วารสารวิชาการ
อุตสาหกรรมศึกษา

URL : http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/issue/archive

การศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายเมื่อระดับน้ำสูง กรณีศึกษา: ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

A Study on Vehicle Routing for Flooding Evacuation at High Water Level: A case study of Ladsawai Sub-District, Lumlukka District, Pathumthani Province

ไพโรจน์ แสนดี, อนันทชัย ชำนาญหมอ, และสุนาริน จันทะ

Phairod Sandee, Ananthachai Chamnanmoh, and Sunarin Chanta

ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
129 หมู่ 21 เนินหอม เมือง ปราจีนบุรี 25230

Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
129 129 M.21 Noenhom, Maung, Prachinburi 25230

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเส้นทางการเดินรถในการการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายเมื่อระดับน้ำสูงในระดับที่ไม่สามารถใช้รถยนต์ส่วนบุคคลในการอพยพได้ ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้รถที่มีขนาดสูงเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย ทำการหาเส้นทางที่เป็นคำตอบโดยใช้วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง (Cluster-First Route-Second) และวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด(Saving Algorithm) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เส้นทางการเดินรถที่มีระยะทางในการอพยพรวมต่ำที่สุด พื้นที่กรณีศึกษาคัดเลือกมาจากบริเวณที่มีปัญหาน้ำท่วมรุนแรงในปี 2554 ได้แก่ ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีจำนวนประชากร 46,921 คน โดยสัดส่วนของผู้อพยพคิดเป็น 10% ของจำนวนประชากร แบ่งโซนในการอพยพออกเป็น 6 โซน ตามถนนสายหลักที่สามารถเชื่อมต่อไปยังสถานที่ปลอดภัย ในการขนย้ายผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย ทำโดยใช้รถจีเอ็มซี 1 คันต่อโซน ผลการศึกษาพบว่า เส้นทางที่ได้จากวิธี Cluster-First Route-Second มีระยะทางรวม 1,442.73 กิโลเมตร ส่วนเส้นทางที่ได้จากวิธี Saving Algorithm มีระยะทางรวม 909.39 กิโลเมตร

คำสำคัญ: *ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถ, วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทางวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด, อุทกภัย*

ไพโรจน์ แสนดี, อนันทชัย ชำนาญหมอ, และสุนาริน จันทะ
วารสารวิชาการอุตสาฟหกรรมศึกษา ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2557 (61-71)

Abstract

This research was a study to vehicle routing problem for evacuating the flood victims out of the affected area when the water level is high, at which personal cars cannot be used. In this situation, only special high vehicle was needed for driving through flooded roadway to evacuate the people out of the hazard area. The vehicle route was investigated based on the two methods, which are Cluster-First Route-Second and Saving Algorithm. The objective is to minimize total traveled distance. A case study was selected based on the severe flooding areas in 2011, Ladsawai Sub-District, Lumlukka District, Pathumthani Province with a total population of 46, 921 people. The number of evacuees is fixed at 10% of the total population. We divided the area into 6 zones, based on the main road connected to safe places. The GMC is selected for transport evacuees out of the affected area, using 1 vehicle per zone. The result showed that Cluster-First Route-Second yielded total distance of 1,442.73 km. while Saving Algorithm yielded total distance of 909.39 km.

Keywords: *vehicle routing problem, cluster-first route-second, saving algorithm, flood disaste*

บทนำ

สภาวะที่ถือว่าเป็นวิกฤตชาติในปีพุทธศักราช 2554 นี้ คือ ปัญหาน้ำท่วม ที่นับปีจะทวีความรุนแรงมากขึ้น อันเกิดจากภาวะฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคกลางตอนล่าง ภาคตะวันออก และภาคใต้ นอกจากจะส่งผลให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน และน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมบ้านเรือนและพื้นที่การเกษตร ยังสร้างความเดือดร้อนให้กับประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ประสบอุทกภัย การเลือกเส้นทางในการขนส่งเพื่อขนส่งประชาชนออกจากพื้นที่นั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก การจัดหาเส้นทางเดินรถในการหลบหนีก็ทำได้ยากเช่นกัน โดยเฉพาะในกรณีที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ผู้ประสบภัยไม่สามารถอพยพหลบหนีออกไปได้ด้วยตัวเอง การอพยพจำเป็นต้องอาศัยยานพาหนะที่มีความสูง เช่น รถจีเอ็มซีของทหาร หรือเรือ จึงจะสามารถใช้สัญจรเดินทางในสภาวะอุทกภัยได้อย่างปลอดภัย

ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงสนใจปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในการหลบหนีเมื่อเกิดอุทกภัยในกรณีที่ระดับน้ำเพิ่มสูง โดยเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบแบบวิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง (Cluster-First Route-Second) และวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด (Saving Algorithm) เพื่อหาแนวทางการกำหนดเส้นทางเดินรถ ในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายไปยังจุดปลอดภัย ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และปลอดภัย พื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่อุทกภัยในเขตตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขนส่งในหลายรูปแบบ เช่น ปัญหากระจายสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า การขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งผลิตเข้าไปยังโรงงาน การการวางเส้นทางการรับส่งนักเรียนของรถโรงเรียน เป็นต้น วิธีการแก้ปัญหาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของคำตอบที่ได้ ได้แก่ 1) วิธีแม่นตรง(Exact Method) หรือวิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด(Optimization) เป็นวิธีการหาคำตอบที่อาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด(Optimal Solution) โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบของกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ตัวแปรตัดสินใจ ได้แก่ เส้นทางในแต่ละจุด มีค่าเป็นจำนวนเต็ม ในที่นี้คือ ค่า 0 หรือ 1 วิธีการแก้ปัญหาประเภทนี้ ได้แก่ วิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต(Branch and Bound) แต่มีข้อจำกัดในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ จะใช้เวลาในการหาคำตอบนาน 2) วิธีฮิวริสติกส์(Heuristics) เป็นวิธีการหาคำตอบที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา

เพื่อหาคำตอบ แต่คำตอบที่ได้ไม่สามารถแน่ใจว่าจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เป็นเพียงคำตอบที่มีค่าใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น แต่ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถหาคำตอบได้รวดเร็ว สามารถใช้กับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น วิธี Saving Algorithm, วิธี Sweep Method, วิธี Cluster-First Route-Second, และวิธี Route-First Cluster-Second ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธี Saving Algorithm กับ Cluster-First Route-Second เพื่อแก้ปัญหาเส้นทางเดินรถ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เข้าใจง่าย สามารถใช้กับปัญหาที่มีจุดขนส่งจำนวนมากได้

1. ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Dantzig and Ramser, 1960) มีรูปแบบดังนี้

สัญลักษณ์และดัชนี

n แทนจำนวนจุดรับผู้ประสบภัย

p แทนจำนวนรถขนส่งทั้งหมดที่มี

i, j แทนจุดรับผู้ประสบภัย โดย i, j = 1, 2, ..., n โดยที่ i,j = 0 แทนจุดปลอดภัยหรือจุดส่งผู้อพยพ

k แทนรถคันที่ k โดย k=1, 2, ..., p

พารามิเตอร์

Cij แทนระยะทางระหว่างจุดรับหรือส่งที่ i ไปยัง j

q_i แทนจำนวนผู้อพยพในจุดรับที่ i

Q แทนความสามารถในการบรรทุกของพาหนะ

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ij}^k

เท่ากับ 1 ถ้ารถคันที่ k วิ่งจากจุด i ไปยังจุด j

เท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} c_{ij}x_{ij}^k \quad (1)$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{k=1}^{p}\sum_{i=0}^{n} x_{ij}^k = 1, \quad \forall j \in \{1,\dots,n\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{p}\sum_{j=0}^{n} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in \{1,\dots,n\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{ij}^k - \sum_{i=0}^{n} x_{ji}^k = 0, \quad \forall j \in \{1,\dots,n\}, \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^{n} q_j\left(\sum_{i=0}^{n} x_{ij}^k\right) \le Q, \quad \forall k \in \{1,\dots,p\} \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^{n} x_{0j}^k \le 1, \quad \forall k \in \{1,\dots,p\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{i0}^k \le 1, \quad \forall k \in \{1,\dots,p\} \quad (7)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad (8)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) ต้องการหาเส้นทางการเดินทางรถที่ทำให้ผลรวมของระยะทางรวมของการเดินรถทุกจุดมีค่าน้อยที่สุด เงื่อนไขที่ (2) และ (3) กำหนดให้ผู้อพยพแต่ละจุดได้รับการบริการจากรถเพียงคันเดียวเท่านั้น เงื่อนไขที่ (4) กำหนดให้รถแต่ละคันเข้าไปยังจุดผู้อพยพและออกจากจุดรับนั้นไปยังจุดต่อไป เงื่อนไขที่ (5) กำหนดให้รถทุกคันสามารถบรรทุกผู้อพยพได้ไม่เกินความจุของรถ เงื่อนไขที่ (6) และ (7) กำหนดให้รถขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น เงื่อนไขที่ (8) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นไปได้เฉพาะ 0 หรือ 1 เท่านั้น

2. วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง (Cluster-First Route-Second)

วิธีการนี้แบ่งการหาคำตอบเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกจะทำการจัดกลุ่มจุดรับประชากรให้กับยานพาหนะก่อน จากนั้นทำการค้นหาเส้นทางเดินรถเพื่อรับส่งประชากรทั้งหมดภายในกลุ่มนั้น ๆ เป็นวิธีที่สามารถใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การจัดกลุ่มจุดรับประชากร (Clustering)

ก) แบ่งกลุ่มของการอพยพออกเป็นพื้นที่ย่อยหรือโซน (Zone) ตามลักษณะภูมิประเทศของตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี โดยแต่ละโซนจะมี

1 จุดปลอดภัย จุดปลอดภัยนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทางออก เนื่องจากเป็นจุดปลายทางที่รถจะนำผู้ประสบภัยออกมาส่ง

ข) กำหนดจุดรับส่งผู้ประสบภัย โดยพิจารณาจากความหนาแน่นของประชากรในแต่ละหมู่บ้าน โดยต้องการให้แต่ละจุดมีความหนาแน่นของประชากรไม่ต่างกันมากจนเกินไป เพื่อความรวดเร็วในการขนส่งผู้ประสบภัย ในแต่ละหมู่บ้านอาจจะประกอบด้วยจุดรับส่ง 1 หรือมากกว่า 1 จุดขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประชากร

