอบทางพิเศษฉลองรัช ได้ดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการสำรวจภาคสนามและสำรวจผ่านแผนที่ออนไลน์ Google Maps

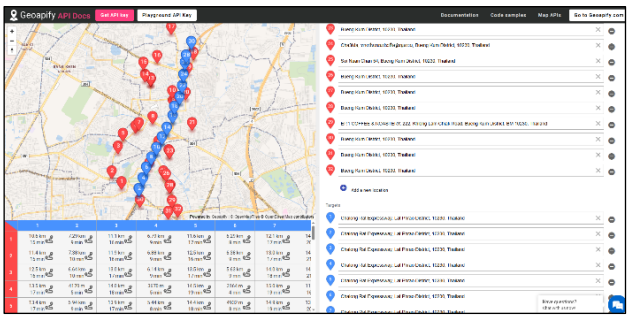
ภายหลังจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นแล้ว ได้ดำเนินการตรวจสอบและปรับปรุงความถูกต้องของข้อมูล (Data Cleaning) เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 ตำแหน่งจุดอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชและตำแหน่งอู่ที่ให้บริการรถลากบริเวณรอบทางพิเศษฉลองรัช

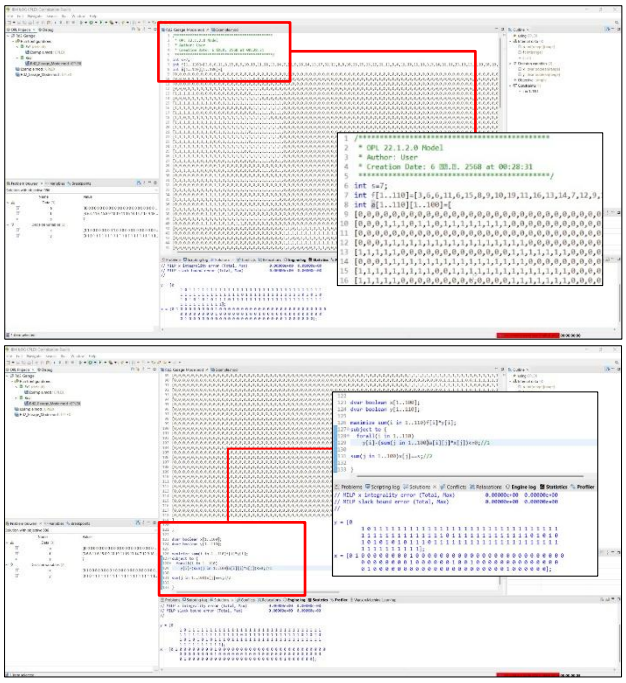
3.3 วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง MCLP

การวิเคราะห์ตำแหน่งอู่ที่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด ด้วยแบบจำลองการเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) ได้นำเข้าข้อมูลสถิติจำนวนอุบัติเหตุและตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัช รวมถึงข้อมูลตำแหน่งอู่ที่ให้บริการรถลากบริเวณรอบทางพิเศษฉลองรัช โดยข้อมูลทั้งสองชุดจะต้องนำมาประมวลผลเพื่อหาความสามารถในการครอบคลุมระหว่างอู่ฯ และตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุ โดยหาระยะทางระหว่างจุดเกิดอุบัติเหตุทุกจุดกับตำแหน่งอู่ทุกอู่ด้วยโปรแกรม Geoapify ที่เป็น freeware จากนั้นดำเนินการตรวจสอบเงื่อนไขของระยะทางระหว่างอู่ฯ และจุดเกิดอุบัติเหตุด้วย Microsoft Excel ภายใต้ข้อจำกัดระยะทางที่เหมาะสมระหว่างอู่ให้บริการรถลากกับจุดเกิดอุบัติเหตุต้องมีค่าน้อยกว่า 8 กิโลเมตร ให้แล้วเสร็จก่อนนำเข้าแบบจำลองฯ



รูปที่ 6 การหาระยะทางระหว่างจุดเกิดอุบัติเหตุทุกจุดกับตำแหน่งอู่ทุกอู่ด้วยโปรแกรม Geoapify

