

การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม กรณีศึกษาภัยพิบัติจากอุทกภัย

ชนิภา อุทัยแพน¹ และ โรจณี หอมชาลี^{2*}

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

Received: 05 June 2023; Revised: 24 August 2023; Accepted: 01 September 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมกรณีการเกิดอุทกภัยในประเทศไทย ด้วยตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็ม เพื่อกำหนดสถานที่ตั้งศูนย์พักพิง และจำนวนของทรัพยากรให้เพียงพอต่อการช่วยเหลือผู้ประสบภัย โดยตัวแบบที่พัฒนาขึ้นได้นำไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาพื้นที่ประสบอุทกภัย อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีทั้งหมด 10 ตำบล 183 หมู่บ้าน และมีผู้ประสบภัยรวม 82,764 คน ในจำนวนนี้มี 3 หมู่บ้าน ซึ่งผู้ประสบภัย 570 คน ไม่สามารถพักอาศัยอยู่ในหมู่บ้านได้ ต้องถูกขนย้ายไปยังศูนย์พักพิง โดยงานวิจัยกำหนดขอบเขตสำคัญของปัญหา คือ 1) ศูนย์กลางในการกระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ มีจำนวน 2 ศูนย์ คือ สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดมหาสารคาม และที่ว่าการอำเภอกันทรวิชัย 2) ศูนย์พักพิงจะเป็นศูนย์ทางเลือก จำนวน 19 ศูนย์ ซึ่งเป็นที่ตั้งของพื้นที่ส่วนราชการต่าง ๆ เช่น โรงเรียนและวัด และ 3) การขนย้ายผู้ประสบภัยและการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จะใช้พาหนะประเภทรถบรรทุกเท่านั้น จากการประมวลผลตัวแบบ INLP ด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 พบว่า ควรเปิดใช้งานศูนย์พักพิงจำนวน 2 ศูนย์ คือ ศูนย์โรงเรียนชุมชนมะค่า เพื่อรับผู้ประสบภัยจากหมู่บ้านกุดหัวช้าง จำนวน 164 คน และศูนย์โรงเรียนบ้านมะกอก เพื่อรับผู้ประสบภัยจากบ้านโขงกุดเวียน จำนวน 190 คน และบ้านห้วยชัน จำนวน 216 คน สำหรับอีก 180 หมู่บ้านที่ยังสามารถพักอาศัยอยู่ได้นั้น ส่วนใหญ่ได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายที่ว่าการอำเภอกันทรวิชัย ซึ่งมีระยะทางไกลกว่าสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งทั้งการขนย้ายผู้ประสบภัยและการกระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ ควรขนย้ายด้วยรถบรรทุกปฏิบัติการขนาด 4 ล้อ ทั้งนี้ผลเฉลยของตัวแบบที่ได้ สามารถช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้ครอบคลุมทั้งหมด ด้วยต้นทุนรวมในการดำเนินงานต่ำที่สุดเท่ากับ 20.859 ล้านบาท อีกทั้งตัวแบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการภัยพิบัติอุทกภัยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ตั้งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความไว รวมถึงสามารถพัฒนาต่อสำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมกรณีการเกิดภัยพิบัติประเภทอื่นได้

คำสำคัญ: โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม, การโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็ม, ภัยพิบัติอุทกภัย

* Corresponding author. E-mail: rojanee.h@msu.ac.th

¹ วิทยาการจัดการสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of Mathematical Model for Humanitarian Logistics Management: A Case Study of Floods Disaster

Chanipa Uthanipan¹ and Rojanee Homchalee^{2*}

Faculty of Science, Mahasarakham University, Kham Riang, Kantharawichai, Maha Sarakham 44150

Received: 05 June 2023; Revised: 24 August 2023; Accepted: 01 September 2023

Abstract

This research is development of mathematical model for humanitarian logistics management for a case study of floods disaster in Thailand, using Integer Non-linear Programming (INLP) to determine the location of shelters and the amount of sufficient resources to help the victims. The developed model has been applied to case studies in flood-affected area, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, which has a total area of 10 sub-districts, 183 villages and has a total of 82,764 victims. There are three villages, of which 570 victims are unable to live in the villages had to be moved to a shelter. The research specifies the scope or major limitations of the problem as follows: 1) there are two relief distribution centers, namely the Maha Sarakham Provincial Disaster Prevention and Mitigation Office and the Kantharawichai District Office, 2) there are 19 alternative shelter centers, which are in various government areas such as schools and temples, and 3) transport of victims and relief items will be used only by trucks. The proposed INLP model was processed with the LINGO 13.0 program. The results showed that two shelters should be opened. The Chumchon Makha School Center is opened for receiving the 164 victims from Kut Hua Chang Village, and the Ban Makok School Center is opened for receiving the 190 victims from Ban Khong Kut Wien, and 216 victims from Ban Huai Chan. For the 180 flood-affected villages, most of them were allocated relief items from Kantharawichai District Office which has a distance closer than from the Maha Sarakham Provincial Disaster Prevention and Mitigation Office. Moreover, both the transportation of the victims and the distribution of relief items should be transported by a 4-wheel operating truck. In addition, the solutions of proposed INLP model also showed that all victims are cover helped, with the minimize total operating cost of 20.859 million THB. Furthermore, the developed model can also be applied to larger scale flood disaster management as a result of the sensitivity analysis, and it can also be further developed for humanitarian logistics management in case of other types of disasters.

Keywords: humanitarian logistics, integer non-linear programming, floods disaster

* Corresponding author. E-mail: rojanee.h@msu.ac.th

¹ Department of Statistical Management Science, Faculty of Science, Mahasarakham University

² Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University

1. บทนำ

ในหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยประสบปัญหาภัยพิบัติทั้งภัยพิบัติขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากหลายครั้ง เป็นภัยพิบัติที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการจัดการของหน่วยงานต่าง ๆ กับประชาชน ยังไม่มีความพร้อมในการรับมือภัยพิบัติเท่าที่ควร เห็นได้จากผลสำรวจความคิดเห็นของประชาชนที่มีต่อการบริหารจัดการอุทกภัยของภาครัฐ ระหว่างปี 2554–2556 ได้เผยว่าการให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ประสบภัยเกิดความซ้ำซ้อนและกระจายอย่างไม่ทั่วถึง [1] อีกทั้งในเหตุการณ์อุทกภัยทางภาคใต้ช่วงต้นปี 2560 ปัญหาลักษณะดังกล่าวยังคงไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรม การกระจายความช่วยเหลือจากภาครัฐ เช่น ถุงยังชีพ เครื่องอุปโภคบริโภค เป็นไปอย่างไม่ทั่วถึงหรือไม่ตรงตามความต้องการของผู้ประสบภัย รวมทั้งกรณีที่ผู้ประสบภัยได้รับบริจาคสิ่งของบรรเทาทุกข์เกินความจำเป็น [2] โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม (Humanitarian Logistics) มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการให้ความช่วยเหลือประชาชนผู้ประสบภัย โดย 80% ของการจัดการบรรเทาภัยพิบัตินั้นขึ้นอยู่กับระบบโลจิสติกส์ [3] เนื่องจากระบบโลจิสติกส์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการบรรเทาภัยพิบัติและเป็นสิ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการปฏิบัติการสำหรับการบรรเทาภัยพิบัติ [4] และหนึ่งในวิธีที่ใช้ในการจัดการภัยพิบัติคือการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีทั้งวิธีการพัฒนาตัวแบบแบบหนึ่งวัตถุประสงค์ และการพัฒนาตัวแบบหลายวัตถุประสงค์

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมกรณีการเกิดอุทกภัยในประเทศไทย เป็นการเตรียมความพร้อมในการรับมือภัยพิบัติ เนื่องจากปัญหาอุทกภัยเป็นภัยพิบัติที่สร้างความเสียหายต่อประเทศไทยมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนในบริเวณที่ราบลุ่ม ที่ลาดเชิงเขา ที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำ [5] ทั้งนี้เพื่อกำหนดสถานที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก และกำหนดจำนวนของทรัพยากรให้เพียงพอต่อการช่วยเหลือผู้ประสบภัย

2. แนวคิดและทฤษฎี

2.1 โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม (Humanitarian Logistics)

โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมมีบทบาทสำคัญในการช่วยเหลือและการบริหารทรัพยากรในสถานการณ์ภัยพิบัติ [6] แบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ การให้ความช่วยเหลืออย่างต่อเนื่อง (Continuous Aid Work) และการบรรเทาภัยพิบัติ (Disaster Relief) ซึ่งเป็นการช่วยเหลือหลังภัยอุบัติขึ้นอย่างทันท่วงที ไม่ว่าจะเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ หรือภัยอันเกิดจากฝีมือมนุษย์

นักวิจัยนิยามความหมายของโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมไว้หลากหลาย เช่น Christopher และ Tatham [7] นิยามว่าเป็นกระบวนการการวางแผน การนำแผนไปใช้ และการควบคุมการไหล (Flow) ของเครื่องอุปโภคบริโภค (Materials) รวมถึงข้อมูลข่าวสารต่างๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงจุดที่ต้องการความช่วยเหลืออย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือ และบรรเทาผู้ประสบภัย ส่วน Bhimani และ Song [6] มองว่าเป็นชุดการปฏิบัติการ (Set of Actions) ที่องค์กรต่าง ๆ ใช้เพื่อการเคลื่อนย้ายข้อมูล สินค้าและบริการ โดยมีเป้าหมายเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัย (Beneficiaries) ส่วน วีรชัย อุสมบุญ และธารทัศน์ โมกขมรรคกุล [2] นิยามว่า โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมเป็นกระบวนการการวางแผน การนำแผนไปใช้ และการควบคุมการเคลื่อนย้ายเครื่องอุปโภคบริโภค ข้อมูลข่าวสาร รวมถึงการเคลื่อนย้ายกำลังคน ทรัพยากร ทักษะและความรู้ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงจุดที่ต้องการความช่วยเหลืออย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือและบรรเทาภัยพิบัติ และ คมสัน โสมณวัต [8] นิยามว่า โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมหมายถึงการจัดการในกระบวนการโลจิสติกส์เพื่อให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัย ทั้งภัยพิบัติที่เกิดตามธรรมชาติ และภัยพิบัติที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อลดผลกระทบจากการเกิดภัยพิบัติทั้งด้านสุขภาพและความปลอดภัย

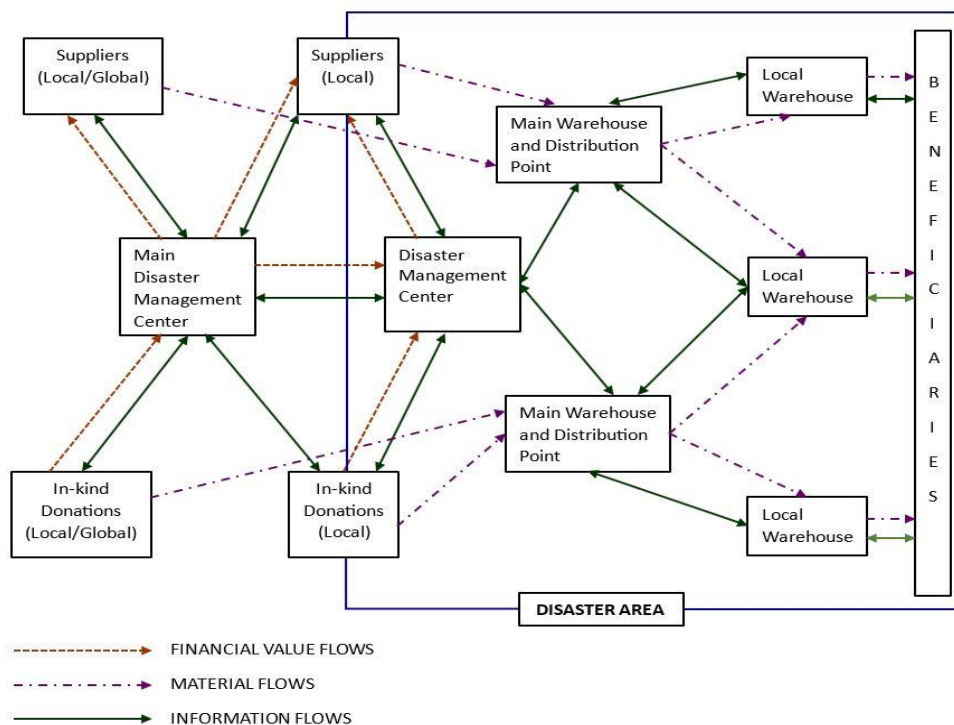
2.1.1 บทบาทของโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมในการบรรเทาภัยพิบัติ

โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมมีบทบาทสำคัญ 2 ประการในการบรรเทาภัยพิบัติ ประการที่ 1 โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมมีส่วนช่วยอย่างมากในการบรรเทาผลกระทบเชิงลบจากภัยพิบัติทางธรรมชาติในเรื่องของการสูญเสียชีวิตและต้นทุนทางเศรษฐกิจ ได้แก่ 1) การพังทลายของสิ่งปลูกสร้าง ไม่ว่าจะเป็นอาคาร บ้านเรือน และโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ 2) การสูญเสียในการส่งออกและการลดลงของการจ้างงาน 3) ขาดทุนจากการเพิ่มขึ้นของราคาวัสดุสิ้นเปลืองและวัสดุก่อสร้าง และ 4) การขาดแคลนอาหารและการเกิดอุบัติเหตุ ประการที่ 2 โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมถือเป็นแหล่งเก็บข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์เพื่อให้การเรียนรู้หลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ ข้อมูลด้านโลจิสติกส์สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของซัพพลายเออร์และผู้ให้บริการด้านการขนส่ง ไปจนถึงต้นทุนและความรวดเร็วในการตอบสนองความเหมาะสมของสิ่งของที่บริจาค ดังนั้น โลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมจึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดำเนินงานและการจัดทำแผนเพื่อรับมือกับเหตุฉุกเฉิน และช่วยในการ

เตรียมการและการเคลื่อนย้ายผู้คน และสิ่งของในยามที่เกิดภัยพิบัติ [9]

2.1.2 กระบวนการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม

กระบวนการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมมีความซับซ้อนและมีส่วนร่วมของหลายส่วนในสถานที่ต่าง ๆ เพื่อให้มีความชัดเจนมากขึ้น กระบวนการจึงเชื่อมโยงส่วนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ผู้บริจาค องค์กรช่วยเหลือในระดับท้องถิ่น ระดับประเทศ ระดับนานาชาติ รัฐบาลและผู้รับผลประโยชน์ กระบวนการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมแสดงถึง การไหลของวัสดุ การไหลของข้อมูล และการไหลเวียนของเงิน [10] การไหลของวัสดุเป็นการไหลของผลิตภัณฑ์จากผู้บริจาคไปยังผู้รับผลประโยชน์รวมถึงอาหาร ผ้าห่ม ยา และน้ำ และการไหลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์กลับมาหลังจากภัยพิบัติ การไหลของข้อมูลรวมถึงการพยากรณ์ความต้องการ การส่งคำสั่งซื้อ และรายงานสถานะการสั่งซื้อเพื่อให้มั่นใจว่ามีความพร้อมและการสื่อสาร การไหลเวียนของเงินรวมถึงการตรวจสอบเงินสดและเอกสารการชำระเงิน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมปรับปรุงจาก [10]

2.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP)

การโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP) เป็นโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่มีข้อจำกัดของตัวแปรว่า จะต้องเป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่ค่าเป็นลบ นั่นคือ $X_i = 0, 1, 2, \dots$ ทุกค่า i ปัญหาโปรแกรมเชิงจำนวนเต็มที่สำคัญ ได้แก่ ปัญหาการขนส่ง ปัญหาการมอบหมายงาน ปัญหาการจัดสรรงบประมาณ ปัญหาการจัดลำดับงาน เป็นต้น เทคนิคที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาเหล่านี้ไม่มีเทคนิคที่จัดว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะ แต่จะมีเทคนิคหลายแบบ แต่ละแบบจะเหมาะสมกับลักษณะของปัญหาหนึ่ง เช่น ใช้วิธีการขนส่ง (Transportation Method) กับปัญหาการขนส่ง หรือใช้วิธีแจงนับ (Implicit Enumeration) กับปัญหาการเลือกโครงการลงทุน เป็นต้น [11]

