โดย

นางสาวแพรวนภา อินตา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางการไหลในข่ายงานเพื่อหาอัตราการไหลสูงสุดของกรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวแพรวนภา อินตา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

NETWORK FLOW ALGORITHM IMPLEMENTATION TO DETERMINE MAXIMUM WATER FLOW OF BANGKOK

By

MISS Praewnapa INTA

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2017

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางการไหลในข่ายงานเพื่อหาอัตราการไหลสูงสุดของกรุงเทพมหานคร
โดย	แพรวนภา อินตา
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์)

58405207 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การไหลสูงสุด, ขั้นตอนวิธีเลเบล, ขั้นตอนวิธีขยาย

นางสาว แพรวนภา อินตา: การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางการไหลในข่ายงานเพื่อหาอัตราการไหลสูงสุดของกรุงเทพมหานคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์

วิกฤตินำ้ท่วมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยปี 2554 ทำให้เกิดความเสียหายในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร เนื่องจากไม่สามารถระบายน้ำลงสู่อ่าวไทยได้ทันเวลา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประยุกต์สองขั้นตอนวิธี (Algorithm) ได้แก่ ขั้นตอนวิธีเลเบล (Labeling algorithm) และขั้นตอนวิธีขยาย (Generic augmenting part algorithm) เพื่อใช้หาเส้นทางและปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำจากทางตอนบนของกรุงเทพมหานครลงสู่อ่าวไทย การไหลสูงสุดของน้ำในกรุงเทพมหานครแทนการไหลในข่ายงาน (Network flow) แม่น้ำและคลองต่าง ๆ แทนด้วยโหนด (nodes) และเส้นเชื่อม (arcs) โดยขั้นตอนวิธีเลเบล (Labeling algorithm) ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดต้นทาง (sort) ไปยังโหนดปลายทาง (sink) หลังจากนั้นขั้นตอนวิธีขยาย (Generic augmenting part algorithm) จึงทำหน้าที่หาปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำ ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำในกรุงเทพมหานครคือ 228,960,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

58405207 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)
Keyword : Maximum Flow, Labeling Algorithm, Generic Augmenting Part Algorithm

MISS PRAEWNAPA INTA : NETWORK FLOW ALGORITHM IMPLEMENTATION TO DETERMINE MAXIMUM WATER FLOW OF BANGKOK THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. KANATE PANSAWAT

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาต่อ สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คเณศ พันธุ์สวาสดิ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา และมารดา ที่ส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสในการศึกษาหาความรู้เพื่อนำไปพัฒนาตนเองและประเทศชาติให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

แพรวนภา อินตา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ฌ
สารบัญภาพ (ต่อ) ..... ญ
บทที่1 1
บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 สมมติฐาน 2
1.6 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง 3
บทที่ 2 4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎี 4
2.1.2 ปัญหาการไหลสูงสุด (Maximum Flow Problem) 5
2.1.3 ทฤษฎีและสมมติฐานของปัญหาการไหลสูงสุด 6
2.1.4 Labeling Algorithm 6

2.1.5 Generic augmenting part algorithm 7
2.1.6 Minimum Cut 8
2.1.7 การประยุกต์ใช้ปัญหาการไหลสูงสุด (Maximum Flow Problem) 8
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
บทที่ 3 16
วิธีการทดลอง 16
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล 17
3.1.1 เส้นทางการไหลของน้ำ 17
3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายน้ำ 18
3.2 วิเคราะห์ข้อมูล 18
3.3 สร้างขั้นตอนวิธีการ (algorithms) 18
Labeling algorithm 18
Augment algorithm 19
3.3.1 ตัวอย่างการคำนวณ 20
รอบที่ 1 labeling algorithm 20
รอบที่ 1 Augment flow algorithm 21
รอบที่ 2 Labeling algorithm 22
รอบที่ 2 Augment flow algorithm 23
รอบที่ 3 Labeling algorithm และ Augment flow algorithm 24
3.3.2 การพิสูจน์คำตอบ 24
3.4 ออกแบบการรับข้อมูลและการแสดงผล 25
3.5 ทดสอบ แสดงผล และ วิเคราะห์ผล 33
บทที่ 4 35
ผลและสรุปผลการวิจัย 35

4.1 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม 35
4.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมกับปัญหาจริง 41
บทที่ 5 49
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 49
5.1 สรุปผลงานวิจัย 49
5.2 ข้อเสนอแนะ 49
รายการอ้างอิง 50
ประวัติผู้เขียน 53