ค) จัดเส้นทางอพยพของหมู่บ้านทั้ง 11 หมู่บ้านไปยังทางออกในแต่ละโซน โดยจัดให้แต่ละหมู่บ้านอพยพไปทางออกที่อยู่ใกล้ที่สุด จะได้ว่าหมู่บ้านใดควรอพยพไปทางออกใด

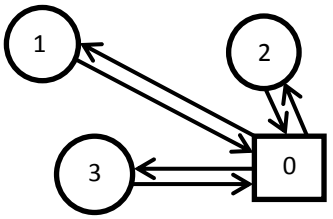
2.2 การจัดเส้นทางเดินรถรับส่งประชากร (Routing)

เมื่อได้กลุ่มจุดรับประชากรให้กับรถขนส่งประชากรแล้ว จากนั้นทำการค้นหาเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมที่สุดภายในกลุ่มที่แบ่งไว้ในขั้นแรก โดยใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด(Nearest Neighbor) โดยเริ่มที่จุดจอดรถ กระบวนการนี้จะรับประชากรในจุดที่ใกล้ที่สุดก่อน และจะเดินทางรับประชากรเพิ่มโดยรับประชากรที่อาศัยอยู่ใกล้จุดที่รับประชากรครั้งล่าสุด จนกว่าจะรับประชากรครบทุกจุดรับ จึงนำประชากรไปส่งยังจุดทางออกหรือจุดจอดรถเริ่มต้น

3. วิธีการเปรียบเทียบการประหยัด (Saving Algorithm)

เป็นวิธีที่ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้หากมีการรวมจุดรับส่งมากกว่า 1 จุดไว้ในเส้นทางเดียวกัน(Clarke และ Wright, 1964) มีขั้นตอนในการหาคำตอบง่ายไม่ซับซ้อน เป็นวิธีที่มีผู้นิยมนำมาใช้บ่อยครั้ง ในปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลาง มีขั้นตอนการหาคำตอบดังต่อไปนี้

สร้างคำตอบเริ่มต้น(Initial Solution) โดยการกำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีการรับผู้ประสบภัยเพียง 1 จุดรับเท่านั้น ดังนั้นเราจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนจุดรับผู้ประสบภัยทั้งหมด ตัวอย่างเช่น หากต้องการเคลื่อนย้ายผู้ประสบภัย จากพื้นที่ประสบภัยซึ่งมีจุดรับ 3 จุด เพื่อไปยังจุดปลอดภัยเดียวกัน คำตอบเบื้องต้น คือ มีเส้นทางการเดินรถ 3 เส้นทาง ดังรูป



ข) คำนวณค่าความประหยัดของระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งผู้ประสบภัยที่เกิดจากการรวมเส้นทาง กำหนดให้

S_{i-j} แทนค่าความประหยัดของระยะทางในการขนส่งผู้ประสบภัยระหว่างจุด i และจุด j

C_{i-EXIT} แทนระยะทางในการขนส่งผู้ประสบภัยจากจุด i ไปยังทางออก(EXIT) ในที่นี้คือจุดปลอดภัย

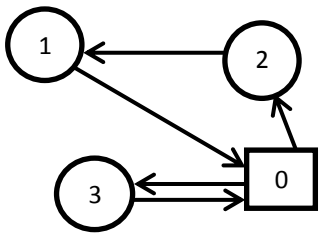
C_{EXIT-j} แทนระยะทางในการเดินรถจากทางออก (EXIT) ไปยังลูกค้า j

C_{i-j} แทนระยะทางในการขนส่งผู้ประสบภัยจากจุด i ไปยังจุด j

ค่าความประหยัดสามารถคำนวณได้ตามสมการนี้

$$S_{i-j} = C_{i-EXIT} + C_{EXIT-j} - C_{i-j}$$

จากตัวอย่างในข้อ ก) หากต้องการพิจารณารวมเส้นทางที่จุดรับ 1 และ จุดรับ 2 เข้าด้วยกัน แล้ว เราจะได้ค่าความประหยัดเท่ากับ $S_{1-2} = C_{1-EXIT} + C_{EXIT-2} - C_{12}$ แสดงว่าหากมีการรวมเส้นทางสองจุดรับนี้จะประหยัดได้จากเดิมที่มีการแยกเส้นทางลงเท่ากับ S_{1-2} ดังรูป



อย่างไรก็ตาม อาจมีการรวมเส้นทางอื่นที่มีค่าความประหยัดสูงกว่า ดังนั้นจึงต้องพิจารณาทุกกรณีที่เป็นไปได้

ค) เรียงลำดับค่าความประหยัด S_{i-j} จากมากไปหาน้อย

ง) รวมเส้นทางของการรับผู้ประสบภัยจากจุดรับ i และจุดรับ j ที่มีค่าความประหยัดสูงสุดให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน

จ) ทำซ้ำจนกระทั่งจัดเส้นทางเดินรถได้ครอบคลุมประชากรทั้งหมด โดยที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดในการเดินทางว่าจำนวนประชากรจะต้องไม่เกินความจุของรถ และหรือต้องใช้เวลาในการเดินทางไม่เกินระยะเวลาที่กำหนด

