บทความวิจัย

การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในการอพยพเมื่อเกิดอุทกภัย โดยการพิจารณาประเภทของผู้ประสบภัย

ปุณยภา สุทธิจำนงค์ และ สุนาริน จันทะ*
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0–3721–7310 ต่อ 7082 อีเมล: sunarin.c@fitm.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.03.014
รับเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2558 ตอบรับเมื่อ 8 กรกฎาคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 31 มีนาคม 2560
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

จากภาวะน้ำท่วมใหญ่ของประเทศไทยในช่วงปลายปี พ.ศ. 2554 ผู้ประสบอุทกภัยจำนวนมากประสบปัญหาในการอพยพออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยไปยังสถานที่ปลอดภัยทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำที่ท่วมสูง การอพยพจำเป็นต้องใช้ยานพาหนะที่มีความสูงพิเศษเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าวนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในเคลื่อนย้ายอพยพประชาชนเมื่อเกิดอุทกภัย มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเส้นทางเดินรถขนส่งผู้ประสบภัยระหว่างเกิดอุทกภัย ที่สามารถเคลื่อนย้ายผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยโดยใช้ระยะเวลารวมในการอพยพสั้นที่สุด ทำการแก้ปัญหาโดยใช้การสร้างแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลองพื้นฐานของรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีการพิจารณาประเภทของผู้อพยพออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผู้อพยพปกติ และผู้อพยพที่ต้องการการช่วยเหลือพิเศษ ทำการทดสอบแบบจำลองโดยใช้แก้ปัญหากับพื้นที่กรณีศึกษา ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 10 กรณี โดยกำหนดสัดส่วนของจำนวนประชากรในแต่ละหมู่บ้านที่คิดจะอพยพร้อยละ 10, 20 และ 30 และกำหนดระดับการท่วม 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.5 และ 2.5 เมตร และกรณีที่ 10 เป็นกรณีที่มีการจัดเส้นทางอพยพคล้ายกับที่ใช้ในการเกิดอุทกภัยปี 2554 ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาสามารถระบุ ระยะเวลาอพยพรวมที่สั้นที่สุด (แปรผันตามระยะทางและเวลาขึ้นลงรถ) จำนวนยานพาหนะที่ต้องการ และเส้นทางที่ยานพาหนะแต่ละคันวิ่งรับส่งผู้อพยพ ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการขนส่งเมื่อเกิดอุทกภัยครั้งต่อไปได้

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, อุทกภัย

การอ้างอิงบทความ: ปุณยภา สุทธิจำนงค์ และ สุนาริน จันทะ, "การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในการอพยพเมื่อเกิดอุทกภัย โดยการพิจารณาประเภทของผู้ประสบภัย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2, หน้า 289–302 เม.ย.–มิ.ย. 2560.

Research Article

Vehicle Routing for Flood Evacuation by Considering Different Types of Victims

Punyapa Suttijumnong and Sunarin Chanta*
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Prachinburi, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0−3721−7310 Ext. 7082, E−mail: sunarin.c@fitm.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.03.014
Received 4 November 2015; Accepted 8 July 2016; Published online: 31 March 2017
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

From the flood situation in Thailand, 2011, a large number of victims had a trouble in evacuating from affected areas to save places. Due to the height of flood level, only special high vehicle can be used for evacuation during flood. Based on this problem, we want to solve the problem of vehicle routing for evacuation during flood situation. The objective is to determine the vehicle routes, for moving victims from affected areas to safe places during flood disaster, with the shortest total evacuation time. We solved the problem by constructing a Mathematical Model, which was developed based on the Vehicle Routing Problem (VRP). The proposed model considered two types of victims, which are regular victims and special help needed victims. We tested the proposed model with a case study area in Ladsawai Sub district, Lumlukka District, Pathumthani Province. The experiments were divided into 10 cases, by fixing the proportion of victims in each village wanted to evacuate at 10%, 20% and 30%, and by considering 3 flood levels at 0.5, 1.5 and 2.5 meters. The last case, case 10, was the vehicle routing similar to the one used during flood in 2014. The output of the model showed the shortest total evacuation times (depended on travelled distance and loading time), the number of vehicles needed, and the routes that each vehicle took to evacuate the victims. This result can be used as a guideline for the vehicle route management planning when the next flood occurs.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Mathematical Model, Flood Disaster

Please cite this article in press as: P. Suttijumnong and S. Chanta, "Vehicle routing for flood evacuation by considering different types of victims," *The Journal of KMUTNB*., vol. 27, no. 2, pp. 289–302, Apr.–Jun. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

อุทกภัยเกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศไทย ล่าสุดมหาอุทกภัยในปี พ.ศ. 2554 มีพื้นที่ประสบภัยกระจายตัวในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลางที่เกิดน้ำท่วมหนักเป็นระยะเวลานาน ยิ่งไปกว่านั้นพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เป็นพื้นที่หนึ่งซึ่งเกิดน้ำท่วมหนักในรอบ 70 ปี โดยอุทกภัยครั้งนี้ทำให้มีราษฎรได้รับผลกระทบกว่า 12.8 ล้านคน รวมทั้งสิ้น 65 จังหวัด เส้นทางการคมนาคมสำคัญ ๆ ทั้งของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ไม่สามารถสัญจรได้กว่า 13,961 เส้นทาง มูลค่าความเสียหายที่ธนาคารโลกประเมินสูงถึง 1.44 ล้านล้านบาท [1] ส่งผลให้การทำงานในหลายภาคส่วนต้องหยุดชะงัก ทั้งภาครัฐ ธุรกิจ อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม

ปัญหาครั้งนี้ทำให้ประชาชนได้รับความเดือดร้อนเนื่องจากเส้นทางหลายเส้นทางถูกตัดขาด ส่งผลให้การเคลื่อนย้าย อพยพ ประชาชนออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากประชาชนที่ต้องการอพยพมีทั้งคนปกติ คนพิการ และคนชรา หากประชาชนทำการอพยพออกมาจากพื้นที่เสี่ยงภัยด้วยตนเอง อาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการอพยพสูง อีกทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาด้านการจราจรติดขัด รวมถึงความไม่ปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ประกอบกับการนำรถส่วนตัวมาใช้เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ในการอพยพแก่คนพิการและคนชราไม่สามารถทำได้ในกรณีที่ระดับน้ำมีความสูง ทั้งนี้การที่ทางหน่วยงานราชการจัดยานพาหนะที่มีความสูงพิเศษ อาทิเช่น รถจีเอ็มซี สำหรับรับส่งผู้ประสบภัยในเขตน้ำท่วมสูงจะสามารถอพยพประชาชนออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของการกำหนดเส้นทางการเดินรถ และความไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนในแต่ละท้องที่

จากปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในเคลื่อนย้าย อพยพ ประชาชนเมื่อเกิดอุทกภัย โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในเคลื่อนย้าย อพยพ ประชาชนเมื่อเกิดอุทกภัย โดยพิจารณาจำนวนผู้อพยพในแต่ละจุดประสบภัย จำแนกตามประเภทของผู้อพยพ จำนวนและความจุของยานพาหนะที่เพียงพอต่อการอพยพ รวมไปถึงเงื่อนไขด้านรอบเวลาในการอพยพ และการแบ่งรับส่งผู้อพยพในจุดเดียวกัน ในกรณีที่จำนวนผู้อพยพในจุดประสบภัยเกินความจุของยานพาหนะ ซึ่งจะสะท้อนลักษณะของการอพยพจริงได้เป็นอย่างดี แบบจำลองที่นำเสนอถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหากับพื้นที่กรณีศึกษา ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบภัยน้ำท่วมในปี 2554 ได้แก่ ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ปัญหาอย่างมีระบบ หาคำตอบในสถานการณ์ที่ซับซ้อนได้อย่างถูกต้อง โดยถูกนำมาช่วยในการแก้ปัญหาการขนส่งอย่างแพร่หลาย แบบจำลองดั้งเดิมซึ่งเป็นที่รู้จักและถูกนำมาใช้แก้ปัญหาในการขนส่งบ่อยครั้ง ได้แก่ แบบจำลองสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Dantzig and Ramser [2] ครั้งแรกถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก (Truck Dispatching) โดยต้องการค้นหาเส้นทางการจัดส่งสินค้าหรือลำดับการจัดส่งสินค้า จากคลังสินค้าไปลูกค้าหลายรายที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่บริการ เพื่อส่งสินค้าให้กับลูกค้าทุกคนโดยใช้ระยะทางการขนส่งรวมสั้นที่สุด ต่อมาได้มีนักวิจัยหลายท่านพัฒนาแบบจำลองนี้ให้มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะด้านต่าง ๆ กันไปมากมาย เช่น แบบจำลองที่มีการพิจารณาความจุของยานพาหนะ (Capacity–constrained Vehicle Routing Problem: CVRP) ใช้ในกรณีที่รถขนส่งไม่สามารถบรรทุกสินค้าไปส่งลูกค้าทุกคนในคราวเดียวได้ ดังนั้นในการขนส่งแต่ละรอบจึงจำเป็นพิจารณาความจุของรถขนส่ง หากเกินความจุจะต้องเพิ่มจำนวนรอบในการขนส่ง [2]–[4]

แบบจำลองที่มีข้อจำกัดด้านระยะทางการขนส่งต่อรอบ (Distance–constrained Vehicle Routing Problem: DVRP) ใช้ในกรณีที่ลูกค้าไม่สามารถรอรับสินค้าได้นาน

หากรถขนส่งมีขนาดใหญ่สามารถบรรทุกสินค้าไปส่งให้กับลูกค้าจำนวนหลายรายพร้อมกัน บางครั้งลูกค้ารายสุดท้ายอาจได้รับสินค้าช้าจนเกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเพิ่มจำนวนรถขนส่ง หรือใช้ในกรณีที่มีข้อจำกัดในการขนส่งอื่นๆ เช่น ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ระยะเวลาในการปฏิบัติงานของพนักงานขับรถ หรือระยะเวลาที่รถบรรทุกสามารถวิ่งได้ตามกฎหมาย เป็นต้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาระยะทางรวมในการขนส่งแต่ละรอบด้วย [3], [5]

แบบจำลองที่มีข้อจำกัดด้านเวลารับส่งที่ลูกค้าสามารถรอคอย (Vehicle Routing Problem with Time–Windows: VRPTW) ใช้ในกรณีที่ลูกค้าแต่ละราย สามารถรอรับสินค้าได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เช่น ลูกค้าสามารถรอรับในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 9.00 น. ดังนั้นรถขนส่งจำเป็นต้องไปส่งสินค้าในช่วงที่ลูกค้าสามารถรอคอยได้นี้เท่านั้น หากไปช้าหรือเร็วกว่ากำหนดเวลาจะไม่สามารถส่งสินค้าได้ หรือต้องเสียค่าปรับ ใช้ในกรณีที่มีการรับสินค้าจากผู้ผลิตหลายราย จึงจำเป็นต้องจองช่วงเวลาหรือจัดลำดับในการรับส่งที่ชัดเจน [6]–[8]

แบบจำลองที่ยอมให้มีการแบ่งรับสินค้าทีละส่วน (Split Delivery Vehicle Routing Problem: SDVRP) เป็นกรณีที่ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้มากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งอาจเป็นเพราะมีต้นทางหรือผู้ผลิตหลายราย หรือปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการเกินความจุของยานพาหนะหรือความสามารถในการผลิตของผู้ผลิตรายใดรายหนึ่ง ซึ่งการเปิดเงื่อนไขให้ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้มากกว่า 1 ครั้ง ทำให้เราสามารถจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในแง่ของความยืดหยุ่นของคำตอบ ส่งผลให้คำตอบที่ได้มีค่าต่ำลงกว่ารูปแบบปัญหาที่จำกัดให้ลูกค้าต้องรับสินค้าเพียงครั้งเดียวในแบบจำลองพื้นฐาน [9], [10] โดยในการนำแบบจำลองไปใช้ผู้วิจัยจะต้องพิจารณาว่าแบบจำลองใดเหมาะสมกับรูปแบบของปัญหาที่กำลังจะแก้ โดยสามารถปรับใช้แบบจำลองต่างๆ ร่วมกัน

ในประเทศไทยมีการนำแบบจำลองสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถนี้ไปปรับใช้ในการแก้ปัญหาด้านการขนส่งสินค้าในหลายรูปแบบ เช่น ธารชุดาและคณะ [11] ศึกษาการลดต้นทุนในการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาโรงงานงานอุบลอควาริส จ.อุบลราชธานี เพื่อขนส่งน้ำดื่มและใช้โปรแกรม LINGO ในการหาคำตอบของปัญหา ธรินี [12] ทำศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง กรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้ ทำการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการค้นหาที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดเป็นตัวแรกร่วมกับวิธีค้นหาทาบู (First Best with Tabu Search) วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดจากทั้งหมดร่วมกับวิธีค้นหาทาบู (Global Best with Tabu Search) และวิธีค้นหาทาบู (Tabu Search) จากนั้นทดลองแก้ปัญหาจริงในภาคธุรกิจประกอบด้วยโรงงานผลิตน้ำดื่มและบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร สุทธิชาและเสรี [13] ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะชุมชนในกรุงเทพฯ ใน 50 เขต ทำการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง (Cluster–first Route–second Method) พร้อมจัดทำฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม SQL Server Express

นอกจากนั้น งานวิจัยบางส่วนนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดส่งยานพาหนะในช่วงภัยพิบัติ ได้แก่ Ozdamar, *et al.* [14] ศึกษาปัญหาการขนส่งแบบฉุกเฉินในช่วงการเกิดภัยธรรมชาติที่ต้องมีการขนส่ง อุปกรณ์ความช่วยเหลือ ทีมช่วยเหลือ ทีมแพทย์ อาหาร และสิ่งของยังชีพอื่นๆ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการส่ง (Delivery) และรับ (Pick Up) สิ่งของระหว่างการเกิดภัยธรรมชาติภายใต้ระยะเวลาที่จำกัด Chang, *et al.* [15] วางแผนการขนส่งอุปกรณ์และสิ่งของยังชีพให้กับผู้ประสบภัยในภาวะที่เกิดอุทกภัย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการใช้สารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ในการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการการช่วยเหลือ โดยต้องการให้ระยะทางในการขนส่งสิ่งของที่คาดหวัง (Expected Shipping Distance) มีค่าต่ำที่สุด Knott [16] นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการขนส่งในภาวะที่เกิดอุทกภัย โดยพิจารณาการใช้รถบรรทุก