2.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming: NLP)

การโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming: NLP) เป็นโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้หาคำตอบ กรณีที่ตัวแปรตัดสินใจมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ในกรณีเป้าหมายต้องการค่า $f(x)$ ที่ต่ำที่สุด ดังเช่น $f(x)$ เป็นฟังก์ชันต้นทุน จะมีโครงสร้างทั่วไปของตัวแบบดังนี้

$$\text{Minimize } f(x) \quad (1)$$

subject to

$$g_i(x) \leq 0 \text{ for each } i \in \{1, \dots, m\} \quad (2)$$

$$h_j(x) = 0 \text{ for each } j \in \{1, \dots, p\} \quad (3)$$

$$x \in X \quad (4)$$

โดย f , g_i และ h_j อย่างน้อยที่สุดหนึ่งฟังก์ชันไม่เป็นเส้นตรง สำหรับปัญหาที่มีเป้าหมายค่า $f(x)$ สูงที่สุดก็มีโครงสร้างโดยทั่วไปของตัวแบบเช่นเดียวกัน ตัวแบบประเภทนี้มักจะประยุกต์ใช้กับปัญหาทางด้านการพยากรณ์ การกำหนดการผลิต การควบคุมสินค้าคงคลัง การควบคุมคุณภาพ การซ่อมแซมและการบำรุงรักษา การออกแบบกระบวนการ วิธีการทางบัญชีและการจัดสรรงบประมาณ เป็นต้น การหาคำตอบของปัญหาการโปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง ยุ่งยากกว่าปัญหาการโปรแกรมที่เป็นเส้นตรงมาก

ไม่มีอัลกอริทึมใดโดยเฉพาะที่จะนำมาใช้หาคำตอบ แต่อัลกอริทึมจำนวนมากถูกปรับปรุงจนเป็นที่ยอมรับและถูกนำไปใช้อย่างได้ผลในทางปฏิบัติ โดยอัลกอริทึมของแต่ละเทคนิคจะมีหลักการใช้ที่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น และสามารถหาคำตอบได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัย ปัญหาการโปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรงที่สำคัญปัญหาหนึ่งคือ การโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic Programming) เป็นปัญหาของการหาค่าที่ดีที่สุด (ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด) ของฟังก์ชันเป้าหมาย ซึ่งเป็นฟังก์ชันกำลังสอง โดยมีข้อจำกัดของปัญหา เป็นสมการหรืออสมการเชิงเส้น [11]

2.4 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็มไม่เชิงเส้น (Integer Nonlinear Programming: INLP)

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็มไม่เชิงเส้น (Integer Nonlinear Programming: INLP) เป็นตัวแบบที่มีการกำหนดค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม (Integer Variables) และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ใช่เส้นตรง (Nonlinear Objective Function) โดยสามารถใช้เทคนิคการแปลงตัวแบบจาก INLP เป็น Linear Programming (LP) หรือ Mixed-Integer Linear Programming (MILP) เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทั่วไปแล้ว INLP จะถูกนำมาใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิต การวางแผนทรัพยากร การวางแผนการเงิน การวางแผนการลงทุน และงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องจักรหรือระบบที่มีการกำหนดค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม อย่างไรก็ตาม การแก้ไขปัญหาค่า INLP เป็นงานที่ยากและจำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณที่มีความซับซ้อน ซึ่งอาจต้องใช้เทคนิคการคำนวณแบบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Algorithms) หรือแม้กระทั่งการใช้ Machine Learning เพื่อช่วยในการแก้ปัญหามีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น [11]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nathalie และ Victor [12] ได้พัฒนาแบบจำลองสถานที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับภัยพิบัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมทางสังคมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนด้านเอกชน เช่น ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุน

สินค้าคงคลังและต้นทุนคงที่ของสถานที่ตั้ง และต้นทุนในส่วนของการ Deprivation Costs มีการกำหนดจำนวนเงินต่อประเภทของสิ่งของบรรเทาทุกข์ไว้ล่วงหน้า เพื่อพร้อมให้บริการในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นการตอบสนองภัยพิบัติ ตัวแบบนี้ยังมุ่งเน้นไปที่การช่วยเหลือที่ควรดำเนินการในพื้นที่ภายใน 24 ชั่วโมงแรก โดยใช้ข้อมูลจริงของภูมิภาคแคริบเบียน ประเทศโคลอมเบีย ซึ่งได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมในปี 2010 และ 2011 สำหรับงานวิจัยของ Bozorgi-Amiri และคณะ [13] ได้นำเสนอ Robust Multi-objective Stochastic Model สำหรับโลจิสติกส์เพื่อบรรเทาภัยพิบัติ โดยพิจารณาความต้องการทรัพยากร ต้นทุนการจัดหา และต้นทุนการขนส่งที่ไม่แน่นอน เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด และรวมถึงการลดความแปรปรวนสำหรับความขาดแคลนสูงสุดให้ต่ำที่สุดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ โดยใช้ข้อมูลจริงของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในประเทศอิหร่าน ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบที่นำเสนอสามารถช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับสถานที่ตั้งและการจัดสรรทรัพยากรในกรณีที่ต้องการบรรเทาทุกข์จากการเกิดแผ่นดินไหว ส่วนงานวิจัยของ Oscar Rodríguez-Espíndola [14] ได้ปรับใช้โลจิสติกส์ในการจัดการทรัพยากร

เพื่อบรรเทาทุกข์แก่ผู้ประสบภัยและการวางแผนการดำเนินงานที่เหมาะสม และได้นำเสนอระบบการเตรียมความพร้อมรับมือภัยพิบัติโดยการผสมผสาน Multi-objective Optimization และระบบ GIS (Geographical Information Systems) เพื่อช่วยในการตัดสินใจ โดยพัฒนา Bi-objective Optimization Model ใช้เพื่อระบุตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกในกรณีฉุกเฉิน การเก็บสต็อก การจัดสรรทรัพยากร และการกระจาย พร้อมจำนวนผู้เกี่ยวข้องในการดำเนินงานในการจัดการภัยพิบัติ โดยใช้ข้อมูลจริงของสถานการณ์น้ำท่วมในปี 2013 ใน Acapulco ประเทศเม็กซิโก ซึ่งมีปัญหว่าจำนวนหน่วยงานภาครัฐที่นำไปใช้ในการจัดการกับสถานการณ์มีมากเกินไป นำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่สูงโดยไม่บรรลุระดับความพึงพอใจที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังม้งงานวิจัยของไทยที่มีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการและการเตรียมความพร้อมช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากภัยพิบัติโดยเฉพาะภัยพิบัติอุทกภัย ซึ่งประเภทตัวแบบมีความหลากหลายแตกต่างกันไป ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแบบส่วนใหญ่มีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการช่วยเหลือผู้ประสบภัยต่ำที่สุด [15-19] ดังรายละเอียดเพิ่มเติมที่สรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทตัวแบบ/วิธีการที่ใช้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแบบ และกรณีศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้แต่ง	วัตถุประสงค์การวิจัย	ตัวแบบ/วิธีการ	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กรณีศึกษา
Nathalie Cotes และ Victor Cantillo [12]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดสถานที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อเตรียมความพร้อมจัดการภัยพิบัติ โดยมุ่งเน้นการช่วยเหลือที่ควรดำเนินการทันทีภายใน 24 ชั่วโมงแรก	General Algebraic Modeling System (GAMS)	Minimize cost	อุทกภัย ภูมิภาคแคริบเบียน ประเทศโคลอมเบีย ในปี 2010 และ 2011
Bozorgi-Amiri และ คณะ [13]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาความต้องการทรัพยากร ต้นทุนการจัดหา และต้นทุนการขนส่งที่ไม่แน่นอน รวมถึงลดความแปรปรวนของความขาดแคลนในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ	Robust Multi-objective Stochastic Model	Minimize cost Minimize demand coverage	แผ่นดินไหวในประเทศอิหร่าน
Oscar Rodríguez-Espíndola [14]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการจัดการทรัพยากรเพื่อบรรเทาทุกข์แก่ผู้ประสบภัยและการวางแผนการดำเนินงานที่เหมาะสม และประยุกต์ระบบ GIS เพื่อช่วยในการตัดสินใจ	Bi-objective Optimization Model	Minimize cost Minimize the maximum unfulfillment	อุทกภัยในประเทศเม็กซิโก

