วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 ก.ย.–ธ.ค. 2559
The Journal of KMUTNB., Vol. 26, No. 3, Sep.–Dec. 2016

บทความวิจัย

การออกแบบโครงข่ายสัญจรสาธารณะโดยตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ: กรณีศึกษาจังหวัดนนทบุรี

อรอุไร แสงสว่าง*

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-3721-7300 ต่อ 7086 อีเมล: ornurai.s@fitm.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.01.002
รับเมื่อ 10 สิงหาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 6 มกราคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 13 กรกฎาคม 2559
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบโครงข่ายสัญจรสาธารณะในสภาวะน้ำท่วม และกำหนดสถานีสำหรับยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์บรรทุกยูนิม็อก (Unimog Truck) ของกองทัพบก เพื่อรับส่งประชาชนในสภาวะอุทกภัยในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี ในสภาวะน้ำท่วมสูง รถยนต์ขนาดเล็กไม่สามารถสัญจรผ่านถนนสายหลักได้ จำเป็นต้องอาศัยยานพาหนะขนาดใหญ่หรือรถบรรทุกของกองทัพบก ขณะที่ยานพาหนะขนาดใหญ่ที่ภาครัฐจัดเตรียมเพื่อบรรเทาความเดือดร้อนยังไม่มีการกำหนดสถานีรับส่งและเส้นทางการเดินทางที่แน่นอน ทำให้ผู้ประสบอุทกภัยใช้เวลารอคอยนาน ค่าใช้จ่ายในการเดินทางสูง ตลอดทั้งประชาชนจำนวนมากได้รับผลกระทบในการเดินทางในชีวิตประจำวัน ยานพาหนะขนาดใหญ่ไม่สามารถเดินทางรับส่งประชาชนทุกเส้นทางในทุกหมู่บ้านได้ งานวิจัยนี้จึงเสนอโครงข่ายการเลือกที่ตั้งฮับ เพื่อลดจำนวนเส้นทางการสัญจรและกำหนดการเดินทางโดยยานพาหนะขนาดใหญ่ในเส้นทางหลักเพื่อลดต้นทุน งานวิจัยนี้ได้เสนออัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม 2 รูปแบบ ได้แก่ อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียวและอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ สำหรับแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ (The Uncapacitated Single Allocation p - Hub Median Problem, USApHMP) เพื่อออกแบบโครงข่ายสัญจรสาธารณะ โดยมีวัตถุประสงค์ให้ค่าใช้จ่ายรวมในการเดินทางต่ำที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในวางแผนการจัดการขนส่งเมื่อเกิดอุทกภัยครั้งต่อไป จากผลการวิจัยพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่สามารถสร้างคำตอบที่ดีกว่าวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียวทั้งด้านเวลาในการประมวลและคุณภาพของคำตอบ

คำสำคัญ: โครงข่ายที่ตั้งฮับ วิธีเชิงพันธุกรรม อุทกภัย

การอ้างอิงบทความ: อรอุไร แสงสว่าง, "การออกแบบโครงข่ายสัญจรสาธารณะโดยตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ กรณีศึกษาจังหวัดนนทบุรี," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 3, หน้า 463–473, ก.ย.–ธ.ค. 2559

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 ก.ย.–ธ.ค. 2559
The Journal of KMUTNB., Vol. 26, No. 3, Sep.–Dec. 2016

Research Article

Designing of Public Transportation Network Using Uncapacitated Single Allocation *p* Hub Median Model: Case Study Nonthaburi Province

Ornurai Sangsawang*

Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management, King Monglut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Prachin Buri, Thailand

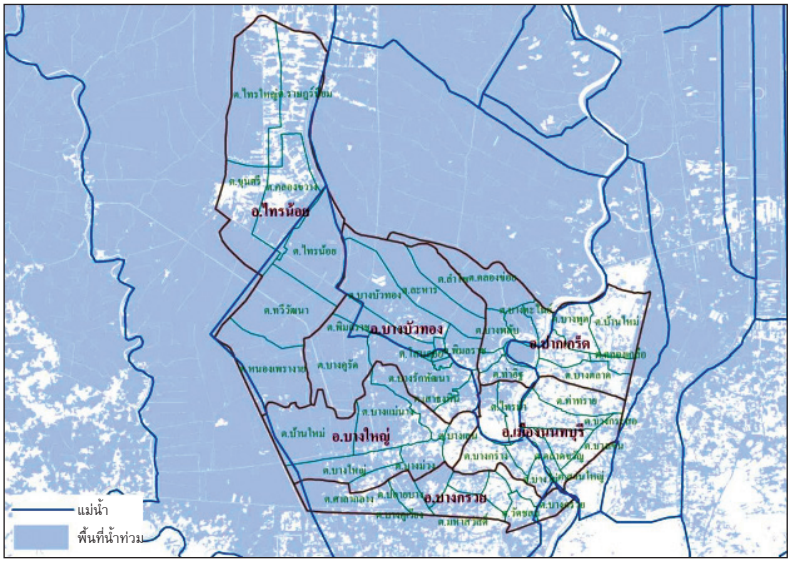
* Corresponding Author, Tel. 0-3721-7300 Ext. 7086, E-mail: ornurai.s@fitm.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.01.002
Received 10 August 2015; Accepted 6 January 2016; Published online: 13 July 2016
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research proposes the design of a public transportation network in the event of floods and designates stations for such large vehicles as army vehicles and Unimog trucks. In disaster areas, cars cannot pass through flooded streets. In order to pick up passengers in Nonthaburi province, large army vehicles or trucks are required, although the transfer stations and routes of these vehicles provided to alleviate the problem during chronic flooding are not certainly defined. Therefore, passengers sometimes have to wait for a long time and this can result in high transportation costs. Many people are affected in terms of traveling through flooding areas on a daily basis. Large public transportation vehicles cannot be driven to every destination. Accordingly, this research proposes a hub location network in order to reduce the number of routes and to assign transferring routes between hubs for large vehicles so that the economies of scale can be taken advantage of. This research additionally develops two different types of genetic algorithms, one with a single point crossover and a genetic algorithm with a cut and splice crossover, for solving the uncapacitated single allocation *p* - hub median problem, USApHMP, in order to design a public transportation network. The objective of this research is to minimize total transportation costs. According to the computational results, the genetic algorithm with cut and splice outperformed the genetic algorithm with a single point crossover in terms of both solution quality and computational time.