ขนาดใหญ่ โดยต้องการให้ต้นทุนในการขนส่งมีค่าต่ำสุด ในขณะที่ปริมาณอาหารที่ได้รับการขนส่งไปยังปลายทางมีค่าสูงสุด

ในประเทศไทยมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาการวางเส้นทางการขนส่งเมื่อเกิดอุทกภัยเช่นกัน ได้แก่ ไพโรจน์และคณะ [17] ศึกษาเส้นทางการเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายเมื่อระดับน้ำสูง โดยค้นหาคำตอบจากวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) 2 วิธี เปรียบเทียบกัน ได้แก่ วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง (Cluster–first Route–second Method) และวิธีการเปรียบเทียบประหยัด (Saving Method) เจษฎาพงษ์และอรอุไร [18] ออกแบบเส้นทางขนส่งเวชภัณฑ์ยาในพื้นที่ประสบอุทกภัย โดยใช้แบบจำลองปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process) โดยต้องการได้เส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางต่ำที่สุด ต่อมาปุณยภาและสุนาริน [19] ศึกษาเส้นทางการเดินรถเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตราย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ แบ่งการอพยพออก 6 โซน แต่ละโซนกำหนดให้มี 1 ทางออก แต่ละหมู่บ้านจะถูกกำหนดให้อพยพไปยังทางออกที่ใกล้ที่สุด กำหนดให้สัดส่วนของผู้อพยพเท่ากับร้อยละ 10 ของจำนวนประชากรทั้งหมด และระยะเวลาในการอพยพเป็น 3 วัน และ 7 วัน ค้นหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม LINDO โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้น ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในการอพยพ เช่น ผู้อพยพ และยานพาหนะ ที่ใช้ในการอพยพมีเพียงประเภทเดียว ยานพาหนะจะผ่านจุดรับส่งย่อยใดๆ เพื่อทำการเคลื่อนย้ายผู้อพยพได้เพียงจุดละ 1 ครั้ง เป็นต้น

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัย โดยพัฒนาต่อยอดมาจากงานวิจัยของปุณยภาและสุนาริน [19] โดยพยายามสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้สามารถสะท้อนลักษณะของการอพยพจริงของผู้ประสบอุทกภัย ด้วยการพิจารณาเงื่อนไขของความจุของยานพาหนะ [2] เงื่อนไขด้านระยะทางหรือรอบเวลาในการอพยพ [3] เนื่องจากไม่ต้องการให้ผู้อพยพต้องรอนานเกินไปในกรณีที่มีการอพยพโดยเร่งด่วน และเงื่อนไขการแบ่งรับส่ง [9] ในกรณีที่ปริมาณผู้อพยพในแต่ละจุดมีจำนวนมากจนเกินความจุของยานพาหนะ จำเป็นต้องใช้การแบ่งรับส่ง นอกจากนั้นยังแบ่งประเภทของผู้อพยพออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผู้อพยพแบบปกติ และผู้อพยพแบบพิเศษ เนื่องจากผู้อพยพทั้ง 2 ประเภทนี้ ใช้เวลาในการอพยพแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื้อหาในบทความประกอบด้วยหัวข้อ ตามลำดับดังนี้ 1 บทนำ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ 3 พื้นที่กรณีศึกษา 4 การทดลอง 5 ผลการวิจัย และ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ

ปัญหาในงานวิจัยนี้จัดเป็นปัญหา VRP โดยพิจารณาแบ่งประเภทของผู้อพยพออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้อพยพแบบปกติและผู้อพยพแบบที่ต้องการการช่วยเหลือพิเศษ เพื่อให้แบบจำลองสามารถสะท้อนสภาพปัญหาของการขนส่งระหว่างการเกิดอุทกภัย นอกจากนั้นยังมีการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ รวมด้วย ได้แก่ จุดรับส่งผู้ประสบภัย จุดทางออก ความจุของยานพาหนะ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง เวลาที่ใช้ในการขึ้นลง เป็นต้น เพื่อให้ได้เส้นทางการอพยพที่ใช้เวลารวมสั้นที่สุดภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดของสภาพปัญหาและทรัพยากรที่มีอยู่ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และฟังก์ชันเงื่อนไขที่สอดคล้องกับปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ดัชนี

i, j = แทนลำดับเส้นทางการเดินรถของทางออกและจุดรับส่งผู้ประสบภัย โดย $i, j \in \{0,1,2,...,n\}$ กำหนดให้ทางออกแทนด้วย $i, j = 0$ และจุดรับส่งย่อยอื่นๆ แทนด้วย $i, j = 1,2,...,n$

k = แทนพาหนะคันที่ โดย $k \in \{1,2,...,m\}$

m = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

n = จำนวนจุดรับส่งผู้ประสบภัยและทางออกทั้งหมด

2.2 พารามิเตอร์

q_i = จำนวนผู้อพยพปกติในแต่ละจุดรับส่งย่อยลำดับที่ i

p_i = จำนวนผู้อพยพที่ต้องการช่วยเหลือพิเศษในแต่ละจุดรับส่งย่อยลำดับที่ i

Q^k = ความสามารถในการบรรทุกผู้อพยพของพาหนะคันที่ k

l_i^k = เวลาขึ้นลงยานพาหนะของผู้อพยพ คันที่ k ณ จุด i (คำนวณตามสัดส่วนและประเภทของจำนวนผู้อพยพ)

t_{ij}^k = เวลาในการเดินทางระหว่างจุดรับส่งผู้อพยพหรือทางออกลำดับที่ i ไปยัง j (คำนวณตามระยะทางและความเร็วของยานพาหนะแปรผันตามระดับของการท่วม)

T^k = เวลาสูงสุดของยานพาหนะคันที่ k ที่ใช้ในการเดินทางระหว่างจุดรับส่งผู้อพยพไปยังทางออก

2.3 ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij}^k = 1 ถ้ายานพาหนะ k ขนส่งผู้อพยพระหว่าง i ไปยัง j

= 0 ในกรณีอื่นๆ

y_i^k = สัดส่วนจำนวนประชากรที่จะอพยพในแต่ละจุดรับส่งย่อยลำดับที่ i ที่แบ่งแยกอพยพโดยยานพาหนะคันที่ k

u_{ik}, u_{jk} = ตัวแปรเสริม (Aixiliary Variable) ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) ในเส้นทางของยานพาหนะ k จาก i โดยที่ $i \neq j$

2.4 สมการทางคณิตศาสตร์

2.4.1 วัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ Z \qquad \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=1}^{m}(l_i^k + t_{ij}^k)X_{ij}^k \quad (1)$$

