

การประยุกต์อัลกอริทึมเพื่อใช้หาเส้นทางและปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำในกรุงเทพมหานคร  
โดยใช้แบบจำลองการไหลสูงสุด

คณศ พันธุ์สวาสดี<sup>1</sup> และ แพรวนภา อินตา\*<sup>2</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม 73000

บทคัดย่อ

วิกฤติน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยปี 2554 ทำให้เกิดความเสียหายในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะ กรุงเทพมหานคร น้ำไม่สามารถระบายลงสู่อ่าวไทยได้ทันเวลา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นประยุกต์สองขั้นตอนวิธี (Algorithms) ประกอบด้วย ขั้นตอนวิธีเลเบล (Labeling algorithm) และขั้นตอนวิธีขยาย (Generic augmenting path algorithm) เพื่อใช้หาปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำจากทางตอนบนของกรุงเทพมหานครลงสู่อ่าวไทย การไหลสูงสุดของน้ำใน กรุงเทพมหานครแทนการไหลในข่ายงาน (Network flow) แม่น้ำและคลองต่าง ๆ ถูกอธิบายด้วยโหนด (nodes) และเส้นเชื่อม (arcs) ขั้นตอนวิธีเลเบล และ ขั้นตอนวิธีขยาย ใช้เพื่อค้นหาเส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดต้นทาง (source) ไปยัง โหนดปลายทาง (sink) และ หาปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำใน กรุงเทพมหานครคือ 228,960,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

คำสำคัญ: การไหลสูงสุด, ขั้นตอนวิธีเลเบล, ขั้นตอนวิธีขยาย

\* corresponding author. E-mail : Praew.inta@gmail.com

<sup>1</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

## Applying algorithms to determine the maximum flow of water in Bangkok using the maximum flow model

Kanate Puntusavase<sup>1</sup> and Praewnapa Inta\*<sup>2</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,  
Silpakorn University, Nakornpathom 73000

### Abstract

Thailand's flood crisis in 2011 brought damage to many areas in Thailand. Especially in Bangkok, the water could not drain into the Gulf of Thailand at that time. This paper aims to apply two algorithms, consisting of the generic augmenting path algorithm and the labelling algorithm, in order to determine the maximum flow of water from the north of Bangkok to the Gulf of Thailand. The flow of water in Bangkok is represented by network flow. Rivers and canals are represented by nodes and arcs. Labelling and the generic augmenting path algorithms were used to find the water route from a source to a sink and maximum water flow respectively. The results showed that the maximum flow in Bangkok was 228,960,000 cubic meters per day.

**Keywords:** maximum flow, labelling algorithm, generic augmenting part algorithm

---

\* Corresponding author. E-mail: Praew.inta@gmail.com

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

<sup>2</sup> Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

## 1. บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในเขตมรสุม มีฝนตกและปริมาณน้ำฝนมาก จึงทำให้เกิดน้ำท่วมในหลายภูมิภาคอยู่เสมอ จากเหตุการณ์มหาอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ที่สุดในรอบ 50 ปี เมื่อปลายปี พ.ศ. 2554 ได้สร้างความเสียหายเกือบทุกจังหวัดของประเทศไทย โดยประมาณรวมมากถึง 1.44 ล้านล้านบาทและใช้เงินฟื้นฟูอีกกว่า 7 แสนล้านบาท [1] แม้กระทั่งในปีปัจจุบัน พ.ศ. 2560 ปริมาณน้ำยังมีจำนวนมากและสร้างความเสียหายในหลาย ๆ จังหวัดทั่วประเทศไทย

ปัจจุบันหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐ เอกชน รวมทั้งสถานศึกษาต่าง ๆ ได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าว โดยได้มีการปรับปรุงระบบบริหารจัดการน้ำ ดาวยเทียมติดตามสถานการณ์น้ำท่วม ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำที่สถานีระบายน้ำต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีรายงานข้อมูลทางกายภาพของคลอง เช่น ความกว้าง ความยาว ความลึกของแม่น้ำลำคลองแต่ละสาย ระดับน้ำในเขื่อน และในคลองต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งประชาชนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายโดยเฉพาะเว็บไซต์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า มีการนำทฤษฎีต่าง ๆ มาใช้ในการบริหารจัดการน้ำ แต่ยังคงขาดทฤษฎีทางด้านการวิจัยและดำเนินงาน โดยเฉพาะปัญหาการไหลสูงสุดเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการระบายน้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าการนำทฤษฎีเกี่ยวกับการวิจัยและดำเนินงานมาใช้ในการวิเคราะห์ จะช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีเครื่องมือสำคัญอีกอย่างหนึ่งมาช่วยในการตัดสินใจเรื่องการบริหารจัดการน้ำ

## 2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยฉบับนี้ มีเป้าหมายเพื่อใช้วิธีการทางการวิจัยดำเนินงานประกอบด้วย generic augmenting path algorithm และ labeling algorithm เพื่อใช้เป็นแนวทางและข้อมูลเสริมสำหรับการตัดสินใจเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำในอนาคต

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การหาค่าตอบ maximum flow ประกอบด้วย 3 procedure ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้ procedure max flow

(บรรทัดที่ 1-4) จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมด procedure labeling graph (บรรทัดที่ 5-20) จะทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางจาก โหนดต้นทาง (source; s) ไปยัง โหนดปลายทาง (Sink; t) generic augmenting part algorithm

(บรรทัดที่ 21-34) จะทำหน้าที่คำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านสูงสุดที่ไม่ท่วมออกจากทางน้ำแต่ละสาย สามารถสรุปการทำงานได้ดังนี้

การทำงานทั้งหมดจะเกิดขึ้นเริ่มจาก procedure max flow จะทำหน้าที่เรียก procedure labeling graph มาค้นหาเส้นทางน้ำไหลจาก s ไปยัง t ด้วย โดยจะเรียกซ้ำหลาย ๆ ครั้งและจะหยุดเรียกเมื่อไม่พบเส้นทางอื่น ๆ ที่น้ำสามารถไหลจาก s ไปยัง t ได้

(บรรทัดที่ 5-20) จะทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางจาก โหนดต้นทาง (source; s) ไปยัง โหนดปลายทาง (Sink; t) generic augmenting part algorithm

(บรรทัดที่ 21-34) จะทำหน้าที่คำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านสูงสุดที่ไม่ท่วมออกจากทางน้ำแต่ละสาย สามารถสรุปการทำงานได้ดังนี้ การทำงานทั้งหมดจะเกิดขึ้นเริ่มจาก Procedure Max flow จะทำหน้าที่เรียก procedure Labeling Graph มาค้นหาเส้นทางน้ำไหลจาก s ไปยัง t ด้วย โดยจะเรียกซ้ำหลาย ๆ ครั้งและจะหยุดเรียกเมื่อไม่พบเส้นทางอื่น ๆ ที่น้ำสามารถไหลจาก s ไปยัง t ได้

จากนั้นหาปริมาณการไหลสูงสุดที่ค้นพบ อัปเดตปริมาณการไหลในเส้นทางน้ำจาก i ไป j ใด ๆ อัปเดตปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลสูงสุดในรอบถัดไป ทำการล้างค่า label และเรียกใช้ labeling อีกครั้งเพื่อหาเส้นทางน้ำใหม่

```

(1) Procedure max flow {
(2)   For exist alternate flow s to t {
(3)     Call labeling graph
(4)   }
(5) Procedure labeling graph {
(6)   For exist flow from s to t
(7)   {
(8)     Unlabel all node i
(9)     s ∈ label
(10)    i = s
(11)   For exist from i to j {
(12)     If res (i,j)>0 then {
(13)       pred(j) = i and j ∈ label
(14)     }
(15)     Label = label-i
(16)     Select new i ∈ label
(17)   }
(18)   If there exist s to t then call generic
      augment part algorithm
(19)   Update residual graph
(20) }
(21) Procedure generic augment part algorithm{
(22)   Min = ∞
(23)   J = t
(24)   Do
(25)     If min > res (pred (j), j) then{
(26)       Min = res (pred (j), j)
(27)     }
(28)     J = pred (j)
(29)   Loop while j≠s
(30)   Do
(31)     X (pred (j), j) = x (pred (j), j) + min
(32)     Res (pred (j), j) = res (pred (j), j) =
      min
(33)   Loop while j ≠ s
(34) }