Keywords: Hub Location Network, Genetic Algorithm, Flood

Please cite this article as: O. Sangsawang, "Designing of public transportation network using uncapacitated single allocation *p* hub median model: case study nonthaburi province," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 26, no. 3, pp. 463–473, Sep.–Dec. 2016 (in Thai).



รูปที่ 1 พื้นที่ประสบอุทกภัยในจังหวัดนนทบุรี [1]

1. บทนำ

ในปี 2554 ได้เกิดวิกฤตการณ์อุทกภัยขึ้นในประเทศไทย มีพื้นที่ประสบภัยน้ำท่วมถึง 65 จังหวัด ประชาชนได้รับผลกระทบไม่น้อยกว่า 12.8 ล้านคน โดยครัวเรือนที่มีน้ำท่วมขังนานกว่า 30 วัน และน้ำท่วมสูงกว่า 120 ซม. พบในกรุงเทพมหานคร และภาคกลางมากกว่าภาคอื่นๆ ปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำยมไหลรวมกับแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะจังหวัดนนทบุรี [1] มีน้ำท่วมขังตั้งแต่เดือนกันยายน–พฤศจิกายน 2554 ดังรูปที่ 1 แสดงพื้นที่ประสบอุทกภัยในจังหวัดนนทบุรี [1] เมื่อน้ำท่วมขังเป็นเวลานานทำให้ถนนหลายเส้นทางถูกตัดขาด การสัญจรทางถนนเป็นไปได้ยากลำบาก ภาครัฐได้ให้การช่วยเหลือโดยใช้รถทหารขนาดใหญ่ของกองทัพมาใช้ในการขนส่งประชาชนในการเดินทางไปทำงานหรือกิจธุระประจำวัน เนื่องจากเป็นการบรรเทาปัญหาเฉพาะหน้าและยังไม่มีการกำหนดสถานีรับส่งผู้โดยสารที่แน่นอนสำหรับรถโดยสารสาธารณะขนาดใหญ่หรือรถทหาร ทำให้ประชาชนจำนวนมากต้องรอคอยรถโดยสารเป็นเวลานาน และมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางสูง

อำเภอบางกรวย บางใหญ่ ไทรน้อย และบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ได้รับการประกาศให้เป็นพื้นที่ประสบภัยพิบัติในปี 2554 และมีการประกาศให้ประชากรในพื้นที่อพยพออกจากพื้นที่ แต่ประชากรบางส่วนในพื้นที่มีความเคยชินกับการใช้ชีวิตอาศัยอยู่กับน้ำ เนื่องจากมีน้ำท่วมทุกปี ซึ่งไม่ได้เกิดจากน้ำทะเลหนุนแต่เกิดจากน้ำเหนือ ทำให้ประชาชนไม่ยอมอพยพออกจากพื้นที่ และอยู่อาศัยที่บ้านเรือนของตนเองมีการเดินทางโดยใช้เรือพายเป็นยานพาหนะ ในการเดินทางของประชาชน มีเรือรับจ้างซึ่งมีค่าใช้จ่ายเที่ยวละ 20–30 บาท ขึ้นอยู่ตามระยะเส้นทางที่ใช้บริการ ถ้าหากระยะทางไกลจะมีค่าใช้จ่ายประมาณเที่ยวละ 50–100 บาท และหน่วยงานทหารได้จัดรถ GMC มาให้บริการประชาชนในการเดินทางและแจกจ่ายสิ่งของรวมทั้งรถขนาดใหญ่อื่นๆ ที่ประมาณ 60 คัน

การเดินทางขนส่งมีการบริการการขนส่งวันละ 1 รอบ ใช้เวลาประมาณครึ่งวัน ส่วนราชการในพื้นที่ได้ประสานงานกับหน่วยราชการทหารเพื่อใช้รถส่วนกลางในการแจกจ่ายของอุปโภคบริโภค รวมทั้งรับ-ส่งผู้ประสบภัย ในกรณีที่มีประชากรอาศัยอยู่ในบริเวณน้ำไม่สูงมาก และใช้เรือในการแจกจ่ายสิ่งของแก่ประชากรในพื้นที่ที่มีระดับน้ำท่วมสูงและรถไม่สามารถเข้าถึงได้ [2], [3]