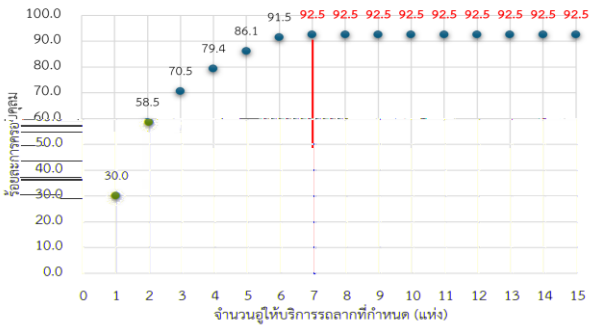
จากนั้นทำการวิเคราะห์ตำแหน่งอู่ที่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด ด้วยแบบจำลอง MCLP บนโปรแกรม CPLEX Studio IDE 22.1.2 โดยการกำหนดค่าจำนวนอู่ที่ให้บริการรถลากโดยเริ่มต้นตั้งแต่จำนวน 1 ไปจนถึง 100 แห่ง โดยแต่ละรอบของการวิเคราะห์แบบจำลองจะได้ผลลัพธ์คือตำแหน่งของอู่ที่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมจำนวนเท่ากับจำนวนอู่ที่กำหนดในตอนต้น ตำแหน่งจุดเกิดอุบัติเหตุที่อู่ฯครอบคลุม พร้อมทั้งจำนวนอุบัติเหตุทั้งหมดที่อู่ฯ ที่เหมาะสมครอบคลุม และทำการคำนวณร้อยละการครอบคลุมจุดเกิดอุบัติเหตุเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนอู่ที่ให้บริการรถลากที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การวิเคราะห์แบบจำลอง MCLP ด้วยโปรแกรม CPLEX Studio IDE 22.1.2

4. ผลการศึกษา

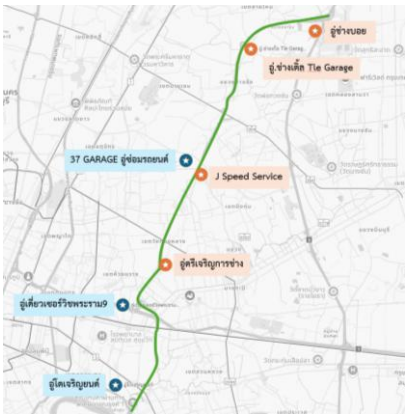
ผลการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนดจำนวนอู่ฯ มีค่าเท่ากับ 1 แห่ง จำนวนจุดเกิดอุบัติที่อู่ฯ ครอบคลุมการให้บริการทั้งหมด 320 จุด จากทั้งหมด 1,066 จุด คิดเป็นร้อยละ 30 เมื่อเพิ่มจำนวนอู่ฯ ที่กำหนด ส่งผลให้จำนวนจุดเกิดอุบัติที่อู่ฯ ครอบคลุมการให้บริการและร้อยละการครอบคลุมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อกำหนดจำนวนอู่ฯ เท่ากับ 7 แห่ง จำนวนจุดเกิดอุบัติเหตุที่อู่ฯ ครอบคลุมการให้บริการทั้งหมด 986 จุด คิดเป็นร้อยละ 92.5 ซึ่งมีจำนวนอุบัติเหตุที่ครอบคลุมสูงที่สุด แม้จะเพิ่มจำนวนอู่ฯ ให้บริการมากกว่า 7 แห่งก็ไม่สามารถเพิ่มจำนวนอุบัติเหตุที่อู่ฯ ครอบคลุมหรือร้อยละการครอบคลุมได้ ดังแสดงในรูปที่ 8 นอกจากนี้ผลการศึกษายังได้พิกัดของตำแหน่งอู่ฯ ที่เหมาะสมทั้ง 7 แห่ง โดยแบ่งออกเป็นสองทิศทางประกอบด้วยทิศทางขาออกเมืองทั้งหมด 3 แห่ง และทิศทางเข้าเมืองทั้งหมด 4 แห่ง ทิศทาง แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 9