```

รูปที่ 1 Max Flow Procedure

ข้อสังเกตในการหาคำตอบแต่ละรอบจะได้เส้นทางน้ำที่แตกต่างกัน เนื่องจากเส้นทางใดที่น้ำไหลผ่านแล้วจะมีการจัดเก็บปริมาณที่น้ำไหลผ่านและมีการหักลบโควตา

การไหลของน้ำด้วยบรรทัดที่ 31 และ 32 การทำงานทั้งหมดจะวนซ้ำไปจนกว่าจะไม่เจอเส้นทางใหม่ ๆ ที่น้ำไหลผ่านได้แล้ว

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2015 มีการศึกษาการใช้แบบจำลองน้ำท่วมเพื่อหาแบบจำลองเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ (decision makers) การขนส่งในสถานการณ์น้ำท่วมฉุกเฉิน โดยแบบจำลองพยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระดับสินค้าคงคลังสำหรับอุปกรณ์ฉุกเฉินประเภทยานพาหนะ ซึ่งวิธีการนี้เป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าที่จะช่วยให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจจัดสรรทรัพยากรทั้งก่อนและหลังเกิดน้ำท่วม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์จากเหตุการณ์น้ำท่วม [2] จากนั้นไม่นานมีการศึกษาหารูปแบบพารามิเตอร์เกี่ยวกับน้ำท่วมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และทำการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 1D และ 2D ว่ามีข้อดีและข้อเสียที่สำคัญของโมเดลเชิงตัวเลข 1D และ 2D เช่น HEC RAS, MIKE 11 และ FLO 2D เน้นว่าทั้ง HEC RAS และ MIKE 11 มีความสามารถในการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมที่แม่นยำ [3] และสร้างแบบจำลอง distributed hydrological model (GBHM) สำหรับจำลองพื้นที่กักเก็บน้ำ 4 พื้นที่ในประเทศจีน [4] สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS และโปรแกรม HEC-Geo RAS จำลองสภาพการบรรเทาน้ำท่วมในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้แก้มลิง [5] จากนั้นประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 เปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำในปี 2552 และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลระดับน้ำในปี 2553 มี 3 กรณีศึกษาได้แก่ 1. การขุดลอกแม่น้ำชีและลำน้ำสาขา 2. การก่อสร้างคันกั้นน้ำป้องกันน้ำท่วม 3.รวมกรณีที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน ผลที่ได้วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการรวมทั้งวิธีที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกันมีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากสามารถลดความสูงของคันกั้นน้ำที่จะก่อสร้างได้ [6] นอกจากนี้ยังมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประยุกต์ใช้กับ excel solver โดยคำนวณจากระยะทางที่สั้นที่สุดที่ใช้ในการ

อพยพประชากรออกจากพื้นที่เสี่ยงภัย [7] และมีการศึกษาโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศทางศาสตร์บนอินเทอร์เน็ตสำหรับระบบเตือนภัยน้ำท่วมโดยใช้การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส [8] ล่าสุดในปี 2559 ได้มีการศึกษาแบบจำลองของระบบคลองโดยเครือข่ายการไหล (network flow) ในทฤษฎีกราฟ การกำหนดระบบของความจุทำโดยการคำนวณอัลกอริทึมของปัญหาการไหลสูงสุด (maximum flow problem) [9]