ตารางที่ 1 ประเภทตัวแบบ/วิธีการที่ใช้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแบบ และกรณีศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้แต่ง	วัตถุประสงค์การวิจัย	ตัวแบบ/วิธีการ	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กรณีศึกษา
ไพโรจน์ แสนดี และคณะ [15]	ใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับรับส่งประชากร โดยจุดรับคือบริเวณพื้นที่ประสบภัย จุดส่งคือบริเวณทางออกไปสู่พื้นที่ปลอดภัย	Saving Algorithm และ Cluster-First Route-Second	Minimize distance	พื้นที่ประสบอุทกภัย ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี
ปณณภา สุทธิจันทน์ และสุนารีน จันทะ [16]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP เพื่อช่วยเหลือผู้อพยพ 2 กลุ่ม คือ ผู้อพยพแบบปกติและผู้อพยพแบบที่ต้องการการช่วยเหลือพิเศษ	Vehicle Routing Problem (VRP)	Minimize time	พื้นที่ประสบอุทกภัย ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี
เกริก วงศ์ลีธชา และคณะ [17]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการจัดเส้นทางเดินทางของยานพาหนะที่มีการรับและส่ง เพื่อใช้ในการอพยพและแจกจ่ายถุงยังชีพสำหรับผู้ประสบภัย โดยพิจารณาเงื่อนไขด้านความเร่งด่วนในการช่วยเหลือ	Mixed Integer Linear Programing (MILP)	Minimize time	อุทกภัยในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดจากพายุนิโคลและคาจิกิ ในปี พ.ศ. 2562
จิระพงศ์ ทองพันธ์ [18]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาโอกาสหรือความน่าจะเป็นและประยุกต์วิธีฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาแบบ MDSVRPTW	Metaheuristics สำหรับปัญหา MDSVRPTW	Minimize cost Minimize number of transport vehicles Minimize time	ทดสอบกับข้อมูลจำลอง
ธนาภา ครุณดุรงค์ดี [19]	พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับกระจายอาหารและสิ่งของจำเป็นแบบหลายแห่ง เมื่อปริมาณอาหารและสิ่งของจำเป็นมีอยู่อย่างจำกัด โดยมีเงื่อนไขด้านเวลาที่เกี่ยวข้อง	Min Travel Time Heuristic, Min Arrival Time Heuristics, Min Cost Heuristics	Minimize time Minimize cost	ทดสอบกับข้อมูลจำลอง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมด้วยตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Non-linear Programming: INLP) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการช่วยเหลือผู้ประสบภัยต่ำที่สุด และมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) กำหนดตัวแปรตัดสินใจเพื่อใช้ในการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม

2) กำหนดและรวบรวมพารามิเตอร์ของตัวแบบ

3) เขียนโปรแกรมและหาผลเฉลยของตัวแบบด้วยโปรแกรม LINGO

4) วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยพิจารณาจากขนาดของปัญหา เช่น จำนวนพื้นที่ประสบภัยตามสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิด ทั้งนี้ยังอยู่ภายใต้การช่วยเหลือที่ครอบคลุมผู้ประสบภัยทั้งหมด ด้วยต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด

5) วิเคราะห์ผลเฉลยของตัวแบบและผลเฉลยจากการวิเคราะห์ความไว เพื่อเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการเตรียมความพร้อมรับมือกับการเกิดภัยพิบัติ

4. ผลการวิจัย

4.1 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม

งานวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Non-linear Programming: INLP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการช่วยเหลือผู้ประสบภัยต่ำที่สุด ซึ่งมีดัชนีตัวแปรตัดสินใจ พารามิเตอร์ และโครงสร้างของตัวแบบ INLP ดังต่อไปนี้

ดัชนี

- i คือ ศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ ; $i = 1, \dots, I$
- j คือ ศูนย์พักพิง ; $j = 1, \dots, J$
- k คือ พื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยอยู่ได้ ; $k = 1, \dots, K$
- o คือ พื้นที่ประสบภัยที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ ; $o = 1, \dots, O$
- m คือ ประเภทพาหนะสำหรับการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ ; $m = 1, \dots, M$
- n คือ ประเภทพาหนะสำหรับการขนส่งผู้ประสบภัย ; $n = 1, \dots, N$

ตัวแปรตัดสินใจ

- Y_j คือ การเปิดใช้งานศูนย์พักพิง
- H_i คือ จำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ต้องจัดซื้อของศูนย์กระจายที่ i (ถุง)
- XK_{ik} คือ พื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยอยู่ได้ที่ k ที่รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจาย i
- XJ_{ij} คือ ศูนย์พักพิงที่ j ที่รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจาย i
- Z_k คือ จำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัย k ที่ได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์ (คน)
- Z_j คือ จำนวนผู้ประสบภัยในศูนย์พักพิง j ที่ได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์ (คน)
- NOJ_{ojn} คือ จำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัย o ที่ถูกขนส่งไปยังศูนย์พักพิง j โดยพาหนะประเภทที่ n (คน)

- NJ_{ijm} คือ จำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ถูกขนส่งจากศูนย์กระจาย i ไปยังศูนย์พักพิง j โดยพาหนะประเภทที่ m (ถุง)
- NK_{ikm} คือ จำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ถูกขนส่งจากศูนย์กระจาย i ไปยังพื้นที่ประสบภัย k โดยพาหนะประเภทที่ m (ถุง)

พารามิเตอร์

- CX_i คือ ต้นทุนในการดำเนินงานของศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ i (บาท)
- CY_j คือ ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์พักพิงที่ j (บาท)
- Pr คือ ราคาต่อหน่วยสิ่งของบรรเทาทุกข์ (บาทต่อถุง)
- CTM_m คือ ต้นทุนการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์โดยพาหนะประเภทที่ m (บาทต่อกิโลเมตร)
- CTN_n คือ ต้นทุนการขนส่งผู้ประสบภัยโดยพาหนะประเภทที่ n (บาทต่อกิโลเมตร)
- NE คือ จำนวนผู้ประสบภัยต่อหนึ่งหน่วยสิ่งของบรรเทาทุกข์ (คน)
- P_k คือ จำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัยที่อยู่อาศัยได้ที่ k (คน)
- P_o คือ จำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัยที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ที่ o (คน)
- VOL คือ ปริมาตรต่อหนึ่งถุงสิ่งของบรรเทาทุกข์ (ลูกบาศก์เมตร)
- α คือ น้ำหนักต่อหนึ่งถุงสิ่งของบรรเทาทุกข์ (กิโลกรัม)
- $CAPX_i$ คือ ความจุของศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ i (ลูกบาศก์เมตร)
- $CAPY_j$ คือ ความจุของศูนย์พักพิงที่ j (จำนวนคนที่จุได้)
- $CAPM_m$ คือ น้ำหนักบรรทุกของพาหนะประเภทที่ m ที่ใช้ในการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ (กิโลกรัม)
- $CAPN_n$ คือ ความจุของพาหนะประเภทที่ n ที่ใช้ในการขนส่งผู้ประสบภัย (จำนวนคนที่จุได้)
- DXK_{ik} คือ ระยะทางจากศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ i ไปยังพื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยได้ที่ k (กิโลเมตร)

DX_{ij} คือ ระยะทางจากศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทา

ทุกข์ที่ i ไปยังศูนย์พักพิงที่ j (กิโลเมตร)

DOJ_{oj} คือ ระยะทางจากพื้นที่ประสบภัยที่ไม่สามารถพัก

อาศัยได้ที่ o ไปยังศูนย์พักพิงที่ j (กิโลเมตร)

M คือ จำนวนจริงที่มีค่ามากพอ (Positive Large Number)

เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการช่วยเหลือผู้ประสบภัยต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนสิ่งของบรรเทาทุกข์ ต้นทุนในการดำเนินงานของศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์พักพิง ต้นทุนการขนส่งผู้ประสบภัย และต้นทุนการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ ดังสมการที่ 5