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟ 12

ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟ (ต่อ) 13

ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟ (ต่อ) 14

ตารางที่ 3.1 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 33
ที่ใช้เพื่อหาคำตอบด้วย Visual basic for application บน Microsoft excel

ตารางที่ 3.1 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 34
ที่ใช้เพื่อหาคำตอบด้วย Visual basic for application บน Microsoft excel

ตารางที่ 4.1 ความจุของแต่ละเส้นทางการไหลจาก s ไปยัง t 35

ตารางที่ 4.2 ความจุของแต่ละเส้นทางการไหลจาก s ไปยัง t 38

ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 44
ที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel

ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 45
ที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel (ต่อ)

ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 46
ที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel (ต่อ)

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการเพิ่ม-ลด % ความจุสูงสุดของน้ำในคลองแต่ละสาย 48
ต่ออัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m3/s)

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 Original network 8

รูปที่ 2.2 Residual Network 10

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการ 16

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างปัญหาการไหลสูงสุดในข่ายงาน 19

รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการเลเบลตามลำดับ 20

รูปที่ 3.4 การค้นพบเส้นทางจาก s ถึง t 20

รูปที่ 3.5 การค้นพบเส้นทางจาก s ถึง t 21

รูปที่ 3.6 Residual graph 22

รูปที่ 3.7 การทำงานของ Labeling algorithm รอบที่ 2 22

รูปที่ 3.8 การหาเส้นทางจากโหนด 23

รูปที่ 3.9 การหาเส้นทางจากโหนด s ไปยัง t รอบที่ 2 23

รูปที่ 3.10 residual graph ครั้งที่ 2 23

รูปที่ 3.11 การหาเส้นทางและอัตราการไหลรอบที่ 3 24

รูปที่ 3.12 แสดง residual graph รอบที่ 3 24

รูปที่ 3.13 แสดง minimum cut 25

รูปที่ 4.1 ข่ายงานที่มีความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลของน้ำแต่ละสาย 37

รูปที่ 4.2 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5 37

รูปที่ 4.2 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5 ได้มากที่สุดคือ 3 37

รูปที่ 4.3 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-3-5 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-3-5 ได้มากที่สุดคือ 2 38

รูปที่ 4.4 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-4-5 38

รูปที่ 4.4 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-4-5 ได้มากที่สุดคือ 2 38

รูปที่ 4.5 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-4-5 38

รูปที่ 4.5 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-4-5 ได้มากที่สุดคือ 3 38

รูปที่ 4.6 ข่ายงานที่มีความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลแต่ละสาย 40

รูปที่ 4.7 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5-8 40

รูปที่ 4.7 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5-8 ได้มากที่สุดคือ 3 40

รูปที่ 4.8 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-6-8 41

รูปที่ 4.8 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-6-8 ได้มากที่สุดคือ 2 41

รูปที่ 4.9 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-3-7-8 41

รูปที่ 4.9 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-3-7-8 ได้มากที่สุดคือ 3 41

รูปที่ 4.10 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-4-7-8 42

รูปที่ 4.9 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-4-7-8 ได้มากที่สุดคือ 2 42

รูปที่ 4.11 แผนที่คลองสายหลักของกรุงเทพมหานคร 43

รูปที่ 4.12 การนำโหนดมาอธิบายจุดเชื่อมต่าง ๆ ของคลองแต่ละสาย 44

รูปที่ 4.13 เส้นทางระบายน้ำที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลสูงสุด 48

รูปที่ 4.14 ผลของการเพิ่ม - ลด % ความจุสูงสุดต่ออัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย 49

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มหาอุทกภัยในปี 2554 เป็นภัยพิบัติครั้งใหญ่ที่มีมูลค่าความเสียหายมากที่สุดเป็นอันดับสี่ของโลก [1] เหตุการณ์ดังกล่าวได้สร้างความเสียหายอย่างมากมายมหาศาลในหลายจังหวัดของประเทศไทย ซึ่งธนาคารโลกได้ประเมินความเสียหายในเบื้องต้น พบว่า ค่าความเสียหายรวมมากถึง 1.44 ล้านล้านบาทและใช้เงินฟื้นฟูอีกกว่า 7 แสนล้านบาท [2] ถ้านับความเสียหายเป็นครัวเรือนเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ได้รับความเสียหายมากกว่า 3,384 ครัวเรือน [3]