การเลือกที่ตั้งสถานีรับส่งหรือฮับ (Hub) และการเชื่อมต่อเส้นทางระหว่างจุดเดินทาง (Node)ไปยังฮับเป็นรูปแบบการตัดสินใจสำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้งฮับ งานวิจัยนี้จึงได้เสนออัลกอริทึมวิธีเชิงพันธุกรรม 2 รูปแบบสำหรับแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ (The Uncapacitated Single Allocation *p* - Hub Median Problem, USApHMP) เพื่อออกแบบโครงข่ายสัญจรสาธารณะ เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการขนส่งในพื้นที่อุทกภัยในกรณีศึกษา

ในการประยุกต์งานวิจัยด้าน Hub Location Network สำหรับโครงข่ายการขนส่ง โดยเฉพาะตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ ได้มีการศึกษาวิจัยตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดย O'Kelly [4] ได้เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์โปรแกรมเลขจำนวนเต็มกำลังสอง (Quardratic Assignment Problem, QAP) พร้อมทั้งเสนอวิธีฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ โดยประยุกต์ข้อมูลจริงจากข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่เดินทางระหว่างสนามบินในสหรัฐอเมริกา (Civil Aeronautics Board, CAB) จำนวน 25 เมือง วิธีฮิวริสติกส์ที่ใช้แก้ปัญหา ได้แก่ วิธี HEUR1 และ HEUR2 โดยวิธี HEUR1 เลือกเส้นทางจากจุดเดินทางไปยังฮับที่ใกล้ที่สุด ส่วนวิธี HEUR2 เชื่อมต่อฮับที่มีระยะทางใกล้กับจุดเดินทางที่สุดและฮับที่มีระยะทางใกล้จุดต้นทางรองลงมา พบว่าวิธี HEUR2 ได้โครงข่ายที่มีต้นทุนต่ำกว่า ต่อมา Skorin-Kapov [5] ได้เสนอวิธี Tabu Search เพื่อแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ (TABUHUB) พบว่า TABUHUB สามารถสร้างคำตอบที่มีคุณภาพดีกว่าวิธี HEUR2 ต่อมา Ernst และ Krishnamoorthy [6] ได้พัฒนาวิธีการจำลองการอบเหนียวเพื่อแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุโดยใช้ชุดข้อมูลการจัดส่งพัสดุของการไปรษณีย์ออสเตรเลีย (Australia Post, AP Data Set) วิธีการจำลองการอบเหนียวสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ถึง 50 Nodes นอกจากนี้ Skorin-Kapov [5] ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตสาสตร์เชิงเส้นแบบผสมสำหรับแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ ทำให้จำนวนตัวแปรลดลง Pe´rez [7] ได้เสนอ Path-relink Algorithm สำหรับแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุโดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล AP ต่อมา Kratica *et al*. [8] ได้เสนอวิธีเชิงพันธุกรรม 2 วิธี GAHUB1 และ GAHUB2 เพื่อแก้ปัญหา USApHMP โดยใช้การ Catching เพื่อลดเวลาการประมวลผลและทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมโดยใช้ชุดข้อมูล CAB และชุดข้อมูล AP Data Set พบว่าวิธี GAHUB2 ให้คุณภาพคำตอบดีกว่าวิธีการจำลองการอบเหนียว Ernst [6] วิธี Tabu Search โดย Skorin-Kapov [5] และวิธี Path-relink Algorithm โดย Pe´rez [7]

นอกจากนี้ได้มีการวิจัยแก้ปัญหาตัวแบบ Hub Location Network อื่นๆ ได้แก่ Ali *et al*. [9] ได้เสนอวิธี Hybrid Metaheuristics ได้แก่ SA-VNS และ GA-VNS สำหรับแก้ปัญหา Hub Location Network ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างฮับทุกฮับ (Fully Connected Hubs) โดยประมวลผลจำนวน 24 ชุดข้อมูล พบว่าวิธี Hybrid Metaheuristics ทั้งสองวิธีสามารถประมวลผลได้เร็ว โดยวิธี SA -VNS สามารถให้คำตอบที่มีคุณภาพดีกว่า และ Topcuoglu *et al*. [10] ได้เสนอวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม สำหรับแก้ปัญหาโครงข่ายการเชื่อมต่อเส้นทางเดียว (Single Allocation Hub Location) โดยพิจารณาต้นทุนการติดตั้งฮับ และทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมโดยใช้ชุดข้อมูล CAB และชุดข้อมูล AP พบว่าวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่

2. ปัญหาการเชื่อมต่อศูนย์กลางเส้นทางเดียวแบบไม่จำกัดความจุ

ปัญหา *p* - hub Median จัดเป็นปัญหา *np* – hard Sibel [11] ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นแบบผสม (Mixed Interger Programming, MIP) สำหรับปัญหาการเชื่อมต่อศูนย์กลางเส้นทางเดียวแบบไม่จำกัดความจุ (Uncapacitated Single Allocation *p*-hub Median Problem) โดย Skorin-kapov [5] มีดังนี้

พารามิเตอร์

W_{ij} เป็นปริมาณการไหลจาก node i ไป node j

C_{ik} ต้นทุนเมื่อเดินทางออกจาก node i ไป hub k

C_{mj} ต้นทุนเมื่อเดินทางออกจาก hub m ไป node j

C_{km} ต้นทุนเมื่อเดินทางระหว่าง hubs

α แทนปัจจัยลดต้นทุนเมื่อมีการใช้เส้นทางขนส่งระหว่างฮับร่วมกัน (Discount Factor)