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธารชุดา และคณะ (2554) ศึกษาการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มของโรงงานกรณีศึกษาไปยังลูกค้า โดยการสร้างแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ(VRP) และใช้โปรแกรม LINGO ในการหาคำตอบ ใช้เวลาในการประมวลผล 19 ชั่วโมง โดยสามารถลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งลงได้ 1 เที่ยวต่อวัน และลดระยะทางรวมในการขนส่งจากเดิมวันละ 180.01 กิโลเมตร เหลือ 143.39 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลง 20.34 %

บุริม และพงษ์ชัย (2550) นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล ที่เกิดจากการวางแผนการใช้รถบรรทุกที่ไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้รถมาถึงโรงงานพร้อมกัน เกิดการรอคอย สูญเสียโอกาสในการใช้งานรถบรรทุก จึงทำการหาแนวทางในการกำหนดเส้นทางเดินรถ(VRP) ในพื้นที่ตัวอย่าง โดยใช้วิธี Saving Algorithm ในการหาคำตอบ และใช้โปรแกรม Excel ในการประมวลผล พบว่าเมื่อเทียบระยะทางกับการวางแผนเส้นทางการวิ่งที่ได้จากการกำหนดแบบสุ่มสามารถลดระยะทางลงได้ โดยมีประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น 15%

กวี (2550) ศึกษาการหาจำนวนรถที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งในธุรกิจค้าปลีก กรณีศึกษาท็อปซุปเปอร์มาเก็ต โดยพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาในการขนส่ง โดยใช้วิธี Branch-and-Bound และวิธี Saving Algorithm ในการหาคำตอบ ผลการวิจัยพบว่าจำนวนรถที่เหมาะสมเท่ากับ 59 คัน โดยสามารถประหยัดค่าขนส่งลงได้คิดเป็น 4.22% ต่อปี

พัฒนพงษ์ (2552) ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการให้บริการรถขนส่งสินค้าของโรงงานประกอบรถยนต์สำเร็จรูป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้มีระยะทางขนส่งรวมสั้นที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของความต้องการสินค้าและขนาดความจุบรรทุกของรถ ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure(GRASP) เพื่อค้นหา คำตอบที่ได้สามารถลดระยะทางเดินรถขนส่งวัตถุดิบจากเดิม 7,452 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 3,723 กิโลเมตรต่อวัน หรือลดลงเท่ากับ 50.04%

นิศาชลและวลัยลักษณ์ (2551) ได้นำรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถไปประยุกต์ใช้ในหาเส้นทางการขนส่งนมพาสเจอร์ไรส์ของสหกรณ์โคนมหนองโพ ราชบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางขนส่ง นำวิธี Saving Algorithm และวิธี Tabu Search มาใช้ในการหาคำตอบ ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดระยะทางลงจากเดิมคิดเป็น 26.5% และ 19.8% ตามลำดับ

ขั้นตอนการดำเนินการ

มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่างๆ
2. ศึกษาพื้นที่กรณีศึกษา รวบรวม และเก็บข้อมูลด้านระยะทางและจำนวนประชากร
3. กำหนดจุดรับส่งประชากร โดยจุดรับได้แก่ บริเวณพื้นที่ประสบภัย จุดส่งได้แก่ บริเวณทางออกไปสู่พื้นที่ปลอดภัย
4. ใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถได้แก่ วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง (Cluster-First Route-Second) และวิธีการเปรียบเทียบประหยัด (Saving Algorithm)
5. เปรียบเทียบและสรุปผลจากการหาคำตอบจากทั้งสองวิธี

โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของทั้ง 2 วิธี และเลือกวิธีที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด มีการคำนวณค่าใช้จ่ายรวม ดังนี้ ค่าใช้จ่าย = ค่าเชื้อเพลิงต่อกิโลเมตร (บาท) x ระยะทางการขนส่งรวม (กิโลเมตร)

ผลการวิจัย

1. ลักษณะของพื้นที่

ตำบลลาดสวาย มีพื้นที่ 30.792 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในเขตอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี ประกอบด้วยหมู่บ้านทั้งหมด 11 หมู่บ้าน จำนวนประชากรทั้งสิ้น 46,921 คน เพศชาย 21,836 คน และ

เพศหญิง 25,085 คน จำนวนประชากรจำแนกตามหมู่บ้านแสดงในตารางที่ 1 (เทศบาลเมืองลาดสวาย, 2552) ตำบลลาสวายเป็นพื้นที่ต่ำ จึงเสี่ยงต่อการประสบอุทกภัย จากวิกฤติอุทกภัยในปี 2554 ประสบปัญหาน้ำท่วมที่ระดับสูง ประมาณ 1-1.5 เมตรนานกว่า 2 เดือน ด้วยเหตุนี้จึงถูกเลือกมาเป็นกรณีศึกษา

2. วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง (Cluster-First Route-Second)

2.1 การจัดกลุ่มของจุดรับประชากร (Clustering)