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาก่อนนั้น พบว่า งานส่วนใหญ่จะไม่ได้ใช้ maximum flow ในการแก้ปัญหา มีเพียงฉบับสุดท้าย [9] ที่สนใจในการบริหารจัดการน้ำ ด้วย maximum flow แต่ปัญหาที่นำมาวิเคราะห์เป็นเพียงบางพื้นที่ของกรุงเทพมหานครเท่านั้น ไม่เป็นภาพรวมทั้งหมดในกรุงเทพมหานคร งานวิจัยฉบับนี้มีความใกล้เคียงกับงานก่อนหน้า [9] แต่แตกต่างกันที่ มองทั้งภาพรวมของกรุงเทพมหานคร ทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้เต็มระบบมากขึ้น ได้นำปัญหาการไหลสูงสุดมาประยุกต์ใช้กับคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครเพื่อวิเคราะห์ว่าสามารถระบายน้ำได้วันละกี่ลูกบาศก์เมตรเพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงเส้นทางไหลของน้ำต่อไป

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ

ประกอบไปด้วย

- (1) สำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร
  - (2) ศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร
  - (3) สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกรุงเทพมหานคร
  - (4) กรมชลประทาน
  - (5) สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน)
  - (6) ศูนย์ช่วยเหลือน้ำท่วม
  - (7) กรมอุทกศาสตร์
- และแหล่งข่าวต่าง ๆ ทางอินเทอร์เน็ต

#### 3.2 ลดรูปจากแม่น้ำ คลอง อุโมงค์ ทุกสาย

ลดรูปจากแม่น้ำ ลำคลอง ให้เหลือแต่เส้นที่สำคัญเพื่อลดจำนวนโหนด เนื่องจากกรุงเทพมหานครมีคูคลองธรรมชาติมากถึง 1,682 สายและจะมาบรรจบกันที่คลองสายหลัก [10] เพื่อทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เส้นทางไหล

#### 3.3 สมมติฐานของแบบจำลอง (Model assumption)

(1) เส้นทางน้ำที่ยุบรวมเป็นเส้นเดียวกัน ถือว่าเป็นตัวแทนอัตราการไหลของแม่น้ำบริเวณนั้น เช่นการยุบรวม (คลองรังสิต)

(2) อัตราการไหลของ arc แต่ละเส้น เป็นค่าคงที่ไม่มีผลกระทบเนื่องจาก ผักตบชวา เศษขยะ คลองตื้นเขิน การผลักดันน้ำของรัฐ การปรับอัตราการไหลด้วยประตูระบายน้ำ

(3) ในข่ายงานการไหล ถือว่าไม่มีการสูญเสียหรือการเพิ่มขึ้นของน้ำ อันเนื่องมาจาก การระเหยในอากาศ การไหลลงบาดาล การสูบน้ำไปเพื่อการเกษตร และ การเกิดฝนตก

#### 3.4 เขียนโปรแกรม

งานวิจัยฉบับนี้เขียนโปรแกรมโดยใช้ generic augmenting path algorithm และ labeling algorithm เนื่องจาก generic augmenting path algorithm เป็นอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาเส้นทางอย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะทำการค้นหาเส้นทางที่มีขีดจำกัดของคอขวดสูงสุด, มีความจุสูงมากพอ และค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ [11] และ labeling algorithm เป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับติดตามเส้นทางที่ถูกค้นพบแล้วเพื่อป้องกันไม่ให้ทำการค้นหาเส้นทางเดิมซ้ำอีก [12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำทั้งสองอัลกอริทึมดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ โดยใช้ visual basic for application บน microsoft excel

#### 3.5 เขียนโปรแกรมแสดงผล

เขียนโปรแกรมแสดงผลการคำนวณเส้นทางน้ำแต่ละเส้นพร้อมอัตราการไหล

### 3.6 นำคำตอบไปวิเคราะห์ผล

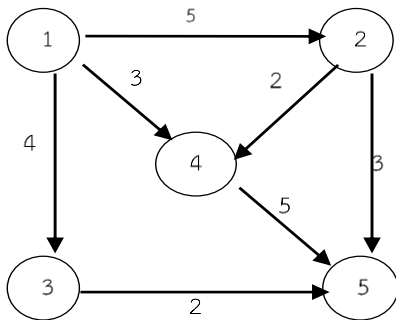
หลังจากโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำโปรแกรมไปวิเคราะห์ผลการทดลองดังแสดงในหัวข้อที่ 4 ต่อไป