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ijkm} เป็นสัดส่วนการไหลจาก node i ไป node j ผ่าน hub k และ hub m

X_{ik} มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเดินทางออกจาก node i ไป hub k มีค่าเท่ากับ 0 สำหรับกรณีอื่นๆ

X_{kk} เท่ากับ 1 เมื่อ k เป็น hub
เท่ากับ 0 สำหรับกรณีอื่นๆ

Min

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} X_{ijkm} (C_{ik} + C_{mj} + \alpha C_{km})$$

$$\text{s.t.} \sum_k X_{ik} = 1 \qquad \forall i \qquad (1)$$

$$\sum_k X_{kk} = p \qquad (2)$$

$$X_{ik} - X_{kk} \le 0 \qquad \forall i, k \qquad (3)$$

$$\sum_m X_{ijkm} = X_{ik} \qquad \forall i, j, k \qquad (4)$$

$$\sum_k X_{ijkm} = X_{jm} \qquad \forall i, j, m \qquad (5)$$

$$X_{ijkm} \ge 0 \qquad \forall i, j, k, m \qquad (6)$$

วัตถุประสงค์ของตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางเส้นทางเดียวแบบไม่จำกัดความจุ คือทำให้ต้นทุนการขนส่งรวมมีค่าต่ำที่สุด โดยต้นทุนการขนส่งรวมประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนการเดินทางจากจุดต้นทาง (Origin) ไปยังฮับต้นทาง ต้นทุนขนส่งสินค้าระหว่างฮับต้นทางและฮับปลายทาง และต้นทุนการกระจายสินค้าระหว่างฮับต้นทางและฮับปลายทาง โดยกำหนดค่าปัจจัยลดต้นทุนเมื่อมีการใช้เส้นทางขนส่งระหว่างฮับร่วมกัน (α) เท่ากับ 0.75 ตามการทดลองโดย Skorin-kapov [5], Ernst [6] และ Kratica [8] และเงื่อนไขข้อจำกัดที่ (1) หมายถึง Node สามารถเชื่อมต่อได้ 1 ฮับ เท่านั้น ในขณะที่เงื่อนไขที่ (2) ระบุว่าจำนวนฮับที่ต้องเปิดเท่ากับ p เงื่อนไขที่ (3) เพื่อให้แน่ใจว่าเปิดฮับ k แล้ว Node จึงจะเชื่อมต่อไปยังฮับได้ เงื่อนไขที่ (4) และเงื่อนไขที่ (5) แน่ใจว่า node i เชื่อมต่อไปยัง hub k และ node j เชื่อมต่อไปยัง hub m

3. วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ

3.1 ตัวแทนคำตอบ

การกำหนดโครงสร้างสำหรับตัวแทนคำตอบ กำหนดโดยในแต่ละโครโมโซม ประกอบด้วยอาร์เรย์ 2 ส่วน ได้แก่ ฮับ และจุดเดินทาง โดยความยาวของอาร์เรย์มีค่าเท่ากับจำนวนจุดเดินทาง ฮับอาร์เรย์แทนค่าด้วยเลขจำนวนเต็ม 0,1 ในอาร์เรย์จุดเดินทาง (Node Array) ค่าตัวเลขหมายถึงจุดเดินทางที่ถูกกำหนดให้เป็นฮับ อาร์เรย์จุดเดินทางระบุด้วยลำดับที่ของตำแหน่งในอาร์เรย์ ตัวอย่างคำตอบ

ในตัวอย่างคำตอบดังแสดงในรูปที่ 2 จำนวน จุดเดินทางทั้งหมด 10 จุด จุดเดินทางที่กำหนดเป็นฮับได้แก่ จุดเดินทางที่ 3, 5 และ 6 ในส่วนการเชื่อมต่อเส้นทาง จุดเดินทางที่ 1, 2 และ 4 เชื่อมต่อไปยังฮับที่ 3 จุดเดินทางที่ 7 และ 9 เชื่อมต่อไปยังฮับที่ 5 จุดเดินทางที่ 8 และ 10 เชื่อมต่อไปยังฮับที่ 6 ดังรูปที่ 3 ตัวแทนคำตอบที่แทนการเชื่อมต่อระหว่างจุดเดินทางและฮับ โดยที่ทุกฮับเชื่อมต่อกันอย่างเต็มรูปแบบ (Fully Connected Pattern) ดังตัวอย่างโครงสร้าง Hub Location Network ในรูปที่ 4 ถ้า $i = 4, j = 7$

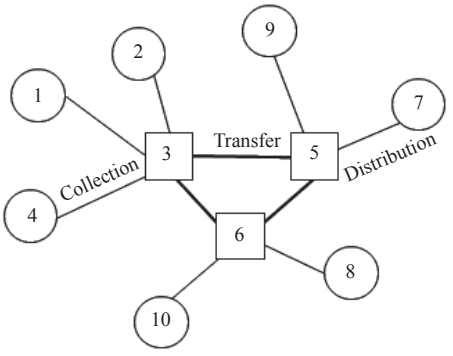
$W_{ij} = W_{47}$ ฮับต้นทางได้แก่ ฮับ 3 และฮับปลายทางคือฮับ 5