สมการเป้าหมาย

$$\begin{aligned} \text{Min Total Cost} = & \sum_{i=1}^I Pr H_i + \sum_{i=1}^I CX_i + \sum_{j=1}^J CY_j Y_j + \sum_{o=1}^O \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \frac{CTN_n DOJ_{oj} NOJ_{ojn}}{CAPN_n} + \\ & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \frac{CTM_m DX_{ij} (\alpha NJ_{ijm})}{CAPM_m} + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \frac{CTM_m DX_{ik} (\alpha NK_{ikm})}{CAPM_m} \end{aligned} \quad (5)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^I XK_{ik} = 1 \quad ; \forall k \quad (6)$$

สมการที่ (6) เพื่อให้แน่ใจว่าพื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยอยู่ได้ จะไม่รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายที่ซ้ำกัน

$$\sum_{i=1}^I XJ_{ij} = 1 \quad ; \forall j \quad (7)$$

สมการที่ (7) เพื่อให้แน่ใจว่าศูนย์พักพิงจะไม่ได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายที่ซ้ำกัน

$$H_i VOL \leq CAPX_i \quad ; \forall i \quad (8)$$

สมการที่ (8) แสดงให้เห็นว่าจำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ต้องจัดซื้อต้องไม่เกินความสามารถในการจัดเก็บของศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์

$$H_i \geq \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M NJ_{ijm} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M NK_{ikm} \quad ; \forall i \quad (9)$$

สมการที่ (9) จำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ต้องจัดซื้อทั้งหมดต้องสามารถตอบสนองความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ได้ทั้งในพื้นที่ประสบภัยที่สามารถพักอาศัยได้ และความต้องการในศูนย์พักพิง

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M NJ_{ijm} \leq M(Y_j) \quad ; \forall j \quad (10)$$

สมการที่ (10) เป็นการกำหนดให้จำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ถูกขนส่งไปยังศูนย์พักพิงเท่ากับจำนวนจริงที่มีค่ามากพอ (Positive Large Number)

$$P_o \geq \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N NOJ_{ojn} Y_j \quad ; \forall o \quad (11)$$

สมการที่ (11) เป็นการประกันว่าจำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ที่ไม่สามารถอยู่อาศัยได้จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังศูนย์พักพิง

$$\sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N NOJ_{ojn} \leq CAPY_j \quad ; \forall j \quad (12)$$

สมการที่ (12) จำนวนผู้ประสบภัยที่ถูกเคลื่อนย้ายไปยังศูนย์พักพิงต้องไม่เกินขีดความสามารถของศูนย์พักพิง ที่รับได้

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M NJ_{ijm} \geq \frac{\sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N NOJ_{ojn}}{NE} \quad ; \forall j \quad (13)$$

สมการที่ (13) แสดงให้เห็นว่าจำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ถูกขนส่งไปยังศูนย์พักพิงต้องเพียงพอต่อความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ในศูนย์พักพิง

$$\sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N NOJ_{ojn} = Z_j \quad ; \forall j \quad (14)$$

สมการที่ (14) รับประกันว่าจำนวนผู้ประสบภัยในศูนย์พักพิงจะได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M NK_{ikm} \geq \frac{P_k}{NE} \quad ; \forall k \quad (15)$$

สมการที่ (15) แสดงให้เห็นว่าจำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ถูกขนส่งไปยังพื้นที่ประสบภัยที่สามารถอยู่อาศัยได้ต้องเพียงพอต่อความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ในพื้นที่ประสบภัยที่สามารถอยู่อาศัยได้

$$P_k = Z_k \quad ; \forall k \quad (16)$$

สมการที่ (16) รับประกันว่าจำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัยที่สามารถอยู่อาศัยได้ จะได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์ $Y_j \in \{0,1\}$; $\forall j$ (17)

สมการที่ (17) กำหนดให้การเปิดใช้งานศูนย์พักพิงเป็นตัวแปรแบบ Binary เมื่อมีการเปิดใช้งานศูนย์พักพิง ให้มีค่าเป็น 1 ถ้าไม่มีการเปิดใช้งานศูนย์พักพิง ให้มีค่าเป็น 0

$$XK_{ik} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, \forall k \quad (18)$$

สมการที่ (18) กำหนดให้พื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยอยู่ได้ที่ได้รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายเป็นตัวแปรแบบ Binary เมื่อมีการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายไปยังพื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยอยู่ได้ ให้มีค่าเป็น 1 และถ้าไม่มีการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายไปยังพื้นที่ประสบภัยที่พักอาศัยอยู่ได้ ให้มีค่าเป็น 0

$$XJ_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, \forall j \quad (19)$$

สมการที่ (19) กำหนดให้ศูนย์พักพิงที่รับสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายเป็นตัวแปรแบบ binary เมื่อมีการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายไปยังศูนย์พักพิง ให้มีค่าเป็น 1 และถ้าไม่มีการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายไปยังศูนย์พักพิง ให้มีค่าเป็น 0

$$H_i \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall i \quad (20)$$

$$Z_k \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall k \quad (21)$$

$$Z_j \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall j \quad (22)$$

$$NOJ_{ojn} \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall o, \forall j, \forall n \quad (23)$$

$$NJ_{ijm} \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall i, \forall j, \forall m \quad (24)$$

$$NK_{ikm} \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall i, \forall k, \forall m \quad (25)$$

สมการที่ (20)-(25) กำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าไม่ติดลบ

4.2 การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการภัยพิบัติอุทกภัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ INLP กับพื้นที่ประสบภัยกรณีศึกษาอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีทั้งหมด 10 ตำบล 183 หมู่บ้าน มีประชากรทั้งหมด จำนวน 82,764 คน ข้อมูลจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดมหาสารคาม พบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ 2553-2563 อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ได้ประสบอุทกภัยทั้งสิ้น 500

ครั้ง แบ่งออกเป็น น้ำท่วมขัง 269 ครั้ง น้ำล้นตลิ่ง 209 ครั้ง และ น้ำท่วมฉับพลัน 22 ครั้ง ในช่วงระหว่างที่เกิดอุทกภัยมีทั้งพื้นที่ที่สามารถพักอาศัยได้และพื้นที่ที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ [20] การวิจัยนี้จึงกำหนดพื้นที่ประสบภัย 2 แบบ คือ พื้นที่ประสบภัยที่สามารถพักอาศัยได้ 180 หมู่บ้าน จำนวนผู้ประสบภัย 82,194 คน และมี 3 หมู่บ้านที่เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ มีจำนวนผู้ประสบภัย 570 คน

การประยุกต์ใช้ตัวแบบ INLP ที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลพื้นที่ประสบภัยกรณีศึกษานี้ มีขอบเขตหรือข้อจำกัดสำคัญของปัญหา คือ ให้มีศูนย์ในการกระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์จำนวน 2 ศูนย์ คือ สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดมหาสารคาม และที่ว่าการอำเภอกันทรวิชัย ส่วนศูนย์พักพิงจะเป็นศูนย์ทางเลือก จำนวน 19 ศูนย์ ซึ่งเป็นที่ตั้งของพื้นที่ส่วนราชการต่าง ๆ เช่น โรงเรียนและวัด และการขนย้ายผู้ประสบภัยรวมถึงการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ จะใช้พาหนะประเภทรถบรรทุกเท่านั้น โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ ดังตารางที่ 2

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาได้ข้างต้น ผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 ภายใต้ขนาดของปัญหาที่มี 1,804 ตัวแปร และสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 463 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 3 วินาที ดังรูปที่ 2 ทำให้ได้ผลเฉลยของตัวแบบเพื่อนำไปเตรียมความพร้อมในการรับมือภัยพิบัติ โดยการตัดสินใจเปิดศูนย์พักพิง รวมถึงการจัดเตรียมและกระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยให้ครอบคลุม

Lingo 13.0 Solver Status [Obj_1]	
Solver Status	
Model Class:	MINLP
State:	Local Opt
Objective:	2.08594e+007
Infeasibility:	5.68434e-014
Iterations:	2113
Variables	
Total:	1804
Nonlinear:	191
Integers:	1803
Constraints	
Total:	463
Nonlinear:	22
Nonzeros	
Total:	5107
Nonlinear:	266
Generator Memory Used (K)	
357	
Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
00:00:03	
Extended Solver Status	
Solver Type:	B-and-B
Best Obj:	2.08594e+007
Obj Bound:	2.08594e+007
Steps:	0
Active:	0
Update Interval: 2	
Interrupt Solver	
Close	