แม้ว่ารัฐบาลจะได้รับงบประมาณสำหรับการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมเป็นจำนวนมาก แต่งบประมาณส่วนใหญ่ ถูกนำไปใช้กับการสร้างสิ่งก่อสร้างเป็นหลัก เช่น การสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ ประตูระบายน้ำ และเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น [3] โดยไม่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการผังเมืองและระบบผังคลอง เมื่อถึงฤดูฝน มวลน้ำจำนวนมหาศาลจากทางภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไหลเข้ามาสู่พื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีคูคลองธรรมชาติที่มีความซับซ้อนสูงและมีจำนวนมากกว่า 1,682 สาย และยากที่จะประมาณอัตราการระบายน้ำสูงสุดต่อวัน ที่ไหลจากตอนบนถึงตอนล่างของกรุงเทพมหานครได้ การระบายน้ำที่ไม่ทันเวลา ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมขังในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครซ้ำ ๆ อยู่เสมอ

การเกิดน้ำท่วมซ้ำรอยหลายครั้งในกรุงเทพมหานคร สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาการจัดการผังเมืองและระบบผังคลองที่ผิดพลาดได้เป็นอย่างดี ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรจะต้องตระหนักและหาแนวทางร่วมกันในการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วม เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมที่เกิดซ้ำ ๆ ในอนาคต

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงนำทฤษฎีปัญหาการไหลสูงสุด (Maximum flow problem) มาอธิบายเส้นทางการไหลของน้ำที่ไหลจากตอนบนของพื้นที่กรุงเทพมหานครออกสู่อ่าวไทย และใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการไหลสูงสุด ได้แก่ Generic augmenting part algorithm และ Labeling algorithm โดยงานวิจัยฉบับนี้ ใช้ Visual basic for application บนโปรแกรม Microsoft excel ในการช่วยแก้ปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำแบบจำลองการไหลในข่ายงาน (Network flow model) มาใช้อธิบายเส้นทางการไหลของน้ำจากตอนบนถึงตอนล่างของกรุงเทพมหานคร และหาอัตราการไหลสูงสุดด้วยขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหา Maximum flow ซึ่งประกอบด้วย Generic augmenting part algorithm และ Labeling algorithm

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) ใช้ข่ายงานอธิบายเฉพาะแม่น้ำสายหลักและคลองสายที่สำคัญเท่านั้น

2) ไม่คำนึงถึงอุโมงค์ระบายน้ำ และน้ำทะเลหนุนตามธรรมชาติ

3) ในข่ายงานไม่มีการปิดกั้นน้ำด้วยประตูระบายน้ำ, ฝนตกเพิ่มเติม หรือน้ำซึมลงใต้ดินและระเหย

4) ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำแต่ละสายถือว่าเท่ากันทั้งเส้น ไม่คำนึงถึงความตื้นและลึก รวมทั้งความกว้างที่ไม่เท่ากันตลอดสาย

5) ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณนำมาจากภาครัฐ เป็นข้อมูลอัตราการไหลมากที่สุดในปี พ.ศ. 2554 เท่านั้น

6) คลองย่อยหลายสายจะถูกยุบรวมลงเหลือเป็นเส้นที่สำคัญเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นต้นแบบในการน้ำ Network flow model มาใช้อธิบายอัตราการไหลสูงสุดของกรุงเทพมหานคร

2) สามารถหาอัตราการไหลสูงสุดในกรณีที่ไม่ใช้ประตูระบายน้ำ

3) ทำให้ทราบว่าแม่น้ำสายใดสามารถยอมให้น้ำไหลได้เต็มประสิทธิภาพเพื่อที่จะระบายน้ำลงสู่ตอนล่างของกรุงเทพมหานคร

4) สามารถวิเคราะห์ความไวของอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นและลดลงของน้ำแต่ละสายเทียบกับอัตราการไหลรวมของกรุงเทพมหานคร

5) เป็นการแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้โปรแกรม Microsoft excel บริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 สมมติฐาน

1) เป็นข่ายงานที่มีทิศทาง

2) ความจุทั้งหมดไม่เป็นจำนวนเต็มลบ

3) ข่ายงานทั้งหมดจะไม่มีเส้นทางโดยตรงจากโหนด s ไปยังโหนด t จะมีเฉพาะเส้นเชื่อม (arc) ที่มีความจุเท่านั้น