0	0	1	0	1	1	0	0	0	0

รูปที่ 2 Hub Array

3	3	3	3	5	6	5	6	5	6

รูปที่ 3 Node Array



รูปที่ 4 ตัวอย่าง Hub Location Network

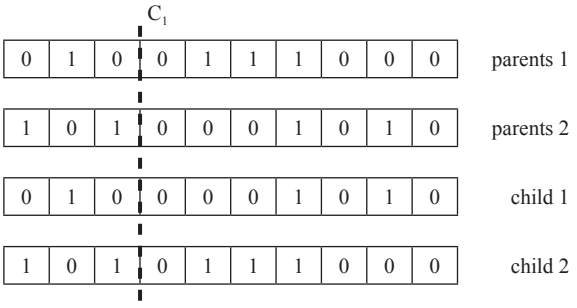
3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

ในการสร้างประชากรเริ่มต้น เริ่มจากการเลือกฮับอย่างสุ่มเท่ากับจำนวนฮับทั้งหมด เพื่อป้องกันการสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ จึงใช้คีย์สุ่มในการเข้ารหัสคำตอบ โดยเลือกคีย์สุ่มจากการกระจายแบบยูนิฟอร์ม ช่วง [0,1] โดยเรียงคีย์สุ่มตามลำดับจากน้อยไปมาก และถอดรหัสและเลือก p nodes แรกเป็นคำตอบแสดงจุดที่กำหนดเป็นฮับ ดังแสดงในตารางที่ 1 กรณีที่กำหนดจำนวนฮับเท่ากับ 3 จุดเดินทางที่กำหนดเป็นฮับได้แก่ 5, 4 และ 1

ตารางที่ 1 การเลือกฮับจากคีย์สุ่ม

ลำดับที่	1	2	3	4	5	6
คีย์สุ่ม	0.63	0.52	0.02	0.84	0.46	0.30
ลำดับหลังการเรียง	5	4	1	6	3	2

GA สำหรับ USApHMP เริ่มจากการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยสร้างฮับอย่างสุ่มเท่ากับจำนวนฮับ และเชื่อมต่อจุดเดินทางทุกจุดในโครงข่ายกับฮับที่อยู่ใกล้ที่สุด จากนั้นจะปรับการเชื่อมต่อระหว่างจุดเดินทางและฮับในโครงข่าย [10]



รูปที่ 5 การข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว

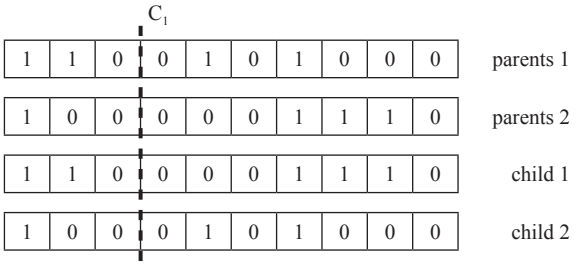
3.3 การเลือก

ในขั้นตอนการเลือกประชากรเพื่อสร้างประชากรรุ่นต่อไป โดยเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ สำหรับการข้ามสายพันธุ์อย่างสุ่มและใช้การ Elitism โดยนำคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 5% แรกจากประชากรรุ่นก่อนหน้ามาแทนที่คำตอบที่แย่ที่สุด 5% สุดท้าย

3.4 การข้ามสายพันธุ์

ในการข้ามสายพันธุ์ได้ใช้กระบวนการข้ามสายพันธุ์สำหรับส่วนฮับอาร์เรย์ 2 แบบ ได้แก่ การข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว (Single - Point Crossover) และการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ (Cut and Splice Crossover) ในการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว เป็นการเลือกจุดตัดอย่างสุ่ม และนำส่วนสตริงส่วนของ parent 1 รวมกับ parent 2 เพื่อให้ได้ประชากรรุ่นลูก ดังรูปที่ 5 แสดงการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว โดยกำหนดจำนวนฮับเท่ากับ 4 เมื่อเกิดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้หรือจำนวนฮับมีค่าไม่เท่ากับจำนวนที่กำหนด ได้ใช้ฟังก์ชันปรับแก้โดยให้ค่าปรับโทษมาถ่วงน้ำหนัก (Penalty Function)

ในรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ เมื่อ n = 10, p = 4 ในโครโมโซมรุ่นลูกที่เกิดจากการข้ามสายพันธุ์ จำนวนฮับที่ได้จาก child1 เท่ากับ 5



รูปที่ 6 ตัวอย่างการสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้

```
Count the number of hubs in chromosome
If (the number of hubs == p)
        Allocate nodes to hubs
        δ = 0;
        Evaluate f_c(x) = f(x) + δP(x);
Else
        δ = 1;
        Evaluate f_c(x) = f(x) + δP(x);
```

รูปที่ 7 ขั้นตอนของฟังก์ชันปรับแก้ทำงาน

และจำนวนฮับที่ได้จาก child2 เท่ากับ 3 จากนั้นจะมีการตรวจนับจำนวนฮับในฟังก์ชันปรับแก้ทำงานโดยการตรวจนับจำนวนฮับในแต่ละโครโมโซม หากจำนวนฮับในโครโมโซมมีค่าเท่ากับจำนวนฮับที่กำหนด จะดำเนินการเชื่อมต่อจุดเดินทางและฮับ และประเมินค่าวัตถุประสงค์ดังนี้

$$f_c = f(x) + \delta P(x) \qquad (7)$$

ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$f_c(x)$ แทนฟังก์ชันวัตถุประสงค์