รูปที่ 8 ตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด

ตารางที่ 1 รายละเอียดอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด

ชื่ออู่ที่ให้บริการรถลากเหมาะสม	พิกัด	ทิศทาง
อู่โตเจริญยนต์	13.71383, 100.58364	ขาออกเมือง
อู่เดี่ยวเซอร์วิซพระราม9	13.75424, 100.58744	ขาออกเมือง
37 GARAGE	13.82694, 100.62029	ขาออกเมือง
อู่ช่างบอย	13.89249, 100.68734	ขาเข้าเมือง
อู่.ช่างเต้ิล Tle Garage สุขาภิบาล5	13.88344, 100.65399	ขาเข้าเมือง
J Speed Service	13.81986, 100.6281	ขาเข้าเมือง
อู่ศรีเจริญการช่าง	13.77451, 100.60976	ขาเข้าเมือง



รูปที่ 9 ตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด

อย่างไรก็ตามจุดเกิดอุบัติเหตุที่อยู่นอกเหนือการให้บริการของอู่ฯ มีจำนวนทั้งหมด 10 จุด ความถี่รวมของการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมดเท่ากับ 80 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7.5 โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 โดยจุดเกิดอุบัติเหตุทั้งหมดที่อยู่นอกเหนือการให้บริการของ อู่ฯ อยู่ในทิศทางขาออกเมืองทั้งหมด

ตารางที่ 2 ความถี่ของอุบัติเหตุที่อยู่นอกเหนือการให้บริการของอู่ฯ ในแต่ละหลักกิโลเมตร

หลักกิโลเมตร	ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง)	หลักกิโลเมตร	ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง)
STA 00+500A	6	STA 17+000A	9
STA 12+000A	10	STA 17+500A	3
STA 15+500A	11	STA 18+000A	6
STA 16+000A	6	STA 18+500A	7
STA 16+500A	4	STA 19+500A	15

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอผลการวิเคราะห์จำนวนและตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมสามารถครอบคลุมการให้บริการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัชมากที่สุด ด้วยแบบจำลองการเลือกตำแหน่งที่ตั้งครอบคลุมความต้องการสูงสุด (Maximal Covering Location Problem, MCLP) ภายใต้เงื่อนไข ระยะเวลาเข้าถึงจุดเกิดเหตุไม่เกิน 10 นาที รถลากใช้ความเร็วไม่เกิน 50 กม./ชม. และระยะทางที่เหมาะสมระหว่างอู่ให้บริการรถลากกับจุดเกิดอุบัติเหตุต้องมีค่าน้อยกว่า 8 กิโลเมตร ตามคู่มือปฏิบัติงาน พนักงานและลูกจ้างในสังกัดกองกู้ภัย ฝ่ายควบคุมจราจร กทพ. จากผลการศึกษาสามารถกำหนดตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมอย่างน้อยที่สุดมีทั้งหมด 7 แห่ง ประกอบด้วยทิศทางขาออกเมือง 3 แห่ง และทิศทางขาเข้าเมือง 4 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 1 ครอบคลุมอุบัติเหตุทั้งหมดร้อยละ 92.5 นอกจากนี้จุดเกิดอุบัติเหตุที่อยู่นอกเหนือการให้บริการของอู่ฯ ดังตารางที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 7.5 และอยู่บนทางพิเศษฉลองรัชขาออกเมืองทั้งหมด

ผลการศึกษาดังกล่าว ถูกใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจร่วมมือกับอู่รถลากในพื้นที่ สำหรับส่วนที่นอกเหนือการครอบคลุมของอู่ฯ ยังสามารถทดแทนด้วยการพิจารณาตำแหน่งการประจำการรถลากของ กทพ. เพื่อให้ครอบคลุมอุบัติเหตุทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นบนสายทางพิเศษฉลองรัช ช่วยลดต้นทุนองค์กรจากการลดจำนวนรถลากและค่าบำรุงรักษาพาหนะของ กทพ. อีกทั้งยังยกระดับการให้บริการด้วยการจัดการอุบัติการณ์ที่รวดเร็วและครอบคลุมทั้งทางพิเศษฉลองรัช