แบ่งกลุ่มของการอพยพออกเป็นพื้นที่ย่อยหรือโซน (zone) โดยกำหนดให้มีทั้งหมด 6 โซน ตามลักษณะภูมิประเทศ โดยโซนที่ 1 ประกอบด้วย หมู่ที่ 8,9 โซนที่ 2 ประกอบด้วยหมู่ที่ 7,4 โซนที่ 3 ประกอบด้วยหมู่ที่ 11,3 โซนที่ 4 ประกอบด้วยหมู่ที่ 10 โซนที่ 5 ประกอบด้วยหมู่ที่ 6,5 และโซนที่ 6 ประกอบด้วย หมู่ที่ 1,2 แต่ละโซนจะมีจุดปลอดภัยโซนละ 1 จุด หากหมู่บ้านอยู่ใกล้จุดปลอดภัยในโซนใดก็จะถูกกำหนดให้อพยพไปยังทางออกในโซนนั้น โดยจุดปลอดภัยนี้เป็นจุดตัดของถนนสายหลักที่อยู่โดยรอบบริเวณพื้นที่ประสบภัย จุดปลอดภัยนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าทางออก เนื่องจากเป็นจุดปลายทางที่รถจะนำผู้ประสบภัยออกมาส่ง รายละเอียดของทางออกในแต่ละโซน มีดังนี้

ก) โซน 1: ทางออกที่ 1 อยู่ที่พิกัด 13.932039, 100.662813 ทางหลวงหมายเลข 3312 ถนนลำลูกกา

ข) โซน 2: ทางออกที่ 2 อยู่ที่พิกัด 13.932687, 100.682594 ทางหลวงหมายเลข 3312 Big C Extra ลาดสวาย ถนนลำลูกกา

ค) โซน 3: ทางออกที่ 3 อยู่ที่พิกัด 13.933724, 100.705993 ทางหลวงหมายเลข 3312 ถนนลำลูกกาแยกไปถนนวงแหวน-รอบนอก

ง) โซน 4: ทางออกที่ 4 อยู่ที่พิกัด 13.97986, 100.666886 วรางกูล วิลเลจ ถนนชลมาร์ค พิจารณ์ ถนนเลียบคลองสามฝั่งตะวันออก

จ) โซน 5: ทางออกที่ 5 อยู่ที่พิกัด 13.983462, 100.688318 ถนนวัดกลางคลองสี่

ฉ) โซน 6: ทางออกที่ 6 อยู่ที่พิกัด 13.988688, 100.70583 ถนนเลียบคลองห้าฝั่งตะวันออก

กำหนดให้แต่ละหมู่บ้านมีจุดรับย่อยรวมทั้งสิ้น 35 จุด พิจารณาจากความหนาแน่นของประชากรในแต่ละหมู่บ้าน โดยต้องการให้แต่ละจุดมีความหนาแน่นของประชากรไม่ต่างกันมากจนเกินไป เพื่อความรวดเร็วในการขนส่งผู้ประสบภัย และกำหนดให้สัดส่วนของจำนวนผู้อพยพในแต่ละหมู่บ้านเป็น 10% ของจำนวนประชากร สัดส่วนนี้ประมาณจากการลงพื้นที่สอบถามประชากรในตำบลลาดสวาย (ศุภนิช และคณะ, 2556) เช่น ในหมู่บ้านที่ 1 มีประชากร 753 คน สัดส่วนของประชากรที่ต้องการอพยพ เมื่อระดับน้ำสูงที่ 10% คิดเป็น75 คน ดังนั้นกำหนดให้มีจุดรับ 1 จุด ในขณะที่หมู่บ้านที่ 3 มีประชากร 2,911 คน สัดส่วนของประชากรที่ต้องการอพยพที่ 10% คิดเป็น 291 คน เนื่องจากผู้อพยพมีจำนวนมาก จึงกำหนดให้มีจุดรับ 3 จุด โดยจำนวนผู้อพยพที่ต้องรับเฉลี่ยในแต่ละจุดเป็น 97 คน ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของจำนวนประชากร จำนวนผู้อพยพ จำนวนจุดรับประชากรในแต่ละหมู่บ้าน

ทำการจัดให้แต่ละหมู่บ้านอพยพไปทางออกที่อยู่ใกล้ที่สุด ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งจุดรับในแต่ละหมู่บ้านและขอบเขตของการแบ่งโซน สัญลักษณ์ 8[22] หมายถึง จุดรับส่งย่อยที่ 22 ซึ่งอยู่ในเขตหมู่บ้านที่ 8

2.2 การจัดเส้นทางเดินรถรับส่งประชากร (Routing)