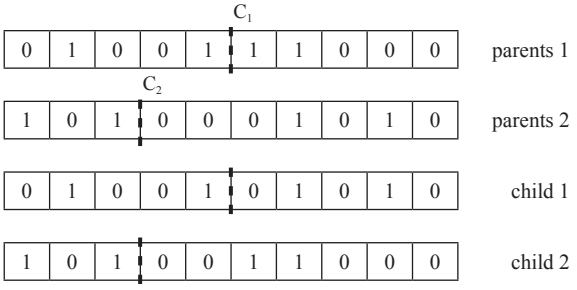
$\delta = 1$ เมื่อจำนวนฮับไม่เท่ากับ p

$= 0$ เมื่อจำนวนฮับเท่ากับ p

$P(x)$ แทนฟังก์ชันการปรับโทษ

ถ้าจำนวนฮับในโครโมโซมมีค่าไม่เท่ากับจำนวนฮับที่กำหนด จะกำหนดค่าปรับโทษเพิ่มในค่าวัตถุประสงค์ดังแสดงขั้นตอนในรูปที่ 7

การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ เริ่มจากการเลือกจุดตัด C_1 ของ parent1 ตำแหน่งจุด C_1 เกิดขึ้นหลังตำแหน่งที่ $p/2$ ของ parent1 ต่อมาจะเลือกฮับส่วนที่เหลือจาก parent 2 ดังนั้นในการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่จะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดคำตอบที่มีจำนวนฮับเกินได้ กรณีที่จำนวนฮับที่เหลืออยู่ของ parent 2 จากตำแหน่ง C_1+1 ถึง n มีจำนวนน้อยกว่า $p/2$ จะเลือกจุดเดินทาง อย่างสุ่มเป็นฮับจนครบ และดำเนินการกระบวนการเดียวกับ parent 2 ดังรูปที่ 8 การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ จำนวนฮับเท่ากับ 4 ต่อมาได้ดำเนินขั้นตอน



รูปที่ 8 การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่

การกลายพันธุ์ โดยเลือกฮับและตำแหน่งจุดเดินทางในประชากรรุ่นลูกอย่างสุ่ม และสลับตำแหน่ง ในการเชื่อมต่อระหว่างจุดเดินทางและฮับ โดยใช้การเปลี่ยนการเชื่อมต่อระหว่างจุดเดินทางและฮับในอาร์เรย์ของจุดเดินทาง โดยกำหนดให้จุดเดินทางเชื่อมต่อไปยังฮับที่ต่างไปจากฮับเดิมทีละคำตอบ เมื่อกำหนดจำนวนฮับเท่ากับ p จำนวนจุดเดินทางเท่ากับ n จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะมีค่าเท่ากับ $(n\text{-}p)(p\text{-}1)$

4. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อประเมินผลประสิทธิภาพของวิธีเชิงพันธุกรรม โดยเปรียบเทียบการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว และการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ โดยใช้ภาษา C การทดสอบผลของอัลกอริทึมทั้งสองแบบบน Intel Pentium IV 6 GHz การเปรียบเทียบผล ได้เปรียบเทียบสองส่วน ได้แก่ ชุดข้อมูลการไปรษณีย์ในออสเตรเลีย และชุดข้อมูลจากการเดินทางในพื้นที่น้ำท่วมกรณีศึกษา

4.1 ชุดข้อมูลการไปรษณีย์ในออสเตรเลีย

ชุดข้อมูลการไปรษณีย์ในออสเตรเลียเป็นชุดข้อมูลปัญหาจริงได้จากการขนส่งไปรษณีย์ภัณฑ์ ในประเทศออสเตรเลีย เริ่มใช้โดย Ernst ซึ่งนิยมใช้ทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหาด้าน Hub Location Network โดย Ernst [6] และ Kratica [8]

4.2 ชุดข้อมูลการเดินทางในพื้นที่น้ำท่วม จังหวัดนนทบุรี

การเดินทางในพื้นที่ประสบอุทกภัย กรณีศึกษาอำเภอบางกรวย บางใหญ่ ไทรน้อย และบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี จำนวน 68 จุดเดินทาง จากการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ประสบอุทกภัย เพื่อกำหนดจุดรับ-ส่ง 7 จุดหลักในพื่นที่ดังกล่าว สำหรับรองรับการเดินทางของประชาชนในพื้นที่ [2], [3], [12]

5. ผลการวิจัย

อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมทั้ง 2 วิธี ขนาดประชากรเท่ากับ 200 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ (Crossover Probability) เท่ากับ 95% ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation Probability) เท่ากับ 10% ได้มีการประมวลผล 2,000 รอบ สำหรับจำนวนฮับแต่ละขนาด โดยใช้ขั้นตอน Mersanne Twister [13] ในการสร้างเลขสุ่มเทียม เพื่อให้ได้เลขสุ่มที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว และอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่สำหรับชุดข้อมูลการไปรษณีย์ในออสเตรเลีย สำหรับจำนวนที่ทำการไปรษณีย์เท่ากับ 10, 20, 25, 40 และ 50 จุด โดยกำหนดให้จำนวนฮับเท่ากับ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าในชุดข้อมูลมาตรฐานอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว และอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ สามารถค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด [5], [6], [8]