2.4.2 เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{i=0}^{n}\sum_{k=1}^{m}X_{ij}^k \geq 1 \qquad \forall j \in \{1,...,n\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^{n}X_{ij}^k - \sum_{i=0}^{n}X_{ji}^k = 0 \qquad \forall j,k \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n}X_{0j}^k \leq 1 \qquad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{i\ 1}^{n}(q_i + p_i)y_i^k \leq Q^k \qquad \forall, i, k \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}(l_i^k + t_{ij}^k)X_{ij}^k \leq T^k \qquad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{k\ 1}^{m}y_i^k = 1 \qquad \forall i \quad (7)$$

$$y_i^k \leq \sum_{j=1:j\neq i}^{n}X_{ij}^k \qquad \forall i,k \quad (8)$$

$$u_i - u_j + nX_{ij}^k \leq n-1 \quad \forall i,j,k, i \neq j \quad (9)$$

$$y_i^k \geq 0 \qquad \forall i,k \quad (10)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,k \quad (11)$$

$$u_i \geq 0 \qquad \forall i,k \quad (12)$$

วัตถุประสงค์หลัก 1) คือ การพยายามหาเส้นทางการเดินรถที่ให้ผลรวมของเวลาอพยพที่พาหนะทุกคันวิ่งไปยังจุดรับส่งผู้ประสพภัยทุกจุดมีค่าต่ำที่สุด เงื่อนไขที่ 2) คือการประกันว่ามีเส้นทางการเดินรถรับส่งผ่านผู้อพยพทุกจุดอย่างน้อยจุดละ 1 ครั้ง เงื่อนไขที่ 3) ควบคุมให้จำนวนพาหนะที่วิ่งเข้าไปรับผู้อพยพต้องเท่ากับที่วิ่งออก เงื่อนไขที่ 4) ประกันว่ายานพาหนะแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น เงื่อนไขที่ 5) กำหนดให้ยานพาหนะทุกคันสามารถบรรทุกประชากรที่จะอพยพได้ไม่เกินข้อจำกัด เงื่อนไขที่ 6) เป็นข้อจำกัดในด้านเวลาที่ใช้ในการอพยพของยานพาหนะแต่ละคันหรือเวลาที่ใช้ในการอพยพในแต่ละเส้นทางไปยังทางออกต้องไม่เกินเวลาที่กำหนดไว้ เงื่อนไขที่ 7) รับประกันว่าสัดส่วนประชากรที่จะอพยพแต่ละจุดรับส่งผู้ประสบภัยที่ถูกแบ่งแยกอพยพรวมกันได้เท่ากับ 1 หรือสามารถอพยพได้ครบถ้วน เงื่อนไขที่ 8) ผู้อพยพสามารถอพยพได้เมื่อมีเส้นทางการเดินรถผ่านจุดที่จะอพยพ เงื่อนไข

ที่ 9) ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) เงื่อนไขที่ 10) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ y_i^k มีค่าไม่เป็นค่าลบ เงื่อนไขที่ 11) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ X_{ij}^k มีค่าเป็นไปได้เฉพาะ 0 หรือ 1 เท่านั้น และเงื่อนไขที่ 12) กำหนดให้ตัวแปรเสริม u_{ik} มีค่าไม่เป็นลบ

3. กรณีศึกษา

3.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่

ตำบลลาดสวาย เป็นหนึ่งในพื้นที่ประสบภัยระดับรุนแรง เมื่อครั้งเกิดอุทกภัยในปี พ.ศ. 2554 โดยมีระดับน้ำท่วมสูง ตั้งแต่ระดับเข่าถึงระดับอก และท่วมขังเป็นเวลานานกว่า 2 เดือน ดังนั้นจึงถูกเลือกมาเป็นพื้นที่กรณีศึกษาในครั้งนี้

ตำบลลาดสวาย อยู่ในอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี มีเนื้อที่ 30.792 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วยหมู่บ้านทั้งสิ้น 11 หมู่บ้าน รวมประชากรทั้งสิ้น 53,729 คน โดยมีจำนวนผู้พิการและคนชราทั้งสิ้น 4,086 คน (สำนักงานทะเบียนราษฎร์ อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี ณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2556)

3.2 การแบ่งโซนและกำหนดจุดรับส่งผู้อพยพ

เนื่องจากผู้อพยพมีเป็นจำนวนมาก (จากการแจกแบบสอบถามในพื้นที่จริง พบว่าสัดส่วนของผู้อพยพ เมื่อระดับน้ำท่วมสูงคิดเป็นร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ ศุภนิชและเสาวนีย์ [20]) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการแบ่งโซนในการอพยพออกเป็น 6 โซน และแต่ละโซนกำหนดให้มีทางออก 1 แห่ง รวมทั้งสิ้น 6 ทางออก โดยทางออกแต่ละแห่งจะเป็นถนนสายหลักที่สามารถอพยพออกไปยังพื้นที่ปลอดภัยได้ โดยการกำหนดให้หมู่บ้านใดอพยพไปยังทางออกใดนั้นจะพิจารณาตามระยะทางอพยพที่สั้นที่สุด และเนื่องจากประชากรในแต่ละหมู่บ้านมีจำนวนไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงกำหนดจุดรับส่งย่อยในแต่ละหมู่บ้านตามสัดส่วนของประชากรในหมู่บ้านนั้นๆ ซึ่งแต่ละหมู่บ้านอาจจะมีจุดรับส่งย่อยที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรในหมู่บ้าน จากการแบ่งจุดรับส่งย่อยใน 11 หมู่บ้าน ได้จุดรับส่งย่อยทั้งสิ้น 35 จุด ดังแสดงในรูปที่ 1 (ดูรายละเอียดของสถานที่และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดรับส่งย่อยทั้ง 35 จุด และจุดทางออกทั้ง 6 จุดได้ใน ปุณยภา [21])

รูปที่ 1 แผนที่การแบ่งโซนและจุดรับส่งผู้อพยพ

3.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

3.3.1 ความจุของยานพาหนะ ในการเคลื่อนย้ายอพยพผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยนั้น กำหนดให้ใช้รถจีเอ็มซีซึ่งมีความสูงเป็นยานพาหนะที่ใช้ในการอพยพ โดยกำหนดให้สามารถบรรทุกผู้อพยพได้ไม่เกิน 45 คน

3.3.2 ระยะเวลาในการวิ่งรถต่อรอบสูงสุด จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานพบว่าใน 1 วัน ยานพาหนะ 1 คัน สามารถวิ่งรับส่งได้ไม่เกิน 4 เที่ยวต่อวัน ดังนั้นกำหนดให้ระยะเวลาในการวิ่งรับส่งไม่เกิน 5 ชั่วโมงต่อเที่ยวต่อคัน

3.3.3 เวลาที่ใช้ในการวิ่งรถรับส่งแต่ละจุด (Traveling Time) กำหนดให้ระยะเวลาในการวิ่งรถรับส่งผู้อพยพแปรผันตามระยะทางและความเร็ว โดยความเร็วของรถรับส่งนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความสูงของน้ำที่ท่วม โดยหากน้ำท่วมสูงรถก็จะทำความเร็วได้ช้าลงตามลำดับ ในที่นี้กำหนดไว้ 3 ระดับ ดังนี้

- ระดับการท่วม 0.5 เมตร วิ่งที่ความเร็ว 40 กม./ชม.
- ระดับการท่วม 1.5 เมตร วิ่งที่ความเร็ว 30 กม./ชม.
- ระดับการท่วม 2.5 เมตร วิ่งที่ความเร็ว 20 กม./ชม.