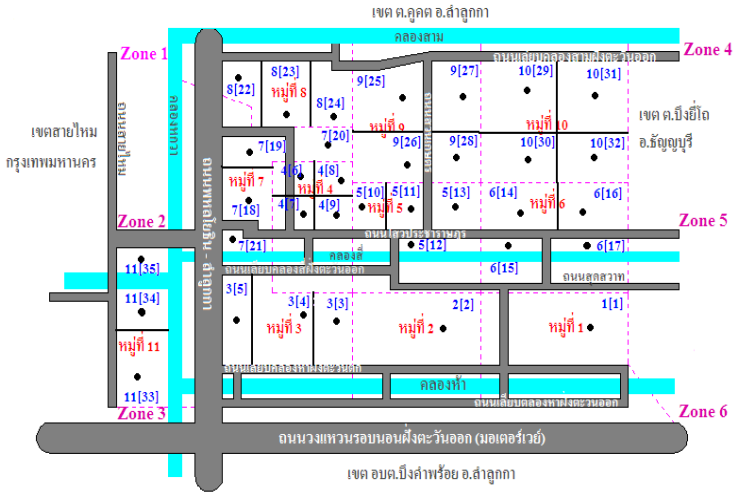
เมื่อได้กำหนดจุดรับประชากรในแต่ละโซนแล้ว จากนั้นทำการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดให้กับรถขนส่งโดยใช้วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด เช่น โซน 1 มีจุดย่อย ที่รับส่งผู้ประสบภัย 7 จุด ได้แก่ 8[22], 8[23], 8[24], 9[25], 9[26], 9[27], 9[28] จุดอพยพคือทางออกที่ 1 ได้แก่ บริเวณทางแยกถนน พหลโยธิน-ลำลูกกากับถนนทางเลียบคลองสามฝั่งตะวันออก วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่ใกล้ที่สุดกำหนดให้รับจุดที่อยู่ใกล้ทางออกก่อน

ดังนั้น จากการพิจารณาระยะทาง จุดที่ 8[22] อยู่ใกล้ทางออก 1 มากที่สุด จึงกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นในการรับผู้ประสบภัย จุดต่อไปวิเคราะห์ โดยดูจากระยะทางจากจุดปัจจุบันคือจุด 8[22]ไปยังจุดที่เหลือ พบว่า จุดที่ใกล้จุด 8[22] คือ จุด 8[23] ดังนั้นจุด 8[23] จึงเป็นจุดถัดไปในการรับส่งผู้ประสบภัย ทำต่อไปจนครบทุกจุดย่อย ได้เส้นทางเดินรถในแต่ละโซนแสดงในตารางที่ 2 โดยรอบรถที่ต้องการในแต่ละโซน คำนวณได้จาก

จำนวนเที่ยว = จำนวนประชากรเฉลี่ย/ความจุของรถ = 439.38/45 = 10 เที่ยว ทั้งนี้ กำหนดให้ความจุของรถที่ใช้ขนส่งเท่ากับ 45 คน หากกำหนดให้ราคาน้ำมันเป็น 10 บาทต่อกิโลเมตร ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าใช้จ่ายได้

ตารางที่ 1 การคำนวณจำนวนผู้อพยพโดยคิดเป็น 10 % ของจำนวนประชากร

หมู่ที่	จำนวนประชากร	จำนวนผู้อพยพ (10%)	จุดรับผู้อพยพ	จำนวนผู้อพยพเฉลี่ยต่อจุดรับ
1	753	75.30	1	75.30
2	712	71.20	1	71.20
3	2,911	291.10	3	97.03
4	9,289	928.90	4	232.22
5	10,368	1036.8	4	259.20
6	4,246	424.60	4	106.15
7	5,373	537.30	4	134.32
8	1,815	181.50	3	60.50
9	2,579	257.90	4	64.47
10	4,651	465.10	4	116.27
11	4,044	404.40	3	134.80



ภาพที่ 1 แสดงจุดรับในแต่ละหมู่บ้านและการแบ่งโซน

ที่มา: ปรับจาก แผนที่ ต.ลาดสวาย อ.ลำลูกกา จ. ปทุมธานี

3. วิธีการเปรียบเทียบการประหยัด (Saving Algorithm)

3.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

การสร้างคำตอบเริ่มต้นทำโดยกำหนดให้ 1 เส้นทางรับผู้อพยพ 1 จุด ดังนั้นจำนวนเส้นทางทั้งหมดเท่ากับจำนวนจุดรับ แต่หากพิจารณาจำนวนผู้อพยพเฉลี่ยในแต่ละจุดรับ จะพบว่าเกินความจุของรถขนส่งที่ 45 คนในทุกจุดรับ แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถอพยพได้ภายในคราวเดียว จึงกำหนดระยะเวลาในการอพยพ ซึ่งคำนวณได้จากจำนวนเที่ยวรถทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งผู้

อพยพออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยหารด้วยจำนวนเที่ยวที่วิ่งต่อวัน จากข้อมูลของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2554 รถรับส่งจะทำการเริ่มต้นวิ่งรับส่งในช่วงหลังเที่ยงและวิ่งรับผู้ประสบภัยวันละ 4 เที่ยว การคำนวณระยะเวลาอพยพในแต่ละโซนสามารถทำได้ดังนี้ เช่น โซนที่ 1 ซึ่งมีผู้อพยพเฉลี่ยรวม 439.38 คน ความสามารถในการบรรทุกเท่ากับ 45 คนต่อเที่ยว ดังนั้นจำนวนเที่ยวรถที่ต้องการเท่ากับ 439.38/45 = 9.5 หรือประมาณ 10 เที่ยว หากกำหนดให้รถวิ่งได้วันละ 4 เที่ยว จะต้องใช้เวลาในการอพยพเท่ากับ 10/4 = 2.5 หรือประมาณ 3 วันจึงจะขนส่งผู้ประสบภัยได้หมด ดังนั้นสามารถคำนวณหาจำนวนผู้อพยพในแต่ละจุดรับต่อวันต่อเที่ยวได้ ดังตารางที่ 3