### 4. ผลการวิจัย

การทดลอง ประกอบด้วย ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลางใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ส่วนปัญหาขนาดใหญ่เป็นปัญหาเส้นทางการไหลของน้ำจริงในกรุงเทพมหานคร

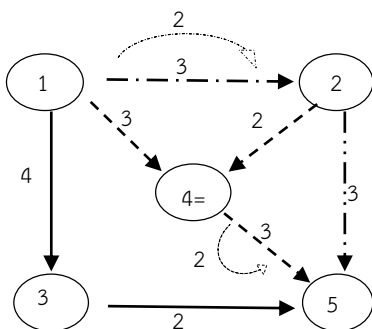
#### 4.1 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ปัญหาขนาดเล็กเป็นปัญหาขนาด 5 โหนด โดยมี ความจุของแต่ละเส้นทางแสดงดังรูปที่ 2



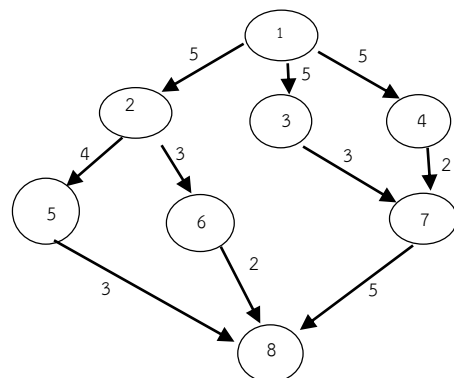
รูปที่ 2 กราฟของปัญหาขนาดเล็ก

จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ด้วยปัญหาขนาดเล็ก ปริมาณที่น้ำไหลผ่านด้วยเส้นประ ซึ่งได้เส้นทางการไหลที่ถูกต้องแม่นยำ คือ 1-4-5 จำนวน 3 หน่วย 1-3-5 จำนวน 2 หน่วย 1-2-5 จำนวน 3 หน่วยและ 1-2-4-5 จำนวน 2 หน่วยแสดงดังรูปที่ 3

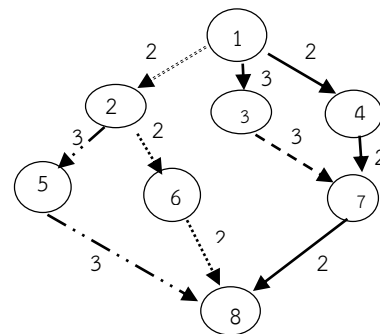


รูปที่ 3 ความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลของน้ำแต่ละสายของปัญหาขนาดเล็กที่เป็นคำตอบจากโปรแกรม

ปัญหาขนาดกลางเป็นปัญหาขนาด 8 โหนด ดังรูปที่ 4 แสดงความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลแต่ละสาย และรูปที่ 5 แสดงคำตอบจากโปรแกรม โดยปริมาณที่น้ำไหลผ่าน 1-4-7-8 จำนวน 2 หน่วย 1-3-7-8 จำนวน 3 หน่วย 1-2-6-8 จำนวน 2 หน่วย และ 1-2-5-8 จำนวน 3 หน่วย



รูปที่ 4 กราฟของปัญหาขนาดกลาง



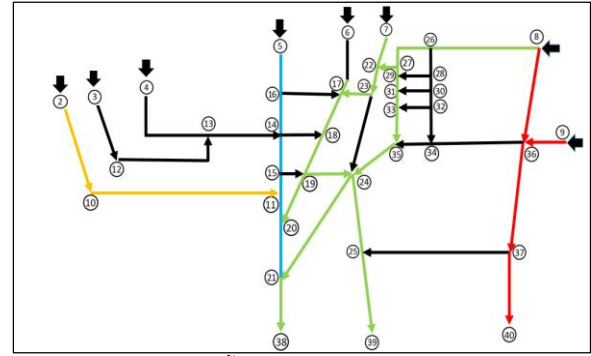
รูปที่ 5 ความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลของน้ำแต่ละสายของปัญหาขนาดกลางที่เป็นคำตอบจากโปรแกรม