งานวิจัยดังกล่าวยังได้รับข้อมูลตำแหน่งของอู่ให้บริการรถลากบริเวณโดยรอบทางพิเศษฉลองรัชพร้อมข้อมูลติดต่อ กรณีที่เกิดอุบัติการณ์ไม่คาดคิด หรือการให้บริการรถลากของ กทพ. ไม่พร้อมหรือไม่เพียงพอ อีกทั้งยังมีการแบ่งปันข้อมูลดังกล่าวให้แก่ กองสื่อสารเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องหลังประกอบการตัดสินใจในอนาคต

6. ข้อเสนอแนะ

หากพิจารณาการจัดเวรและประจำการรถลากของ กทพ. ในปัจจุบัน พบว่าในช่วงเวลาเร่งเช่ารถลากจะประจำการเพื่อเข้าปฏิบัติการบนทางพิเศษทิศทางขาเข้าเมือง และในช่วงในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นรถลากจะประจำการเพื่อเข้าปฏิบัติการบนทางพิเศษทิศทางขาออกเมือง ซึ่งอู่ฯ ที่เหมาะสมจะช่วยให้บริการในและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน อีกทั้งยังครอบคลุมทั้งสองทิศทางทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็น

จุดเกิดอุบัติเหตุที่อยู่นอกเหนือการให้บริการของอู่ฯ คิดเป็นร้อยละ 7.5 และอยู่บนทางพิเศษฉลองรัชขาออกเมืองทั้งหมด การให้บริการของอู่ฯ จะช่วยให้บริการทดแทนในส่วนรับผิดชอบของจุดประจำการรถลากของ กทพ. ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายจุดประจำการรถลากของ กทพ. มายังบริเวณดังกล่าว เพื่อสามารถครอบคลุมจุดเกิดอุบัติเหตุและเตรียมพร้อมในการจัดการอุบัติเหตุได้

ตำแหน่งอู่ให้บริการรถลากที่เหมาะสมน้อยที่สุดมีทั้งหมด 7 แห่ง ครอบคลุมอุบัติเหตุทั้งหมดร้อยละ 92.5 อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนอู่ฯ ในบางพื้นที่ให้มีจำนวนมากขึ้น ไม่สามารถครอบคลุมจุดเกิดอุบัติเหตุได้ทั้งหมด แต่อู่ฯ ที่เพิ่มขึ้นมา สามารถเตรียมพร้อมเพื่อให้บริการในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุในพื้นที่เดียวกันหลายเหตุ สรุปได้ว่าหากมีจำนวนอู่ฯ เพิ่มมากขึ้นย่อมส่งผลดีต่อการจัดการอุบัติเหตุบนทางพิเศษฉลองรัช

เอกสารอ้างอิง

[1] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, รายงานสถิติปริมาณจราจรรายได้ค่าผ่านทางพิเศษและอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ปีงบประมาณ 2566, การทางพิเศษแห่งประเทศไทย.

[2] ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว (2557). การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 132-145.

[3] จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน (2554). การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง. *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 78, หน้า 107-122.

[4] นัทธ์ดนัย จันลาวงศ์ (2559). การกำหนดที่ตั้งจุดบริการแพทย์ฉุกเฉินด้วยตัวแบบปัญหาอัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยสูงสุด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ประเทศไทย.

[5] กฤติน เจนสิราสุรัชต์ และ ทรงยศ กิจธรรมเกษร (2559). การกำหนดที่ตั้งจุดบริการแพทย์ฉุกเฉิน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, การประชุมรูปแบบออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า TRL19 1-8.

[6] LIMPATTANASIRI W. (2013). Maximal covering locations models of emergency ambulance considering heavy traffic congestion in urban areas. Ph. D. Dissertation, Kyoto University, Japan.

[7] กองกู้ภัย ฝ่ายควบคุมจราจร (2567). คู่มือปฏิบัติงาน พนักงานและลูกจ้างในสังกัด กองกู้ภัย ฝ่ายควบคุมจราจร. การทางพิเศษแห่งประเทศไทย.