รูปที่ 2 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสำหรับการจัดการภัยพิบัติอุทกภัย

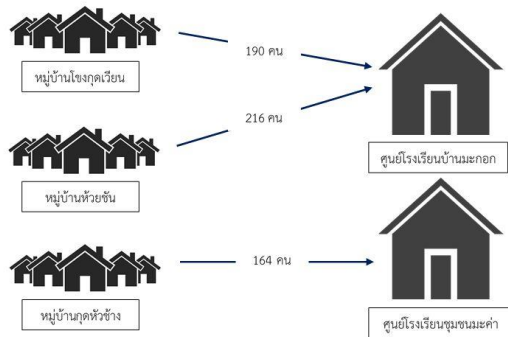
พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	แหล่งที่มา
ต้นทุนในการดำเนินงานของศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์	25,000 30,000	บาท	สำนักงานป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย จ.มหาสารคาม [21]
ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์พักพิง	28,000-80,000	บาท	สำนักงานป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย จ.มหาสารคาม [21]
ราคาต่อหน่วยสิ่งของบรรเทาทุกข์	500	บาท/ถุง	คำนวณจากค่าเฉลี่ยของการจัดซื้อ จัดจ้างสิ่งบรรเทาทุกข์ของกรม ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย
ต้นทุนการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์โดยพาหนะ	11-22.5	บาท/กม.	บริษัท จิตพิทักษ์ จำกัด [22]
ต้นทุนการขนส่งผู้ประสบภัยโดยพาหนะ	11-22.5	บาท/กม.	บริษัท จิตพิทักษ์ จำกัด [22]
จำนวนผู้ประสบภัยต่อหนึ่งหน่วยสิ่งของบรรเทาทุกข์	2	คน	คำนวณจากปริมาณของการจัดซื้อ จัดจ้างสิ่งบรรเทาทุกข์ของกรม ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย
จำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัยที่อยู่อาศัยได้	82,194	คน	กรมการปกครอง [20]
จำนวนผู้ประสบภัยในพื้นที่ประสบภัยที่ไม่สามารถพักอาศัยได้	570	คน	กรมการปกครอง [20]
ปริมาตรต่อหนึ่งถุงสิ่งของบรรเทาทุกข์	0.02	ลูกบาศก์ เมตร	คำนวณจากปริมาตรสิ่งบรรเทาทุกข์ ของกรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย
น้ำหนักต่อหนึ่งถุงสิ่งของบรรเทาทุกข์	3	กิโลกรัม	กรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย [23]
ความจุของศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์	400 500	ลูกบาศก์ เมตร	สำนักงานป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย จ.มหาสารคาม [21]
ความจุของศูนย์พักพิง	500-1,000	คน	สำนักงานป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย จ.มหาสารคาม [21]
ความจุของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์	500-15,000	กิโลกรัม	กรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย [23]
ความจุของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งผู้ประสบภัย	6-12	คน	กรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย [23]
ระยะทางจากศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ไปยังพื้นที่ประสบภัยที่ พักอาศัยได้	0.5-36.3	กิโลเมตร	ระยะทางจริงจาก Google maps
ระยะทางจากศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ไปยังศูนย์พักพิง	0.41-30	กิโลเมตร	ระยะทางจริงจาก Google maps
ระยะทางจากพื้นที่ประสบภัยที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ไปยังศูนย์พักพิง	5-28	กิโลเมตร	ระยะทางจริงจาก Google maps

4.2.1 ผลเฉลยของตัวแบบ

จากผลเฉลยของตัวแบบ พบว่า ในการจัดการภัยพิบัติอุทกภัย ในพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย ต้องใช้ต้นทุนรวมในการจัดการภัยพิบัติต่ำที่สุด 20.859 ล้านบาท จึงจะช่วยเหลือจำนวนผู้ประสบภัยได้ครอบคลุมทั้งหมด สำหรับการเปิดใช้ศูนย์พักพิงกรณีพื้นที่ประสบภัยที่ไม่สามารถพักอาศัยอยู่ได้

พบว่า ศูนย์พักพิงที่ควรเปิดใช้งานมีจำนวน 2 ศูนย์ จากทั้งหมด 19 ศูนย์ คือ ศูนย์โรงเรียนชุมชนมะค่า มีจำนวนผู้ประสบภัยไปพักอาศัย จำนวน 164 คน โดยรับผู้ประสบภัยจากหมู่บ้านกุดหัวช้าง จำนวน 164 คน และศูนย์โรงเรียนบ้านมะกอก มีจำนวนผู้ประสบภัยไปพักอาศัย จำนวน 406 คน มาจาก 2 หมู่บ้าน คือบ้านโฆงกุดเวียน จำนวน 190 คน

และบ้านห้วยชัน จำนวน 216 คน โดยขนย้ายผู้ประสบด้วย
รถบรรทุกขนาด 4 ล้อสำหรับปฏิบัติการเคลื่อนย้าย
ผู้ประสบภัยพร้อมอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การขนย้ายผู้ประสบภัยไปยังศูนย์พักพิง

สำหรับจำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ต้องจัดซื้อ ทั้งหมด
41,482 ถุง เก็บไว้ในศูนย์กระจายสำนักงานป้องกันและ
บรรเทาสาธารณภัย จังหวัดมหาสารคาม 21,428 ถุง และ
เก็บไว้ที่ว่าการอำเภอกันทรวิชัย 20,000 ถุง เพื่อจัดสรรไปให้
ผู้ประสบภัยในศูนย์พักพิงและในพื้นที่ที่สามารถพักอาศัยอยู่
ได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปปริมาณการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ไปยังพื้นที่ประสบภัยที่สามารถพักอาศัยได้

ศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์	ตำบลที่ได้รับจัดสรรสิ่งของบรรเทาทุกข์	จำนวนหมู่บ้านที่ได้รับจัดสรรสิ่งของบรรเทาทุกข์	ปริมาณสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ได้รับจัดสรร (ถุง)
สำนักงาน ป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย จังหวัดมหาสารคาม	เขวาใหญ่	21	3,941
	ขามเฒ่าพัฒนา	9	2,029
	ขามเรียง	20	8,398
	คันธารราษฎร์	1	220
	ท่าขอนยาง	15	4,403
	นาสีนวน	9	1,286
	มะค่า	9	866
รวม		84	21,143
ที่ว่าการอำเภอ กันทรวิชัย	โคกพระ	15	4,560
	กุดไล่จ่อ	11	2,011
	ขามเฒ่าพัฒนา	11	1,993
	คันธารราษฎร์	14	1,829
	นาสีนวน	27	3,648
	มะค่า	20	1,391
	ศรีสุข	13	4,568
รวม		111	20,000

ตารางที่ 4 ข้อมูลสถานการณ์และผลเฉลยจากการวิเคราะห์ความไว

สถานการณ์ (Scenario)	พื้นที่เสี่ยงสูง		พื้นที่เสี่ยงปานกลาง		จำนวน ศูนย์พักพิงที่เปิด	จำนวนหมู่บ้าน (จำนวนผู้ประสบภัยที่ถูก ขนย้ายไปยังศูนย์พักพิง)	ต้นทุนโดยรวม ต่ำที่สุด (ล้านบาท)
	จำนวน ตำบล	จำนวน หมู่บ้าน	จำนวน ตำบล	จำนวน หมู่บ้าน			
Scenario 1	2	3			2	3 (570)	20.859
Scenario 2	2	3	2	6	5	9 (3,634)	21.081
Scenario 3	2	3	4	13	7	16 (6,992)	21.217