#### 4.2 ทดสอบประสิทธิภาพจากข้อมูลจริง

หลังจากทดสอบความถูกต้องแล้ว ในหัวข้อนี้จะทดสอบประสิทธิภาพโดยนำผลไปใช้กับข้อมูลจริงของกรุงเทพมหานคร โดยใช้แผนที่จริงของคลองในกรุงเทพมหานคร

หลังจากได้เส้นทางการไหลแล้วผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาสร้างเป็นปัญหาข่ายงาน โดยโหนดที่ 1 แทนโหนด s

และโหนดที่ 41 แทนโหนด  $t$  ในการทดลองผู้วิจัยทำการลดขนาดปัญหาโดยตัดคู่มองค์ยักระบายน้ำของกรุงเทพมหานครออก และยุบเส้นทางการไหลของคลองสายเล็กให้เหลือเพียงคลองสายหลักเท่านั้น ดังรูปที่ 6 แสดงเส้นทางระบายน้ำที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลสูงสุดเริ่มต้นจาก  $s$  (โหนดที่ 1) และน้ำไหลไปยัง  $t$  (โหนดที่ 41) แต่ในรูปภาพจะละเส้นทางของโหนดที่ 1 และ 41 ออกเพื่อลดความซับซ้อนของรูปภาพลง (เส้นทางที่โหนด 1 และ 41 ไม่แสดงในภาพ แต่แสดงในตารางที่ 1 )



รูปที่ 6 เส้นทางระบายน้ำที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลสูงสุด

ตารางที่ 1 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

from	to	capacity	flow	residual	from	to	capacity	flow	residual
1	2	20	20	0	20	21	2500	20	2480
1	3	10	0	10	21	38	2500	50	2450
1	4	20	0	20	22	23	50	50	0
1	5	2500	2500	0	23	17	50	25	25
1	6	50	25	25	23	24	25	25	0
1	7	50	5	45	24	21	50	30	20
1	8	60	60	0	24	25	50	50	0
1	9	40	40	0	25	39	50	50	0
2	10	20	20	0	26	27	60	50	10
3	12	10	0	10	27	22	50	45	5
4	13	20	0	20	27	29	40	5	35
5	16	2500	2500	0	28	29	10	0	10
6	17	50	25	25	28	30	10	0	10
7	22	50	5	45	29	31	40	5	35
8	26	60	50	10	30	31	8	0	8
8	36	50	10	40	30	32	10	0	10
9	36	40	40	0	31	33	40	5	35
10	11	90	20	70	32	33	7	0	7
11	20	2500	20	2480	32	34	10	0	10
12	13	10	0	10	33	35	40	5	35
13	14	50	0	50	34	35	15	0	15
14	41	2500	2500	0	35	24	5	5	0
15	11	2500	0	2500	36	34	15	0	15
15	19	40	0	40	36	37	50	50	0
16	14	2500	2500	0	37	25	15	0	15
16	17	10	0	10	37	40	150	50	100
17	18	50	50	0	38	41	2500	50	2450
18	19	50	50	0	39	41	300	50	250
19	20	100	0	100	40	41	150	50	100
19	24	50	50	0					

ในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณการไหลสูงสุดของแม่น้ำแต่ละสาย (ลบ.ม./วินาที) มีอัตราการไหลไม่คงที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงอ้างอิงข้อมูลการไหลของน้ำแต่ละสายตามวันเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล นอกจากนี้ยังมีน้ำมีที่ไหลลงใต้ดิน ระเหยกลายเป็นไอน้ำ การควบแน่นไปใช้ตามบ้านเรือน รวมถึงปริมาณฝนที่ตกเพิ่มลงมาเพิ่ม ทำให้อัตราการไหลของน้ำไม่คงที่ เพื่อลดความซับซ้อนของการทดลองในระยะแรกผู้วิจัยได้ทำการตัดปัจจัยเหล่านั้นออก