3.2 การคำนวณค่าความประหยัด

ทำการรวมจุดรับส่งเข้าด้วยกัน ดังนั้นเริ่มต้นด้วยการรวม 2 จุดรับส่งเข้าเป็นเส้นทางเดียวกัน และคำนวณหาค่าความประหยัดที่เกิดขึ้นจากการรวมเส้นทาง จากนั้นจัดลำดับค่าความประหยัดที่เกิดขึ้น หากการรวมกันของจุดรับส่งใดมีค่าความประหยัดสูงสุดจะถูกจัดเส้นทางก่อนเป็นลำดับแรก จุดที่ถูกจัดเส้นทางลำดับถัดไปได้แก่จุดที่มีค่าความประหยัดรองลงไป โดยต้องยังไม่เป็นจุดรับส่งที่ถูกจัดไปแล้วก่อนหน้า และเมื่อรวมจุดรับแล้วจำนวนประชากรจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก หากพบว่าในแต่ละเส้นทางใดยังมีจำนวนประชากรไม่เกินจำนวนบรรทุก จะพิจารณารวมจุดรับส่งเพิ่มขึ้นเป็น 3 หรือ 4 จุดตามลำดับ โดยคำนวณค่าความประหยัดที่เกิดขึ้นจากการรวมจุด และจัดลำดับค่าความประหยัด จนสามารถจัดเส้นทางได้ครบทุกจุดรับส่ง ผลการจัดเส้นทางเดินรถโดยวิธีเปรียบเทียบค่าความประหยัด แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เส้นทางการเดินรถในแต่ละโซนจากวิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง

โซน	เส้นทางการเดินรถ	จำนวนผู้อพยพ(คน)	จำนวนเที่ยวที่ต้องเดินรถ	ระยะทางต่อ 1 เที่ยว (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	ทางออก 1-8[23]-9[26] -8[24] -9[25] -9[28]-8[22]-9[27]-ทางออก 1	439.38	10	16.50	1,650
2	ทางออก 2-7[20]-4[8]-7[21]-7[19]-7[18]-4[9]-4[6] -4[7]-ทางออก 2	1,466.16	33	23.49	7,751.7
3	ทางออก 3-3[5]-3[4]-3[3]-11[33]-11[35]-11[34]-ทางออก 3	695.49	16	15.85	2,536
4	ทางออก 4-10[29]-10[32]-10[30]-10[31]-ทางออก 4	465.08	11	1.99	218.90
5	ทางออก 5-5[10]-5[13]-5[12]-5[11]-6[16]-6[17]-6[14]-6[15]-ทางออก 5	1,461.40	33	5.89	1,943.70
6	ทางออก 6-2[2]-1[1]-ทางออก 6	146.50	3	10.90	327
	รวม	4,674.01	106	74.62	14,427.30

ตารางที่ 3 เส้นทางการเดินรถในแต่ละโซนจากวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด

โซน	เส้นทางการเดินรถ	จำนวนผู้อพยพ (คน)	ระยะเวลาอพยพ (วัน)	ระยะทางต่อ 1 เที่ยว (กิโลเมตร)	ระยะทางทั้งหมด (กม.)
1	ทางออก 1-9[27]-9[28]-ทางออก 1	44	3	19.95	59.85
	ทางออก 1-8[22]-9[25]-ทางออก 1	43			
	ทางออก 1-8[23]-8[24] -9[26]-ทางออก 1	64			
2	ทางออก 2-4[7]-4[8]-ทางออก 2	48	9	37.70	339.30
	ทางออก 2-7[18]-4[9]-ทางออก 2	39			
	ทางออก 2-7[19]-7[21]-ทางออก 2	30			
	ทางออก 2-7[20]-4[6]-ทางออก 2	39			
3	ทางออก 3-3[4]-ทางออก 3	35	4	52.2	208.80
	ทางออก 3-3[3]-ทางออก 3	35			
	ทางออก 3-11[35]-ทางออก 3	34			
	ทางออก 3-11[33]-11[34]-3[5]-ทางออก 3	75			
4	ทางออก 4-10[31]-ทางออก 4	39	4	7.20	28.8
	ทางออก 4-10[30]-ทางออก 4	39			
	ทางออก 4-10[32]-ทางออก 4	39			
	ทางออก 4-10[29]-ทางออก 4	39			
5	ทางออก 5-6[15]-6[14]-5[11]-ทางออก 5	53	9	27.96	251.64
	ทางออก 5-6[16]-6[17]-5[12]-ทางออก 5	53			
	ทางออก 5-5[13]-5[10]-ทางออก 5	58			
6	ทางออก 6-1[1]-ทางออก 6	75	1	21	21
	ทางออก 6-2[2]-ทางออก 6	71			
	รวม	979	30	166.01	909.39

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มและวิธีการเปรียบเทียบแบบประหยัด

ลำดับโซน (Zone)	วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่ม (Cluster – First Route-Second)			วิธีการเปรียบเทียบการประหยัด (Saving Algorithm)		
	เที่ยวรถ (รอบ)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	เที่ยวรถ (รอบ)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	10	16.50	1,815	9	59.85	598.50
2	33	23.49	8,691.30	36	339.30	3,393.00
3	16	15.85	2,694.50	24	208.80	2,088.00
4	11	1.99	238.80	16	28.80	288.00
5	33	5.89	2,179.30	27	251.64	2516.40
6	3	10.90	436	2	21.00	210.00
รวม	106	74.62	14,427.30	114	909.39	9,093.90

สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์หารูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตราย เมื่อระดับน้ำสูง เพื่อขนส่งผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่ประสบภัยไปยังจุดปลอดภัย โดยศึกษาจากบริเวณที่มีปัญหาน้ำท่วมอย่างรุนแรงในปี 2554 ได้แก่ ตำบลวาดสวาย อำเภอลำลำกา จังหวัดปทุมธานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาเส้นทางเดินรถขนส่งที่ใช้ระยะทางในการอพยพรวมต่ำที่สุดหรือมีค่าใช้จ่ายในการอพยพรวมต่ำที่สุด โดยในที่นี้กำหนดให้ค่าใช้จ่ายแปรผันตรงกับระยะทาง ทำการหาคำตอบจาก 2 วิธี เปรียบเทียบกัน ได้แก่ วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง (Cluster - First Route - Second) และวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด (Saving Algorithm) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด ให้เส้นทางการอพยพที่มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 9,093.90 บาท ในขณะที่วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง ให้เส้นทางการอพยพที่มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 14,427.30 บาทโดยวิธีการเปรียบเทียบการประหยัด สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่มก่อนจัดเส้นทาง ได้เท่ากับ 5,333.40 บาท ซึ่งรายละเอียดดังตารางที่ 4

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยการศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตราย เมื่อระดับน้ำสูง การหาคำตอบจากทั้ง 2 วิธี ได้แก่ วิธี Saving Algorithm และวิธี Cluster-First Route-Second มีข้อจำกัดเรื่อง รถจีเอ็มซีที่ใช้ในการบรรทุกประชากรออกจากพื้นที่ การกำหนดความสามารถในการบรรทุก และจำนวนรถบรรทุก มีผลทำให้คำตอบที่ได้อาจมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะวิธี Saving Algorithm นอกจากจะทราบความสามารถในการบรรทุกที่แน่นอนแล้ว ยังต้องใช้เวลาในการคำนวณหาค่าประหยัดแต่วิธีนี้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่งของแต่ละเส้นทาง และเลือกเส้นทางที่ประหยัดที่สุด ดังนั้นจึงให้ผลลัพธ์เป็นเส้นทางที่ประหยัดได้สูงสุดในขณะที่วิธี Cluster-First Route-Second มีขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ และเส้นทางที่ง่าย และคำตอบที่ได้ยืดหยุ่นกับความสามารถในการบรรทุก แต่ไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายจึงทำให้ได้เส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Saving Algorithm

แนวทางของการวิจัยในอนาคต หากมีการนำไปใช้กับกรณีศึกษาอื่น ควรมีการคำนวณหาระดับน้ำเพิ่มเติม เพราะพื้นที่น้ำท่วมแต่ละพื้นที่ มีระดับน้ำท่วมสูงไม่เท่ากัน ดังนั้น ชนิดของยานพาหนะที่ทำการขนส่งผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่จึงอาจต่างกัน ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของน้ำในพื้นที่ประสบภัยแต่ละแห่ง

บรรณานุกรม

กวี ศรีเมือง. (2550). การหาจำนวนรถบรรรทุกที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าในธุรกิจค้าปลีก กรณีศึกษาท็อปซุปเปอร์มาเก็ต. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (โยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เทศบาลเมืองลาดสวาย. (2552). ข้อมูลจำนวนประชากรตำบลลาดสวาย จำแนกตามหมู่บ้านและเพศ.

เทศบาลเมืองลาดสวาย. (2556). แผนที่ตำบลลาดสวาย จำแนกตามหมู่บ้าน.

ธารชุดา พันธ์นิกุล, กนกอร โรหิตะ, และรุ่งฤดี บัวศรียอด. (2554). *การลดต้นทุนในการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา: โรงงานอุบลควาริส จ.อุบลราชธานี.* การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ. 8-9 กันยายน.

นิศาชล วิจารณ์วงศ์ และวลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์. (2551). *การพัฒนาระบบจัดเส้นทางการขนส่งนมพาสเจอร์ไลส์ในโครงการอาหารเสริม(นม) ของสหกรณ์โคนมหนองโพราชบุรี จำกัด (ในพระบรมราชูปถัมภ์).* การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ. 24-25 กรกฎาคม.

บุริม นิลแป้น และพงษ์ชัย จิตตะมัย. (2550). *การวางแผนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพ.* การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. 24-26 ตุลาคม.

พัฒนพงษ์ สุหญ้านาง. (2552). *การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมในระบบมิลค์รัน*. สารนิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศุภณิช แสนวิเศษ และเสาวนีย์ พลเดช. (2555). *การศึกษาพฤติกรรมของผู้ประสบภัยน้ำท่วมและวางแผนการขนส่งผู้ประสบภัยออกไปยังจุดปลอดภัย*. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (การจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Clarke, G. and Wright, J. (1964). *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*. Operations Research.12(4): 568-581.

Dantzig, G.B.; Ramser, J.H. (1960). *The Truck Dispatching Problem*. Management Science 6 (1): 80-91.