3.3.4 ระยะเวลาในการอพยพ (Total Evacuation Time) หมายถึง ระยะเวลาที่สามารถอพยพผู้ประสบภัยทั้งหมด

ออกจากพื้นที่อันตรายได้ กำหนดให้การอพยพแบบเร่งด่วนใช้เวลา 3 วัน และการอพยพแบบสั้นใช้เวลา 7 วัน

3.3.5 ระยะเวลาที่ผู้อพยพใช้ในการขึ้นลง (Loading Time) แบ่งตามประเภทของผู้อพยพ โดยผู้อพยพปกติใช้เวลา 1 นาที/คน ในขณะที่ผู้อพยพที่ต้องการการช่วยเหลือพิเศษ ได้แก่ คนพิการและคนชรา ใช้เวลา 5 นาที/คน

3.3.6 การคำนวณหาระยะทางและเส้นทางในการวิ่งรถรับส่งผู้อพยพใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุด 2 จุดใดๆ ซึ่งคำนวณได้จากโปรแกรม Google Map

3.3.7 การประมาณจำนวนผู้อพยพในแต่ละจุดรับส่งย่อยสามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของผู้อพยพในแต่ละหมู่บ้าน ในที่นี้กำหนดค่าเริ่มต้นเป็นร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด จากนั้นหารเฉลี่ยด้วยจำนวนจุดรับส่งย่อยภายในหมู่บ้านนั้นๆ ก็จะได้จำนวนผู้อพยพรวมในแต่ละจุดรับส่งย่อย โดยใน 1 วันสามารถวิ่งรถได้มากที่สุด 4 เที่ยว ดังนั้นหากใช้ระยะเวลาอพยพ 3 วัน รถจะวิ่งได้ทั้งสิ้น 12 เที่ยวและกำหนดให้อพยพเที่ยวละเท่าๆ กัน ก็จะสามารถคำนวณหาจำนวนผู้อพยพในแต่ละจุดรับส่งได้

3.3.8 คำนวณหาจำนวนยานพาหนะที่เหมาะสมในการอพยพแต่ละโซนได้ จากจำนวนประชากรที่ต้องรับส่งในแต่ละจุดย่อยไปยังทางออกในแต่ละโซนและความจุของยานพาหนะที่ใช้รับส่งในโซนนั้น ทั้งนี้จำนวนยานพาหนะที่คำนวณได้นี้ถูกใช้เป็นค่าเริ่มต้น หากมีการแบ่งรับส่งในแต่ละจุดอาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนยานพาหนะ (หากกำหนดจำนวนยานพาหนะน้อยเกินไปจะไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้หรือหากกำหนดให้จำนวนยานพาหนะมากเกินไป ยานพาหนะบางคันจะไม่ถูกใช้)

3.3.9 กำหนดให้ผู้อพยพในแต่ละจุดจะต้องพร้อมกัน ณ จุดรับส่งย่อย เมื่อยานพาหนะมาถึง โดยยานพาหนะจะทำการหยุดรอเพื่อให้ผู้โดยสารขึ้นรถเท่านั้น

3.3.10 ในกรณีที่จุดรับส่งย่อยหรือจุดทางออกท่วม กำหนดให้ผู้ประสบภัยจะต้องย้ายจุดรับส่งหรือจุดทางออกใหม่ โดยให้ไปยังจุดรับส่งหรือจุดทางออกที่ใกล้ที่สุดถัดไป เนื่องจากตำบลลาดสวายมีระดับความสูงจากน้ำทะเลเฉลี่ย 1.5 เมตร ดังนั้นที่ระดับการท่วม 0.5 เมตร จุดรับส่งย่อยหรือจุดทางออกใดที่มีระดับความสูงจากน้ำทะเลต่ำกว่า 2 เมตร จะท่วมหรือไม่สามารถเป็นจุดรับส่งได้อีกต่อไป ในกรณีนี้กำหนดให้ผู้ประสบภัย ณ จุดรับส่งย่อยนั้น ย้ายไปขึ้นรถในจุดที่ใกล้ที่สุดถัดไป

4. การทดลอง

ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองออกเป็น 10 กรณี เพื่อให้ผลการทดลองครอบคลุมสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในช่วงอุทกภัย โดยกำหนดสัดส่วนของประชากรในแต่ละหมู่บ้านที่ประสงค์จะอพยพเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 ของประชากรทั้งหมด และกำหนดระดับการท่วมไว้ 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.5 และ 2.5 เมตร รวมเป็น 9 กรณี โดยในกรณีที่ 1–9 ใช้การค้นหาเส้นทางจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อเปรียบเทียบเส้นทางและจำนวนรถที่ต้องการในสภาวะต่างๆ ส่วนกรณีที่ 10 เป็นการจำลองเส้นทางการอพยพบที่ใช้ในปี 2554 โดยกำหนดให้สัดส่วนประชากรอพยพเป็นร้อยละ 10 ที่ระดับการท่วม 0.5 เมตร และใช้การจัดเส้นทางแบบเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Method) เพื่อต้องการดูว่าผลการทดลองในกรณีที่ 1–9 เมื่อเปรียบเทียบกับการอพยพในปี 2554 (กรณีที่ 10) นั้นมีความแตกต่างอย่างไร รายละเอียดของการทดลองแต่ละกรณี แสดงได้ดังนี้

กรณีที่ 1: สัดส่วนอพยพ 10% ระดับท่วม 0.5 เมตร
กรณีที่ 2: สัดส่วนอพยพ 20% ระดับท่วม 0.5 เมตร
กรณีที่ 3: สัดส่วนอพยพ 30% ระดับท่วม 0.5 เมตร
กรณีที่ 4: สัดส่วนอพยพ 10% ระดับท่วม 1.5 เมตร
กรณีที่ 5: สัดส่วนอพยพ 20% ระดับท่วม 1.5 เมตร
กรณีที่ 6: สัดส่วนอพยพ 30% ระดับท่วม 1.5 เมตร
กรณีที่ 7: สัดส่วนอพยพ 10% ระดับท่วม 2.5 เมตร
กรณีที่ 8: สัดส่วนอพยพ 20% ระดับท่วม 2.5 เมตร
กรณีที่ 9: สัดส่วนอพยพ 30% ระดับท่วม 2.5 เมตร
กรณีที่ 10: สัดส่วนอพยพ 10% ระดับท่วม 0.5 เมตร

โดยจัดเส้นทางเลียนแบบการอพยพในปี 2554 (จากการแจกแบบสอบถามในพื้นที่จริง พบว่าสัดส่วน

ของผู้อพยพ เมื่อระดับน้ำท่วมสูงคิดเป็นร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ ศุภนิชและเสาวนีย์ [20])

เนื่องจากการกำหนดระดับการท่วมที่แตกต่างกัน ดังนั้น กรณีที่ 1–3, 10 มีจำนวนจุดทางออก 6 จุด จุดรับส่งย่อย 35 จุด กรณีที่ 4–6 มีจำนวนจุดทางออก 6 จุด จุดรับส่งย่อย 32 จุด (3 จุด อยู่ในพื้นที่ต่ำไม่สามารถเข้าถึงได้) กรณีที่ 7–9 มีจำนวนจุดทางออก 4 จุด จุดรับส่งย่อย 25 จุด (12 จุด อยู่ในพื้นที่ต่ำไม่สามารถเข้าถึงได้)

5. ผลการวิจัย

ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างไว้ในหัวข้อที่ 2 ผ่านโปรแกรม ILOG CPLEX Version 12.4 (Academic Initiative Program) โดยประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) AMD TURION ขนาด 2.0 GHz และหน่วยความจำ (RAM) ขนาด 2 GB และใช้เวลาในการทำการหาคำตอบอยู่ในช่วง 2 วินาที ถึง 2.5 ชั่วโมง