อัตราการไหลของน้ำต่อวินาทีของคลองแต่ละสาย แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ทิศทางการไหล (สดมภ์ที่ 1 และ 6) ปริมาณสูงสุดที่ไหลได้ (ลบ.ม./วินาที) (สดมภ์ที่ 3 และ 8 ) ปริมาณที่โปรแกรมตัดสินใจให้น้ำไหลผ่าน (ลบ.ม./วินาที) (สดมภ์ที่ 4 และ 9) และปริมาณความจุคงเหลือ (ลบ.ม./วินาที) (สดมภ์ที่ 5 และ 10)

เส้นทางการไหลของน้ำที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม ประกอบด้วย

- เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1-9-36-37-40-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 40 ลบ.ม/วินาที หรือ 3,456,000 ลบ.ม/วัน
- เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1-8-36-37-40-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 10 ลบ.ม/วินาที หรือ 864,000 ลบ.ม/วัน
- เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1- 8-26-27-29-31-33-35-24-25-39-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 5 ลบ.ม/วินาที หรือ 432,000 ลบ.ม/วัน

- เส้นทางไหลของน้ำจากโหนดที่ 1- 8-26-27-22-23-24-25-39-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 25 ลบ.ม/วินาที หรือ 2,160,000 ลบ.ม/วัน
- เส้นทางไหลของน้ำจากโหนดที่ 1- 8-26-27-22-23-17-18-19-24-25-39-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 20 ลบ.ม/วินาที หรือ 1,728,000 ลบ.ม/วัน
- เส้นทางไหลของน้ำจากโหนดที่ 1- 7-22-23-17-18-19-24-21-38-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 5 ลบ.ม/วินาที หรือ 432,000 ลบ.ม/วัน
- เส้นทางไหลของน้ำจากโหนดที่ 1- 5-16-14-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 2500 ลบ.ม/วินาที หรือ 216,000,000 ลบ.ม/วัน
- เส้นทางไหลของน้ำจากโหนดที่ 1- 2-10-11-20-21-38-41 มีอัตราการไหลสูงสุดคือ 20 ลบ.ม/วินาที หรือ 1,728,000 ลบ.ม/วัน

รวมอัตราการไหลสูงสุดของน้ำจากคลองทุกสายที่ไหลลงสู่อ่าวไทย คือ 2,650 ลบ.ม/วินาที หรือ 228,960,000 ลบ.ม/วัน โดยคิดจากอัตราการไหลสูงสุดในวันที่ทำการเก็บข้อมูล

## 5. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้ขั้นตอนวิธี labeling graph และ generic augmenting path algorithm สามารถใช้ในการหาคำตอบเส้นทางไหลสูงสุดได้จริง และผลจากการหาคำตอบพบว่า โหนดที่มีเลขประจำโหนดมากมักถูกเลือกก่อนโหนดที่มีตัวเลขประจำโหนดน้อย เนื่องจากการเขียนโปรแกรมจะมีการเลือกเส้นทางใหม่ที่ทับเส้นทางเก่าไปเรื่อย ๆ จากผลการหาคำตอบพบว่า เส้นทางไหลบางเส้นไม่ถูกเลือกให้มีน้ำไหล เนื่องจากเส้นทางไหลของน้ำช่วงระหว่างกลางทางมีความจุน้อยกว่าเส้นทางน้ำตอนต้นและตอนปลาย จึงทำให้แม่น้ำหลาย ๆ สายไม่มีน้ำไหลผ่าน เมื่อค้นหาปริมาณน้ำไหลสูงสุด คำตอบที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเนื่องจากข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในแต่ละวันไม่เท่ากัน

ผลจากการใช้โปรแกรมหาคำตอบพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถใช้หาคำตอบที่เหมาะสมได้เมื่อแปลงเส้นทางน้ำเป็นโหนดและ arc โดยต้องทำการลดขนาดโหนดให้เหมาะสมถ้าขนาดโหนดเยอะเกินไปโปรแกรมจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นคำตอบ จากการทดลองครั้งนี้เมื่อใช้จำนวนโหนด 125 โหนด พบว่า 15 นาทีผ่านไปก็ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ แต่เมื่อลดโหนดลงเหลือ 41 โหนด พบว่าสามารถหาคำตอบได้ภายใน ครึ่งนาที