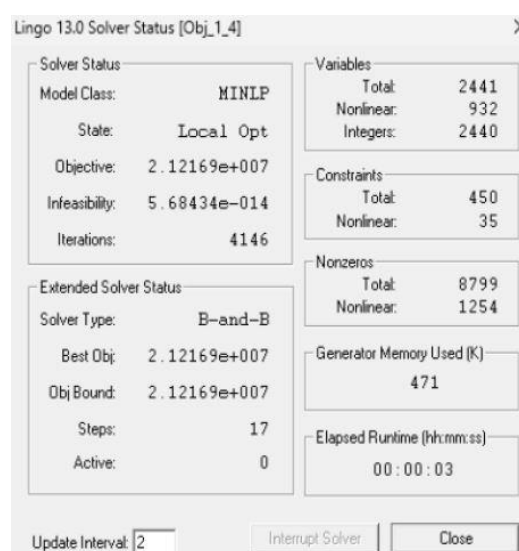
4.2.2 ผลเฉลยจากการวิเคราะห์ความไว

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของหัวข้อ 4.2.1 ซึ่งเป็นกรณีฐาน หรือ Scenario 1 นั้น ผู้วิจัยกำหนดพื้นที่ประสบภัยที่เป็นพื้นที่ไม่สามารถพักอาศัยได้เฉพาะพื้นที่ที่ถูกกำหนดเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงเท่านั้น (เสี่ยงระดับ 3 น้ำท่วมเข้าบ้านเรือนจนไม่สามารถเข้าพักอาศัยได้ ต้องอพยพไปพักอาศัยที่อื่น [20]) ส่วนการวิเคราะห์ความไวเพิ่มเติมนี้ ผู้วิจัยได้นำพื้นที่เสี่ยงปานกลาง (เสี่ยงระดับ 2 น้ำท่วมเข้าบ้านเรือนแต่ยังพักอาศัยได้ [20]) มากำหนดเพิ่มใน Scenario 2 และ Scenario 3 เนื่องจากหากในอนาคตเกิดอุทกภัยที่รุนแรงขึ้นกว่าเดิม พื้นที่เสี่ยงปานกลางที่ระบุไว้นี้อาจถูกน้ำท่วมจนไม่สามารถเข้าพักอาศัยได้หรือกลายเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงนั่นเอง ดังข้อมูลสถานการณ์การวิเคราะห์ความไวในตารางที่ 4 ทั้งนี้ผลเฉลยของสถานการณ์ Scenario 2 และ Scenario 3 สามารถนำไปเป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมสำหรับการช่วยเหลือและบรรเทาทุกข์ให้แก่ประชาชนได้

ผลการวิเคราะห์ความไว Scenario 2 กำหนดให้พื้นที่ประสบภัยที่สามารถพักอาศัยได้ 174 หมู่บ้าน จำนวนผู้ประสบภัย 79,130 คน และมี 9 หมู่บ้านที่เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ มีผู้ประสบภัย 3,634 คน ผลเฉลยพบว่า ในการจัดการภัยพิบัติอุทกภัยในพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย ต้องใช้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด 21.081 ล้านบาท ดังรูปที่ 4 จึงจะช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้ครอบคลุมจำนวนทั้งหมด และพบว่า ศูนย์พักพิงที่ควรเปิดใช้งานมีจำนวน 5 ศูนย์ คือ ศูนย์โรงเรียนขามเฒ่าผดุงศิลป์ ศูนย์วัดธรรมมงคล ศูนย์วัดพุทธมงคล ศูนย์โรงเรียนมะค่าพิทยาคม และศูนย์เทศบาลตำบลท่าขอนยาง โดยขนย้ายผู้ประสบด้วยรถบรรทุก 4 ล้อสำหรับปฏิบัติการพร้อมอุปกรณ์



รูปที่ 4 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 สำหรับ Scenario 2



รูปที่ 5 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 สำหรับ Scenario 3

ผลการวิเคราะห์ความไว Scenario 3 กำหนดให้พื้นที่ประสบภัยที่สามารถพักอาศัยได้ 167 หมู่บ้าน จำนวนผู้ประสบภัย 75,342 คน และมี 16 หมู่บ้านที่เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถพักอาศัยได้ มีผู้ประสบภัย 6,992 คน ผลเฉลยพบว่าการจัดการภัยพิบัติอุทกภัยในพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย ต้องใช้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด 21.217 ล้านบาท ดังรูปที่ 5 จึงจะช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้ครอบคลุมจำนวนทั้งหมด และพบว่า ศูนย์พักพิงที่ควรเปิดใช้งานมีจำนวน 7 ศูนย์ คือ ศูนย์โรงเรียนขามเฒ่าผดุงศิลป์ ศูนย์วัดธรรมมงคล ศูนย์โรงเรียนบ้านไส้จ้อย ศูนย์โรงเรียนมะค่า ศูนย์โรงเรียนบ้านคอกม้า ศูนย์โรงเรียนบ้านเหล่า และศูนย์โรงเรียนสมศรี โดยขนย้ายผู้ประสบภัยด้วยรถบรรทุก 4 ล้อ สำหรับปฏิบัติการพร้อมอุปกรณ์ เช่นเดียวกัน

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้ตัวแบบ INLP ที่พัฒนาขึ้นกับพื้นที่กรณีศึกษาอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 ภายใต้ขนาดของปัญหาที่มี 1,804 ตัวแปร และสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 461 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 3 วินาที พบว่าในการจัดการภัยพิบัติอุทกภัย สำหรับ Scenario 1 ควรเปิดใช้งานศูนย์พักพิง 2 ศูนย์ และใช้ต้นทุนรวมในการจัดการภัยพิบัติต่ำที่สุด 20.859 ล้านบาท

และจากการที่ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์ความไว โดยการขยายขนาดของปัญหาให้ใหญ่ขึ้น มีการพิจารณาพื้นที่เสี่ยงปานกลาง (เสี่ยงระดับ 2) ในปัจจุบัน มากำหนดเป็นพื้นที่ที่อาจถูกน้ำท่วมจนไม่สามารถเข้าพักอาศัยได้ของตัวแบบใน Scenario 2 และ 3 นั้น เป็นการกำหนดสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตที่อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม อาจประสบอุทกภัยรุนแรงมากขึ้น จนพื้นที่เสี่ยงปานกลางในปัจจุบันกลายเป็นพื้นที่เสี่ยงสูงที่น้ำท่วมสูงจนไม่สามารถเข้าพักอาศัยได้ ซึ่งพบว่าทำให้ได้ผลเฉลยที่สามารถนำไปเป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมสำหรับการช่วยเหลือและบรรเทาทุกข์ให้แก่ประชาชนได้ โดย Scenario 2 ขนาดของปัญหามี 2,098 ตัวแปร ใช้เวลาในการประมวลผล 16 วินาที พบว่า ควรเปิดใช้งานศูนย์พักพิง 5 ศูนย์ และใช้ต้นทุนรวมในการจัดการภัยพิบัติต่ำที่สุด 21.081 ล้านบาท และ Scenario 3 ขนาดของ

ปัญหามี 2,441 ตัวแปร ใช้เวลาในการประมวลผล 3 วินาที พบว่า ควรเปิดใช้งานศูนย์พักพิง 7 ศูนย์ และใช้ต้นทุนรวมในการจัดการภัยพิบัติต่ำที่สุด 21.217 ล้านบาท