5.1 เปรียบเทียบคำตอบกรณีที่ระดับการท่วมมีการเปลี่ยนแปลง

เพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของคำตอบที่ได้จากผลการทดลอง ในขั้นแรกนี้ผู้วิจัยจึงนำเสนอผลการทดลองในกรณีที่สัดส่วนจำนวนผู้อพยพคงที่ แต่ระดับของการท่วมเปลี่ยนแปลง ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองในกรณีที่ 1 (ที่ระดับการท่วม 0.5 เมตร จำนวนผู้อพยพร้อยละ 10 ระยะเวลาอพยพ 3 วัน) จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ 1 โซน 1 ซึ่งมีจุดรับส่งย่อย 7 จุด มีเส้นทางการอพยพที่เหมาะสม 2 เส้นทาง คือ 0–2–1–4–7–0 และ 0–3–5–6–0 โดย 0 แทนจุดทางออก ส่วนตัวเลขอื่นๆ แทนจุดรับส่งย่อยภายในโซน โดยในการอพยพใช้ยานพาหนะจำนวน 2 คัน รวมระยะเวลาในการอพยพ 90.37 นาที โซน 2 มีเส้นทางการอพยพที่เหมาะสม 4 เส้นทาง คือ 0–1–6–0, 0–2–5, 0–7–3–0, 0–2–5–0, 0–7–3–0, 0–4–8–0 โดยใช้ยานพาหนะในการอพยพ 4 คัน ระยะเวลาในการอพยพ 202.36 นาที ซึ่งยานพาหนะแต่ละคันจะวิ่งรับส่งเพียงแค่ 1 เส้นทางเท่านั้น โดยผลการทดลองในกรณีที่ 1 พบว่าใช้เวลาอพยพรวม 767.69 นาที ใช้ยานพาหนะทั้งสิ้น 14 คัน โดยเวลานี้เป็นเวลาในการอพยพต่อวัน เนื่องจากเรากำหนดให้ผู้ประสบภัยอพยพออกจากพื้นที่ประสบภัยเป็นจำนวนวันละเท่าๆ กัน

ตารางที่ 1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 (ระดับการท่วม 0.5 เมตร จำนวนผู้อพยพร้อยละ 10 ระยะเวลาอพยพ 3 วัน)

ลำดับ	เส้นทางอพยพ	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	เวลาประมวลผล (นาที)
โซน 1	0–2–1–4–7–0 0–3–5–6–0	2	90.37	00.36
โซน 2	0–1–6–0 0–2–5–0 0–7–3–0 0–4–8–0	4	202.36	85:12
โซน 3	0–4–1–3–0 0–5–2–6–0	2	115.30	29.52
โซน 4	0–1–2–3–4–0	1	76.75	1.24
โซน 5	0–5–4–0 0–3–7–0 0–1–6–0 0–2–8–0	4	241.01	168:47
โซน 6	0–2–1–0	1	41.87	0.03
	รวม	14	767.69	285:18

หากระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นเป็น 1.5 เมตร ผลการทดลองในกรณีที่ 4 แสดงในตารางที่ 2 พบว่าเส้นทางการอพยพที่เหมาะสมมีการเปลี่ยนแปลงไปจำนวน 3 โซน ได้แก่ โซนที่ 1, 4 และ 5 โดยสังเกตว่ามีจุดรับส่งย่อยที่ไม่สามารถเข้าถึงได้เนื่องจากระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น 3 จุด

ตารางที่ 2 ผลการทดลองกรณีที่ 4 (ระดับการท่วม 1.5 เมตร จำนวนผู้อพยพร้อยละ 10 ระยะเวลาอพยพ 3 วัน)

ลำดับ	เส้นทางอพยพ	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	เวลาประมวลผล (นาที)
โซน 1	0–3–5–6–0 0–4–1–2–0	2	96.85	0.04
โซน 2	0–3–7–0 0–1–6–0 0–2–5–0 0–4–8–0	4	209.91	0.08
โซน 3	0–4–1–3–0 0–5–2–6–0	2	127.52	0.03
โซน 4	0–1–2–3–0	1	62.18	0.02
โซน 5	0–7–2–0 0–6–1–0 0–4–0 0–5–3–0	4	251.99	0.07
โซน 6	0–2–1–0	1	51.17	0.02
	รวม	14	799.64	0.26

ตารางที่ 3 ผลการทดลองกรณีที่ 7 (ระดับการท่วม 2.5 เมตร จำนวนผู้อพยพร้อยละ 10 ระยะเวลาอพยพ 3 วัน)

ลำดับ	เส้นทางอพยพ	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	เวลาประมวลผล (นาที)
โซน 1	0–3–4–5–0 0–2–1–0	2	110.85	3.33
โซน 2	0–3–7–0 0–1–6–0 0–2–5–0 0–4–8–0	4	225.01	97.20
โซน 3	0–5–4–1–0 0–3–2–6–0	2	178.70	3.22
โซน 4	0–2–4–3–0 0–5–6–0 0–3–0 0–2–0 0–1–0	5	515.55	155.30
	รวม	13	1030.12	259.45

ได้แก่ จุดที่ 7 ในโซนที่ 1 จุดที่ 4 ในโซนที่ 4 และจุดที่ 8 ในโซนที่ 5 จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการอพยพเท่าเดิมเท่ากับกรณีที่ระดับน้ำ 0.5 เมตร คือ 14 คัน เวลาที่ใช้ในการอพยพเพิ่มขึ้นเป็น 799.64 นาที

หากระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.5 เมตร ผลการทดลองในกรณีที่ 7 แสดงในตารางที่ 3 พบว่าเส้นทางการอพยพที่เหมาะสมในโซนที่ 1, 3 และ 5 มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีจุดรับส่งย่อยที่ไม่สามารถเข้าถึงได้เนื่องจากระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นหลายจุด รวมทั้งทางออกในโซนที่ 5 และ 6 ดังนั้นผู้อพยพในโซนที่ 5 และ 6 จึงต้องอพยพไปออกทางออกที่ใกล้ที่สุดในโซนอื่นแทน ทั้งนี้จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการอพยพเท่ากับ 13 คัน เวลาที่ใช้ในการอพยพเพิ่มขึ้นเป็น 1030.12 นาที

5.2 เปรียบเทียบคำตอบกรณีที่สัดส่วนผู้อพยพมีการเปลี่ยนแปลง

เพื่อให้เห็นแนวโน้มของทรัพยากรและเวลาที่ต้องเตรียมพร้อม หากสัดส่วนของจำนวนผู้อพยพเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัยเปรียบเทียบตามสัดส่วนของผู้อพยพ ดังแสดงในตารางที่ 4–6

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าในกรณีที่มีผู้อพยพร้อยละ 10 ของประชากร (กรณีที่ 1) การอพยพที่เร่งด่วน ใช้ระยะเวลารวม 767.69 นาที และใช้ยานพาหนะจำนวน 14 คัน และเมื่อประชากรอพยพมากขึ้นเป็น 20% และ 30% (กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3) จะทำให้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 1650.58 นาที และ 2812.22 นาที คิดเป็นการเพิ่มขึ้นกว่ากรณีที่ 1 ถึง 53.49% และ 72.70% ตามลำดับ โดยใช้จำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้นจากเดิม 44% และ 62.16% และเมื่อมีระยะเวลาในการอพยพที่สั้น (กรณีที่ 1) มีระยะเวลารวม 405.13 นาที และใช้ยานพาหนะจำนวน 8 คัน เมื่อประชากรอพยพมากขึ้นเป็น 20% และ 30% (กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3) จะทำให้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 677.89 นาที และ 955.50 นาที คิดเป็นการเพิ่มขึ้นกว่ากรณีที่ 1 ถึง 40.24% และ 57.6% ตามลำดับโดยใช้จำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้นจากเดิม 38.46% และ 52.94%

โดยผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ที่ระดับการท่วม 0.5, 1.5 และ 2.5 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 4 ผลการทดลองกรณีที่ 1–3

กรณี	ระดับของการท่วม	จำนวนผู้อพยพ	ระยะเวลาในการอพยพแบบเร่งด่วน (3 วัน)		ระยะเวลาในการอพยพแบบสั้น (7 วัน)	
			จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)
กรณี 1	0.5 เมตร	10%	14	767.69	8	405.13
กรณี 2		20%	25	1650.58	13	677.89
กรณี 3		30%	37	2812.22	17	955.50

ตารางที่ 5 ผลการทดลองกรณีที่ 4–6

กรณี	ระดับของการท่วม	จำนวนผู้อพยพ	ระยะเวลาในการอพยพแบบเร่งด่วน (3 วัน)		ระยะเวลาในการอพยพแบบสั้น (7 วัน)	
			จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)
กรณี 4	1.5 เมตร	10%	14	799.64	8	430.46
กรณี 5		20%	25	1786.87	13	709.12
กรณี 6		30%	36	2888.60	18	985.78

ตารางที่ 6 ผลการทดลองกรณีที่ 7–9

กรณี	ระดับของการท่วม	จำนวนผู้อพยพ	ระยะเวลาในการอพยพแบบเร่งด่วน (3 วัน)		ระยะเวลาในการอพยพแบบสั้น (7 วัน)	
			จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)
กรณี 7	2.5 เมตร	10%	13	1030.12	6	472.86
กรณี 8		20%	25	2331.10	11	799.02
กรณี 9		30%	34	4550.42	16	1327.70

5.3 เปรียบเทียบคำตอบกรณีสัดส่วนผู้อพยพคงที่ระดับการท่วมมีการเปลี่ยนแปลง

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการทราบว่าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถช่วยทำให้การอพยพผู้ประสบภัยสะดวกมากขึ้นมากน้อยกว่าเดิมเพียงไร จึงทำการประมาณเวลาที่ใช้ในการอพยพจากเส้นทางการอพยพเดิมในปี 2554 โดยวิธีการจัดเส้นทางในปี 2554 นั้น มีลักษณะใกล้เคียงกับวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด กำหนดสัดส่วนผู้อพยพร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม ตามผลสำรวจจากแบบสอบถาม [20] ที่ระดับการท่วม 0.5 เมตร (กรณีที่ 10) เปรียบเทียบกับผลของการค้นหาคำตอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สัดส่วนผู้อพยพ และระดับการท่วมเดียวกัน (กรณีที่ 1) จากตารางที่ 7 พบว่าเส้นทางการอพยพที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ระยะเวลาในการอพยพ 767.69 นาที ในขณะที่เส้นทางการอพยพในปี 2554 ใช้ระยะเวลาในการอพยพ 1787.97 นาที จากผลการทดลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยลดระยะเวลาในการอพยพลงถึง 57.06%

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกรณีที่ใช้วิธีการจัดเส้นทางในปี 2554 กับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

วิธีการจัดเส้นทางในปี 2554 (กรณีที่ 10)				วิธีการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (กรณีที่ 1)		
ลำดับ	เส้นทางอพยพ	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)	เส้นทางอพยพ	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาอพยพ/วัน (นาที)
โซน 1	0–3–5–6–1–4–2–0	1	207.15	0–2–1–4–7–0 0–3–5–6–0	2	90.37
โซน 2	0–1–6–7–8–4–3–2–5–0	1	545.62	0–1–6–0 0–2–5–0 0–7–3–0 0–4–8–0	4	202.36
โซน 3	0–4–5–2–6–1–3–0	1	230.55	0–4–1–3–0 0–5–2–6–0	2	115.30
โซน 4	0–1–2–3–4–0	1	172.47	0–1–2–3–4–0	1	76.75
โซน 5	0–5–7–3–2–4–1–6–8–0	1	580.95	0–5–4–0 0–3–7–0 0–1–6–0 0–2–8–0	4	241.01
โซน 6	0–2–1–0	1	51.22	0–2–1–0	1	41.87
	รวม	**6**	**1787.97**	**รวม**	**14**	**767.69**

หากพิจารณาที่จำนวนยานพาหนะ พบว่าในกรณีใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ยานพาหนะจำนวนทั้งสิ้น 14 คัน ในขณะที่ในการอพยพในปี 2554 ใช้ยานพาหนะจำนวน 6 คัน ทั้งนี้ ยานพาหนะจำนวน 6 คันนี้ ถูกกำหนดให้ประจำที่แต่ละโซน และทำการวิ่งรับส่งผู้อพยพหลายรอบ จนกว่าจะสามารถอพยพคนออกจากโซนครบตามจำนวน

6. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนเพื่อกำหนดเส้นทางการอพยพที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเส้นทางการอพยพที่ใช้ระยะเวลาในการอพยพรวมน้อยที่สุด โดยพิจารณาความแตกต่างของประเภทผู้อพยพ ได้แก่ ผู้อพยพปกติ และผู้อพยพที่ต้องการการช่วยเหลือพิเศษ ซึ่งผู้อพยพทั้ง 2 ประเภทนี้ใช้เวลาในการอพยพแตกต่างกัน เพื่อให้เห็นภาพรวมของการอพยพในสถานการณ์ต่าง ๆ จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 10 กรณี โดยในการทดลอง 9 กรณีแรก จำแนกตามสัดส่วนของผู้อพยพที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 และระดับของการท่วมที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.5 และ 2.5 เมตร การทดลองแต่ละกรณีกำหนดให้ระยะเวลาของการอพยพแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบสั้นใช้ระยะเวลาอพยพ 7 วัน และแบบเร่งด่วนใช้ระยะเวลาอพยพ 3 วัสดุ ท้ายทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับกรณีที่ 10 ที่จำลองการอพยพจริงในสถานการณ์น้ำท่วมปี 2554

จากผลทดลองพบว่า กรณีที่สัดส่วนผู้อพยพเท่ากัน แต่ระดับการท่วมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เส้นทางการอพยพที่เหมาะสมที่สุดเปลี่ยนไป จำนวนยานพาหนะที่ต้องการและระยะเวลาในการอพยพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น กรณีที่ระดับการท่วมเท่ากัน แต่สัดส่วนผู้อพยพเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เส้นทางการอพยพที่เหมาะสมที่สุดเปลี่ยนไป จำนวนยานพาหนะที่ต้องการและระยะเวลาในการอพยพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันโดยหากเปรียบเทียบการอพยพในแบบเร่งด่วนและแบบสั้น พบว่าการอพยพแบบเร่งด่วนใช้จำนวนยานพาหนะ และเวลาอพยพต่อรอบมากกว่าการอพยพแบบสั้น ประมาณ 50% และ 63% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกรณี

อพยพโดยใช้เส้นทางที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับกรณีอพยพในสถานการณ์น้ำท่วมในปี 2554 พบว่าเส้นทางที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาในการอพยพรวดเร็วกว่าประมาณ 57% ผลของการวิจัยสามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจและวางแผนในสถานการณ์น้ำท่วมครั้งต่อไปสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อสามารถเตรียมความพร้อมด้านทรัพยากรและช่วยในการวางแผนด้านเวลาและเส้นทางการอพยพที่เหมาะสมให้เพียงพอต่อจำนวนผู้อพยพและสถานการณ์ของภัยพิบัติที่เกิดขึ้น