4) เมื่อใดก็ตามที่เส้นเชื่อม (i,j) อยู่ในเซ็ตของเส้นเชื่อม A, เส้นเชื่อม (j,i) ก็อยู่ในเซ็ตของเส้นเชื่อม A ด้วยเช่นกัน

5) ในข่ายงานจะไม่มีเส้นเชื่อมที่ออกจากจุดเริ่มต้นเดียวกันไปจุดสิ้นสุดเดียวกัน

6) แม่น้ำแต่ละสายในข่ายงานที่จำลองถือว่าอัตราการไหลคงที่

1.6 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

1) เส้นเชื่อม (arc) หมายถึงเส้นที่เชื่อมระหว่างแต่ละโหนด

2) โหนดส่ง (Source node; s) หมายถึงโหนดที่เป็นโหนดแรกของข่ายงาน

3) โหนดรับ (Sink node; t) หมายถึงโหนดที่เป็นโหนดรับค่าการไหลซึ่งเป็นโหนดสุดท้ายของข่ายงาน

4) เส้นเชื่อม (arc) หมายถึงเส้นที่เชื่อมระหว่างแต่ละโหนด

5) โหนดส่ง (Source node; s) หมายถึงโหนดที่เป็นโหนดแรกของข่ายงาน

6) โหนดรับ (Sink node; t) หมายถึงโหนดที่เป็นโหนดรับค่าการไหลซึ่งเป็นโหนดสุดท้ายของข่ายงาน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

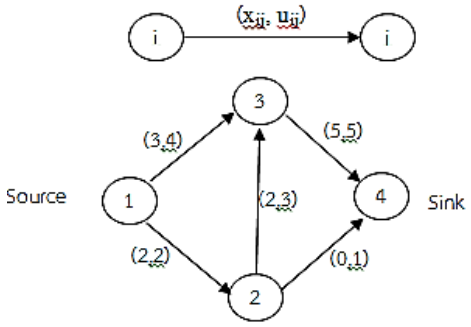
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

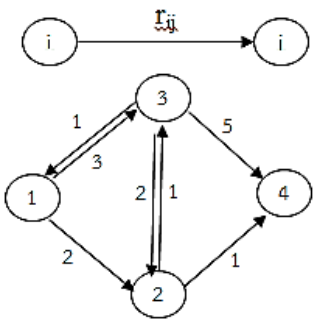
2.1.1 การไหลในข่ายงาน (Network Flow) การไหลในข่ายงาน (Flow Network) คือกราฟที่มีทิศทาง (Directed Graph) โดยแต่ละเส้นเชื่อม (arc) จะมีความจุ (capacity) ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ และปริมาณการไหล (Flow) ที่ออกจากโหนด s จะต้องเท่ากับปริมาณการไหล (Flow) ที่เข้าโหนด t เสมอ ซึ่งต้องไม่เกินความจุของเส้นเชื่อมนั้น การไหลในข่ายงานสามารถใช้สร้างแบบจำลองได้หลายปัญหา เช่น แบบจำลองของการจราจรของรถบนถนน กระแสไฟฟ้า การไหลของน้ำในท่อ รวมถึงปัญหาการไหลของน้ำท่วมในแม่น้ำลำคลองในขณะที่เกิดน้ำท่วมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหามีสองข่ายงาน ได้แก่

1) Original Network คือข่ายงานที่มีการไหลจากโหนด s ไปยังโหนด t โดยผ่านเส้นเชื่อมที่มีความจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่ามีโหนดและมีเส้นเชื่อม ในเส้นเชื่อมแต่ละเส้นจะมีค่าอยู่ 2 ค่า (x_{ij}, u_{ij}) โดยค่าตัวแรกแสดงถึงปริมาณการไหลจริง (x_{ij}) ค่าตัวที่สองแสดงความจุของเส้นเชื่อมแต่ละเส้น (u_{ij})