งานวิจัยฉบับนี้อาจจะมีส่วนช่วยในการตัดสินใจในการผันน้ำของสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานครเพราะคำตอบจากงานดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการระบายน้ำด้วยอัตราที่สูงที่สุดจากตอนบนลงสู่ตอนล่างของกรุงเทพมหานคร จะสามารถระบายได้สูงสุดเท่าใด เส้นทางใดบ้างที่ใช้เต็มประสิทธิภาพ เส้นทางใดบ้างที่เหลือ เมื่อสำนักระบายน้ำทราบว่าเส้นทางใดเต็มประสิทธิภาพก็สามารถเผื่อระวังไม่ให้เส้นทางดังกล่าวเกิดการอุดตันหรือขาดสภาพคลองในการระบายน้ำ ทำให้เป็นข้อมูลสำคัญในการช่วยบริหารจัดการน้ำร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ ที่มีอยู่เดิม

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alisa Tangap (2 December 2011). *Thailand cleans up, but some areas remain flooded*. [Online] Available: <http://www.sandiegouniontribune.com/sdut-thailand-cleans-up-but-some-areas-remain-flooded-2011dec01-story.html>
- [2] R.A. Garrido, P. Lamas, F. Pino, “A stochastic programming approach for floods emergency logistics,” *Transportation Research Part E*, Vol 75, pp. 18-31, 2015.
- [3] M.T. Anees, K. Abdullah, M. Nawawi, N. Norulaini, R. Piah, N.A. Zakaria, M.I. Syaki, M.O.A. Kadir, “Numerical modeling techniques for flood analysis,” *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 124, pp. 478-486, 2016.

- [4] Q. Miao, D. Yang, H. Yang, Z. Li, "Establishing a rainfall threshold for flash flood warnings in China's mountainous areas based on a distributed hydrological mode," *Journal of Hydrological.*, Vol. 541, pp. 371-386, 2016.
- [5] สุดารัตน์ ภิรมย์. การจำลองสภาพน้ำท่วมด้วยแบบจำลอง HEC-RAS และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อบรรเทาอุทกภัยในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้แก้มลิง. วิทยานิพนธ์ที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2554.
- [6] อริยะ อินทรา. "การศึกษาระบบป้องกันและบรรเทาอุทกภัย กรณีศึกษากลุ่มแม่น้ำชีตอนบนในเขตจังหวัดชัยภูมิด้วยแบบจำลอง MIKE11". *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9*. 2016.
- [7] ศนิवार ศรีอุทา, อรรถพล ทองขาว, เทพภากร สิทธิวันชัย, นันทกฤษณ์ ยอดพลมิตร. *การจัดเตรียมเส้นทางการอพยพสำหรับพื้นที่เกิดอุทกภัยในประเทศไทย: กรณีศึกษา บ้านลำเบ็ด ตำบลตำนาน อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง*. ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัญญาและการยศาศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2555.
- [8] จักกฤษ พฤษการ. *โปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์บนอินเทอร์เน็ตสำหรับระบบเตือนภัยน้ำท่วมโดยใช้การสื่อสารข้อมูลแบบชิงโครนัส*. สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2555.
- [9] J. Siririsakulchai, N. Harnpornchai, K. Autcharyapanitkul, and S. Sriboonchitta. "A flood risk assessment based on maximum flow capacity of canal system," *Lectures Notes in Computer Science*. Vol. 9978, 2016.
- [10] ธัญกิจ. (29 มกราคม 2561). *รายชื่อคลองในกรุงเทพมหานคร*. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: [https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%9E%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%A3#cite\\_note-1](https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%9E%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%A3#cite_note-1).
- [11] E. Mayr, H. Räckle. (1 February, 2018). *The Generic Augmenting Path Algorithm*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.14.in.tum.de>
- [12] K.G. Kakoulis and I.G. Tollis. (1 February, 2018). *Chapter 15 Labeling Algorithms*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://cs.brown.edu>