ทั้งนี้การเลือกเส้นทางการเดินรถขนส่งนั้นขึ้นอยู่หลายปัจจัย เช่น จำนวนผู้อพยพ เมื่อจำนวนผู้อพยพมากขึ้นการใช้ยานพาหนะก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และยังส่งผลให้ระยะเวลาในการอพยพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากผู้อพยพมากขึ้นเวลาการขึ้นลงยานพาหนะจึงมากขึ้นตามจำนวนผู้อพยพ ระดับของการท่วมน้ำ เมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงจุดรับส่งหรือจุดทางออกนั้นอาจจะไม่สามารถที่จะรับส่งผู้อพยพได้จึงทำให้เส้นทางในการเดินรถเปลี่ยนไป ความจุของยานพาหนะ เมื่อจำนวนผู้อพยพเพิ่มมากขึ้นการอพยพผู้อพยพไปในครั้งเดียวไม่สามารถทำได้ดังนั้นจึงต้องเพิ่มยานพาหนะ การจำกัดระยะเวลาในการอพยพ เนื่องจากประชากรเพิ่มขึ้นเวลาขึ้นลงยานพาหนะก็เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ระยะเวลาในการอพยพเพิ่มขึ้นและการใช้ยานพาหนะจึงเพิ่มขึ้นตามและความเร็วในการวิ่งของยานพาหนะก็เป็นปัจจัยในการเลือกเส้นทางรถ จึงทำให้เส้นทางการเดินรถเปลี่ยนได้

ข้อเสนอแนะ การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งเพื่อให้ได้ระยะเวลารวมที่สั้นที่สุดมีปัจจัยและเงื่อนไขข้อจำกัดที่หลากหลาย โดยมีความสำคัญในเรื่องต่างๆ ที่ต้องการศึกษา จึงเสนอให้ผู้วิจัยในครั้งต่อไปได้พิจารณาปัจจัยด้านอื่นที่เกี่ยวข้องดังนี้

พิจารณาถึงการแยกประเภทยานพาหนะ โดยผู้อพยพที่ช่วยเหลือพิเศษอาจจะจำกัดการใช้เรือเป็นยานพาหนะอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากอาจจะต้องเข้าไปรับในตำแหน่งที่ผู้อพยพอยู่อาศัยในกรณีที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกมายังจุดรวมพลได้ ในขณะที่ผู้อพยพปกติอพยพสามารถอพยพโดยรถจีเอ็มซีแต่สามารถวางแผนการอพยพไปพร้อมกัน นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงความต้องการผู้ช่วยเหลือประจำรถหรือเพิ่มอุปกรณ์พิเศษ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้าย

ในการนำไปใช้เราจำเป็นต้องทราบสัดส่วนผู้อพยพที่แน่นอน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการวางเส้นทางการอพยพ ในงานวิจัยนี้เราได้ประมาณสัดส่วนของจำนวนผู้อพยพออกเป็น 3 ระดับ แต่หากนำไปใช้จริงจะต้องมีการสื่อสารที่ชัดเจนระหว่างผู้อพยพกับหน่วยงานราชการ เพื่อทราบจำนวนผู้อพยพที่แน่นอน จึงจะทำให้การวางแผนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภทโครงการวิจัยเฉพาะทาง จากคณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี และทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารอ้างอิง

[1] AP News. (2011, December). Thailand cleans up: Areas remain flooded, Thailand. [Online]. Available: https://asiancorrespondent.com/2011/12/thailand−cleans−up−but−some−areas−remain−flooded

[2] G.B. Dantzig and J. H. Ramser, “The truck dispatching problem,” *Management Science*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, 1959.

[3] G. Laporte, Y. Nobert, and M. Desrochers, “Optimal routing under capacity and distance restrictions,” *Operations Research*, vol. 33, pp. 1050–1073, 1985.

[4] P. Toth and D. Vigo, “Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem, *Discrete Applied Mathematics,* vol.123, pp. 487–512, 2002.

[5] G. Laporte, “The vehicle routing problem: An

overview of exact and approximate algorithms," European *Journal of Operational Research*, vol. 59, pp. 345–358, 1992.

[6] M. M. Solomon, "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints," *Operations Research*, vol. 35, no. 2, pp. 254–265, 1987.

[7] A.G. Qureshi, E. Taniguchi, and T. Yamada, "An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows," T*ransportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 45, pp. 960–977, 2009.

[8] R. Spliet and G. Desaulniers, "The discrete time window assignment vehicle routing problem" European *Journal of Operational Research*, vol. 244, pp. 379–391, 2015.

[9] P.W. Frizzellt and J.W. Giffin, "The split delivery vehicle scheduling problem with time windows and grid network distances," *Computers & Operations Research*, vol. 22, no. 6, pp. 655–667, 1995.

[10] S.C. Ho and D. Haugland, "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries," *Computers & Operations Researc*h, vol. 31, no. 12, pp. 1947–1964, 2004.

[11] T. Punnikul, K. Rohita, and R. Buasriyod, "Cost reduction of vehicle routing problem with mathematical model−Case study: Ubon aquarist factory, Ubonratchathani," in *Proceedings of the 2011 OR−NET Conference, September*, 2011 (in Thai).

[12] T. Maneesri, "Meta−heuristic algorithms applications for heterogeneous fleet and split delivery of vehicle routing problem," in *Proceedings of the 9th PSU Engineering Conference e*, May, 2011 (in Thai).

[13] S. Tubdara and S. Sawetseranee, "Municipal solid waste management in Bangkok case study," *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 24, no. 78, pp. 34–46, 2011 (in Thai).

[14] L.Ozdamar, E. Ekinci, and B. Kucukyazaci, "Emergency logistics planning in natural disasters," *Annals of Operations Research*, vol. 129, pp. 217–245, 2004.

[15] M. Chang, Y. Tseng, and J. Chen, "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty," *Journal of Transportation Part E*, vol. 43, 2007.

[16] R. Knott, "The logistics of bulk relief suppliers," *Disaster,* vol. 11, pp. 113–115, 1987.

[17] P. Sandee, A. Chumnanmoh, and S. Chanta, "A study on vehicle routing for flooding evacuation at high water level: A case study of Ladsawai Sub−District, Lumlukka District, Pathumthani Province," *Journal of Industrial Education*, vol. 8, no. 1, 2014 (in Thai).

[18] J. Hirunamornkun and O. Sangsawang, "Routing design to transport medical supplies during flood—Case study: Bangkruai, Nonthaburi," *Thai VCML Journal*, vol. 5, no.2, 2013 (in Thai).

[19] P. Suttijumnong and S. Chanta, "Vehicle routing for flood evacuation," *in Proceedings of the 13th Thai Value Chain Management and Logistics Conference,* November, 2013 (in Thai).

[20] S. Saenwiset and S. Pondet, "A study on the behavior of flood victims and transportation plan for evacuating victims to safe points," Special Project, Department of Industrial Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2012 (in Thai).

[21] P. Suttijumnong "Vehicle routing for flood evacuation by considering different types of victims," M.S thesis, Department of Industrial Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2014 (in Thai).