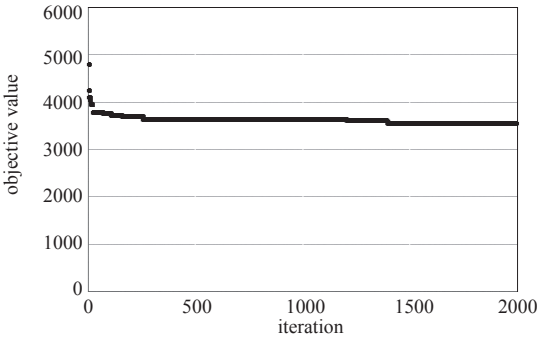
ตารางที่ 2 ผลการทดลองชุดข้อมูลการไปรษณีย์ในออสเตรเลีย

N	*p*	Best known	GA single point		GA cut and splice	
			Best solution	time	Best solution	time
10	2	167493.06	167493.06	0.00	167493.06	0.00
	3	136008.13	136008.13	0.00	136008.13	0.00
	4	112396.07	112396.07	0.00	112396.07	0.00
20	2	172816.69	172816.69	0.00	172816.69	0.00
	3	151533.08	151533.08	2.01	151533.08	0.00
	4	135624.88	135624.88	6.33	135624.88	0.00
40	2	177471.67	177471.67	14.26	177471.67	0.00
	3	158830.54	158830.54	17.80	158830.54	0.01
	4	143968.88	143968.88	19.61	143968.88	0.04
50	2	178484.29	178484.29	21.32	178484.29	0.03
	3	158569.93	158569.93	26.84	158569.93	0.09
	4	143378.05	143378.05	52.45	143378.05	2.34

ในขณะที่อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่มีค่าเวลาในการประมวลผลที่รวดเร็วกว่าอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว และได้เปรียบเทียบอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่สำหรับชุดข้อมูลการเดินทางในพื้นที่น้ำท่วม จังหวัดนนทบุรี ดังแสดงในตารางที่ 3 ผลการทดลองอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว และอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่สำหรับชุดข้อมูลพื้นที่กรณีศึกษาในจังหวัดนนทบุรี จำนวน 68 จุดเดินทาง โดยกำหนดจำนวนฮับของโครงข่ายตั้งแต่ $p = 2, 3, 4, \ldots, 10$ จากผลการทดลองพบว่าอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่มีคุณภาพของคำตอบและเวลาในการประมวลผลที่ดีกว่าอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว จากรูปที่ 9 ได้แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์และจำนวนรอบ สำหรับชุดข้อมูลการเดินทางในพื้นที่ประสบอุทกภัย จังหวัดนนทบุรีจำนวน 68 จุดเดินทาง 10 ฮับ จากกราฟแสดงการลู่เข้าของค่าวัตถุประสงค์ พบว่าเมื่อสร้างประชากรเริ่มต้น ค่าวัตถุประสงค์ค่อย ๆ ลู่เข้าสู่ค่าระหว่าง 3,500–3,600 เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น

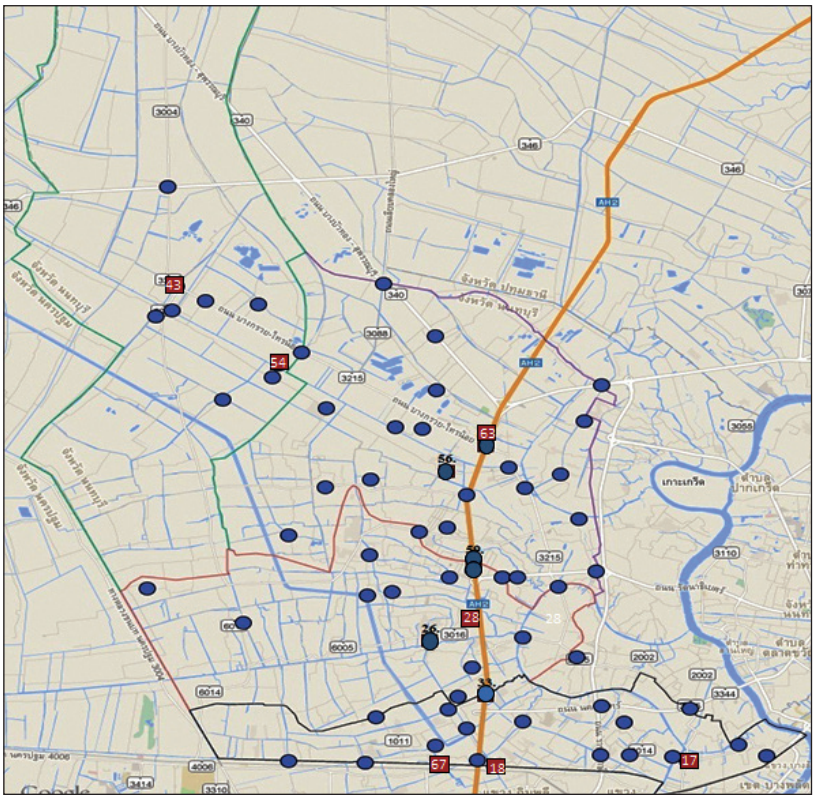
ตารางที่ 3 ผลการทดลองชุดข้อมูลพื้นที่กรณีศึกษาในจังหวัดนนทบุรี