จะเห็นว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นให้ผลเฉลยแบบ Local optimum ซึ่งเป็นผลเฉลยเฉพาะพื้นที่ เพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมความพร้อมในการรับมือภัยพิบัติ รวมถึงการกำหนดสถานที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก และกำหนดจำนวนของทรัพยากรให้เพียงพอต่อการช่วยเหลือผู้ประสบภัย แต่เนื่องจากการเตรียมความพร้อมในการรับมือภัยพิบัติมีความซับซ้อน จึงมีบางปัจจัยที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาในการออกแบบ เช่น นโยบายของรัฐบาลด้านการจัดการภัยพิบัติ การรับหรือได้รับความช่วยเหลือจากการบริจาค เป็นต้น ทั้งนี้ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดตัวแบบโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมเพื่อจัดการในช่วงเวลาการเกิดภัยพิบัติเท่านั้น ซึ่งไม่รวมเวลาก่อนหน้า และช่วงเวลาในการเยียวยา ทำการวิเคราะห์ภายในขอบเขตความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ประสบภัย ศูนย์กระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ และศูนย์พักพิง รวมถึงการขนส่งผู้ประสบภัยและการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จะถูกพิจารณาแยกกันอย่างชัดเจน โดยทั้งการขนส่งผู้ประสบภัยและการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จะใช้พาหนะทางบก ทั้งนี้ผู้วิจัยยังทำการเปรียบเทียบขนาดของปัญหาในการจัดการภัยพิบัติอุทกภัย ทั้งหมด 3 สถานการณ์ พบว่า หากจำนวนผู้ประสบภัยที่จะต้องขนย้ายมีมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ประสบภัยขยายวงกว้างขึ้น จะทำให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการภัยพิบัติและจำนวนการเปิดใช้ศูนย์พักพิงเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของเกริก วงศ์ลีอชา และคณะ [17] ซึ่งได้พัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ในลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางของยานพาหนะที่มีการรับและส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem with Mixed Pickup and Delivery: VRPMPD) ในรูปแบบ 1-M-1/P-D/MinCmax โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะเวลาการช่วยเหลือผู้ประสบภัยอุทกภัยสั้นที่สุด มุ่งเน้นศึกษาเพื่อวางแผนเส้นทางช่วยเหลือผู้ประสบภัยอุทกภัย กรณีศึกษาอุทกภัยในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดจากพายุโพดุลและคาจิกิ ในปี พ.ศ. 2562 โดยการช่วยเหลือจะเป็นทั้งการอพยพและแจกจ่ายถุงยังชีพให้แก่ผู้ประสบภัย โดยพิจารณาเงื่อนไขด้านความเร่งด่วนในการช่วยเหลือผู้ประสบภัย และพิจารณา

ประเภทของผู้ประสบภัย ในปัจจุบันการแก้ไขปัญหาลักษณะดังกล่าวจะดำเนินการจัดการตามเหตุที่กำลังประสบอยู่ ณ ขณะนั้น ตามข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับ โดยอาศัยประสบการณ์ความเชี่ยวชาญของผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้การบริหารจัดการดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้อย่างทันทั่วทั้ง

จากผลการวิจัยครั้งนี้ จึงเสนอแนะได้ว่า ควรกำหนดศูนย์พักพิงเพื่อรองรับผู้ประสบภัย โดยอาจใช้พื้นที่ของส่วนราชการต่าง ๆ ตามที่งานวิจัยเสนอแนะ เนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานด้านสถานที่รองรับได้โดยไม่ต้องก่อสร้างใหม่ และกรณีอุทกภัยที่น้ำไม่สูงมากดังกรณีศึกษา การขนย้ายผู้ประสบภัยไปยังศูนย์พักพิงและการกระจายสิ่งของบรรเทาทุกข์ด้วยรถบรรทุก 4 ล้อ ช่วยให้ประหยัดต้นทุนมากที่สุด อีกทั้งในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถพิจารณาเงื่อนไขเพิ่มเติมในการแก้ไขปัญหา เช่น พิจารณาเงื่อนไขเพื่อให้รองรับการให้ความช่วยเหลือแบบเร่งด่วน พิจารณาการเคลื่อนย้ายผู้ประสบภัยและสิ่งของบรรเทาทุกข์ด้วยเรือกรณีน้ำท่วมสูงจนรถบรรทุกไม่สามารถวิ่งได้ และการพิจารณาต้นทุนการสร้างศูนย์พักพิงชั่วคราว ทั้งนี้หากปัญหากำหนดวัตถุประสงค์หลายอย่างนอกเหนือจากต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด สามารถพัฒนาตัวแบบโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Humanitarian Logistics Model) ในการแก้ปัญหาได้ และหากพารามิเตอร์ของปัญหาไม่ทราบค่าแน่นอนหรือไม่สามารถหาค่าที่แน่นอนได้ สามารถพัฒนาตัวแบบสโตแคสติก (Stochastic Model) ในการแก้ปัญหาได้ เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทรัพยากรธรณี, “แนวทางการลดความเสี่ยงภัยสึนามิของประเทศไทย,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.dmr.go.th. [วันที่เข้าถึง 1 มีนาคม 2566].
- [2] วีรชัย อุสมนบุรี และ ชารัทศน์ โมกขมรรคกุล, “การศึกษาพัฒนาการด้านโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมในประเทศไทย,” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.
- [3] P. Trunick, “Special report: delivering relief to tsunami victims,” *Logistics Today*, vol. 46, no. 2, pp. 1-3, 2005.
- [4] L. N. V. Wassenhove, “Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, no. 5, pp. 475-489, 2006.
- [5] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, “แนวทางการเตรียมความพร้อมรับมืออุทกภัย,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://122.155.1.141/inner.PRDP/M2.53/cms/menu_6284/4119.1/. [วันที่เข้าถึง 1 ธันวาคม 2565].
- [6] S. Bhimani and J. S. Song, “Gaps between research and practice in humanitarian logistics,” *Journal of Applied Business Economics*, vol. 18, no. 1, 2016.
- [7] T. Wakolbinger, F. Toyasaki, M. Christopher and P. Tatham, “Impacts of funding systems on humanitarian operations,” in *Humanitarian logistics: meeting the challenge of preparing for and responding to disasters*, London, Kogan Page, 2011.
- [8] คมสัน โสมณวัตร, “ระบบการจัดการโลจิสติกส์เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย กรณีศึกษา อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี,” *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, น. 164-172, 2559.
- [9] S. Gupta, N. Altay and Z. Luo, “Big data in humanitarian supply chain management: a review and further research directions,” *Annals of Operations Research*, pp. 1-21, 2017.
- [10] T. E. Russell, “The humanitarian relief supply chain: analysis of the 2004 South East Asia earthquake and tsunami,” Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [11] B. Render, R. Stair and M. E. Hanna, *Quantitative Analysis for Management*, Prentice Hall: New Jersey. 2012.

- [12] N. Cotes and V. Cantillo, "Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics," *Socio-Economic Planning Sciences.*, vol. 65, pp. 89-100, 2019.
- [13] A. J. Bozorgi-Amiri, M. Saeed and S. M. Al-e-Hashem, "A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty," *OR Spectrum.*, vol. 35, no. 4, pp. 905-933, 2013.
- [14] O. Rodríguez-Espindola, P. Albores and C. Brewster, "Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods," *European Journal of Operational Research.*, vol. 264, no. 3, pp. 978-993, 2018.
- [15] ไพโรจน์ แสนดี, อนันท์ชัย ชำนาญหม่อ และ สุนาริน จันทะ, "การศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตราย เมื่อระดับน้ำสูงกรณีศึกษา: ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี," *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา.*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, 2557.
- [16] ปุณยภา สุทธิจำนงค์ และ สุนาริน จันทะ, "การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในการอพยพเมื่อเกิดอุทกภัย โดยการพิจารณาประเภทของผู้ประสบภัย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2, 2560.
- [17] เกริก วงศ์ลือชา, ฐิติพงศ์ จำรัส, ชุติพร กุศลคุ้ม และ ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์, "การพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนเส้นทางช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย กรณีศึกษาอุทกภัยในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดจากพายุโพดุลและคาจิกิใน ปี พ. ศ. 2562," *วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา).*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 3, น. 110-126, 2565.
- [18] จีระพงศ์ ทองพันธ์, "การพัฒนาอัลกอริทึมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายคลังสินค้าที่มีรอบเวลาไม่แน่นอนสำหรับจัดการภัยพิบัติทางน้ำ," สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพมหานคร, 2557.
- [19] ธนาภา ควรดวงศักดิ์ และ สรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย, "การพัฒนาฮิวริสติกส์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ ณ เวลาที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไป," *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 99, 2560.
- [20] กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย, "ข้อมูลพื้นที่เสี่ยงสาธารณภัย จังหวัดมหาสารคาม," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://opendata_tst.dopa.go.th/download.php?cid=3&page=1. [สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2565].
- [21] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, "แผน ปก. จ.มหาสารคามปรับปรุง 2563," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.disaster.go.th/th/download/download/25>. [สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2566].
- [22] บริษัท จิซทิกซ์ จำกัด, "อัตราค่าบริการขนส่ง," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://giztix.com/pricing>. [สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2566].
- [23] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, "คู่มือเครื่องจักรกลสาธารณภัยสำหรับผู้บริหาร," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://measures.disaster.go.th/inner.citeta-1.189/download/menu_6240/2074.3/. [สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2566].