N	*p*	GA single point		GA cut and splice	
		Best solution	**time**	**Best solution**	**time**
68	2	9694.20	132.78	9694.20	31.09
	3	7552.30	200.09	7552.30	46.85
	4	6242.94	272.23	6236.53	63.95
	5	5329.02	286.30	5209.00	67.32
	6	4642.68	313.79	4642.68	73.82
	7	4286.35	146.32	4183.39	31.45
	8	4009.68	184.45	3991.74	34.24
	9	3801.06	234.12	3778.96	43.32
	10	3598.90	246.16	3566.55	55.00



รูปที่ 9 กราฟแสดงการลู่เข้าของค่าวัตถุประสงค์

ในรูปที่ 10 แสดงแผนที่แสดงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ 68 nodes และตำแหน่งจุดรับส่ง 7 hubs ที่ได้จากผลการทดลอง



รูปที่ 10 แผนที่แสดงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ 68 Nodes และตำแหน่งจุดรับส่ง 7 hubs

6. อภิปรายผลและสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อแก้ปัญหาตัวแบบการเชื่อมต่อศูนย์กลางแบบไม่จำกัดความจุ ประมวลโดยใช้ชุดข้อมูล 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลการไปรษณีย์ในออสเตรเลีย แบ่งการทดลองตามจำนวนที่ทำการไปรษณีย์ 10, 20, 25, 40 และ 50 จุด และชุดข้อมูลการเดินทางในพื้นที่ประสบอุทกภัยในจังหวัดนนทบุรี จำนวน 68 จุดเดินทางและได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม 2 วิธี ได้แก่ อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่มีการข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว และอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่มีการข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่

จากผลการทดลอง พบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่ สามารถสร้างคำตอบที่ดีกว่าวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียวทั้งด้านเวลาในการประมวลและคุณภาพของคำตอบ ใน USApHMP มีการกำหนดจำนวนฮับไว้ล่วงหน้า เมื่อผ่านกระบวนการข้ามสายพันธุ์แล้ว จำนวนฮับต้องมีจำนวนเท่าเดิม การข้ามสายพันธุ์แบบตัดและต่อใหม่จะสามารถป้องกันไม่ให้เกิดคำตอบที่มีจำนวนฮับเกินหรือต่ำกว่าที่กำหนดได้ และในการซ่อมแซมคำตอบที่เป็นไปไม่ได้มีขั้นตอนที่จำเป็นน้อยกว่า จึงประมวลผลเร็วกว่าวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้การข้ามสายพันธุ์แบบจุดตัดเดียว

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สัญญาหมายเลข 01/2555 รหัสโครงการ SCH-NR2012-211

เอกสารอ้างอิง

[1] National Statistical Office, Ministry of Information and Communication, *Survey households in the flooded area in Nonthaburi*, 2012 (in Thai).

[2] P. Wongprasert, “Designing of transport network by using hub location network,” M.S. thesis, Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management, King’s Mongkut’s University of Technology North Bangkok, 2014 (in Thai).

[3] A. Thongtae, P. Sirirak, and S. Jityen, “Traffic routes planning in flooding: case study Nonthaburi,” B.S. project, Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management, King’s Mongkut’s University of Technology North Bangkok, 2014 (in Thai).

[4] M. E. O’Kelly, “A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities,” *European Journal of Operetional Research*, vol. 32, pp. 393–404, 1987.

[5] D. Skorin-Kapov and J. Skorin-Kapov, , “On tabu search for the location of interacting hub facilities,” *European Journal of Operational Research*, vol. 73, pp. 502–509, 1994.

[6] A. T. Ernst and M. Krishnamoorthy, “Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem,” *Location Science*, vol. 4, pp.139–154, 1996.

[7] M. Pe´rez Pe´rez, F. A. Rodrı´guez, and J. M. MorenoVega, “On the use of the path relinking for the p-hub median problem,” *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 155–164, 2004.

[8] J. Kratica, Z. Stanimirovic, D. Tokic, and V. Filipovic, “Two genetic algorithms for solving the uncapacitated single allocation p-hub median problem,” *European Journal of Operetional Research*, vol. 182, pp. 15–28, 2007.

[9] A. Saboury, N. Ghaffari-Nasab, F. Barzinpour, and M. S. Jabalameli, “Applying two efficient

hybrid heuristics for hub location problem with fully interconnected backbone and access networks," *Computers & Operations Research*, vol. 40, pp. 2493–2507, 2013.

[10] H. Topcuoglu, F. Corut, M. Ermis, and G. Yilmaz, "Solving the uncapacitated hub location problem using genetic algorithms," *Computers & Operations Research*, vol. 32 no. 4, pp. 967–984, 2005.

[11] S. Alumur and B. Y. Kara, "Network hub location problems: The state of the art," *European Journal of Operational Research*, vol. 190, pp. 1–21, 2008.

[12] W. Kradad and M. Suesat, "Vehicle routing for evacuation in flooding area," B.S. project, Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management, King's Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2013 (in Thai).

[13] Mersenne Twister. (2015, May 14). A very fast random number generator [Online]. Available: http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m- mat/MT/emt.html