2) Residual Network คือข่ายงานที่ผ่านการค้นหาเส้นทางการไหลด้วย labeling algorithm และคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดด้วย generic augmenting part algorithm แต่ยังเหลือ flow ที่ยังสามารถไหลได้อีก ซึ่งเป็น flow ที่เหลือจากความจุที่สามารถไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า มีการใช้เส้นเชื่อมสองเส้น เส้นแรกเป็นเส้นที่ไหลย้อนกลับ (Backward) ซึ่งแสดงอัตราการไหลจริง เช่น ถ้าไหลจากโหนด 1 ไป 3 ลูกศรจะชี้จากโหนด 3 มาโหนด 1 ตัวเลขที่แสดงที่เส้นนั้นคืออัตราการไหลจากโหนด 1 ไป 3 และอีกเส้น จะเป็นเส้นที่ไหลไปข้างหน้า (forward) ที่ลากจากโหนด 1 ไป 3 นั่นคือปริมาณการไหลที่เหลือ (residual flow) เช่นจาก original network โหนด 1 ไป 3 มีความจุเป็น 4 หน่วย แต่ไหลได้จริง 3 หน่วย ดังนั้นจึงเหลืออัตราการไหลที่ยังสามารถไหลได้อยู่อีก 1 หน่วย ซึ่งเป็นลูกศรชี้จาก 3 มา 1



รูปที่ 2.1 Original network



รูปที่ 2.2 Residual Network

2.1.2 ปัญหาการไหลสูงสุด (Maximum Flow Problem) ปัญหาการไหลสูงสุด (Maximum Flow Problem) เป็นหนึ่งในแบบจำลองพื้นฐานของการหาค่าที่เหมาะสมในข่ายงาน (Network Optimization) สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหลในข่ายงานที่จะไหลมากที่สุดเท่าที่จะสามารถไหลได้ในระหว่างสอง node ได้แก่ โหนด s และ t โดยมีสองอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการไหลสูงสุด ได้แก่ Augmenting path algorithm เป็นการหาเส้นทางเพื่อเพิ่มการไหลให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาศัยกฎเรื่องปริมาณการไหลที่ออกจากโหนด s จะต้องเท่าปริมาณการไหลที่เข้าโหนด t เสมอ และ Pre flow-push algorithm เป็นการเพิ่มการไหลให้มากที่สุดจาก s ไปยัง t ก่อน จากนั้นทำให้เกิดการไหลย้อนกลับจาก t มายัง s เนื่องจากกฎเรื่องปริมาณการไหลที่ออกจากโหนด s จะต้องเท่าปริมาณการไหลที่เข้าโหนด t เสมอ นอกจากนี้ปัญหาการไหลสูงสุดยังมีความคล้ายกับปัญหาวิถีสั้นสุด (Shortest path problem) โดยทั้งสองเป็นปัญหาย่อยในอัลกอริทึมสำหรับ minimum cost flow problem แต่ต่างกันที่ปัญหาวิถีสั้นสุดมีเส้นเชื่อมเป็น cost แต่ปัญหาการไหลสูงสุดมีเส้นเชื่อมเป็น capacities ซึ่งปัญหาการไหลสูงสุด เริ่มต้นใช้ในปี ค.ศ.1954 โดย T. E. Harris และ F. S. Ross ทำการสร้างแบบจำลองการไหลเส้นทางจราจรรถไฟของสหภาพโซเวียต [4] จากนั้นในปี 1955, Lester R. Ford, Jr. และ Delbert R. Fulkerson ทำให้อัลกอลิทึมนี้ให้เป็นที่รู้จักกันมากขึ้นในชื่อ Ford Fulkerson algorithm. [5] [6] [7] ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีการไหลสูงสุด-คัตต่ำสุด (Maximum Flow Minimum Cut Theorem) และแนวคิดในการขยายเส้นทางของอัลกอริทึม (Augmenting Path Algorithm) รวมทั้งนำ Labeling Algorithm มาใช้ในการแก้ไขปัญหา[8] [9] ต่อมาปี 1970 Edmonds, Karp และ Dinic ได้ทำการพิสูจน์การขยายเส้นทางของอัลกอริทึมที่สั้นที่สุด (Shortest Augment Path Algorithm) เป็น Strongly Polynomial ที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการไหลสูงสุดในข่ายงาน ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในขณะนั้น [10]

2.1.3 ทฤษฎีและสมมติฐานของปัญหาการไหลสูงสุด

สมมติฐานที่ 1 เป็นข่ายงานที่มีทิศทาง

สมมติฐานที่ 2 ความจุทั้งหมดไม่เป็นจำนวนเต็มลบ

สมมติฐานที่ 3 ข่ายงานทั้งหมดจะไม่มีเส้นทางโดยตรงจากโหนด s ไปยังโหนด t จะมีเฉพาะเส้นเชื่อม (arc) ที่ความจุไม่จำกัดเท่านั้น

สมมติฐานที่ 4 เมื่อใดก็ตามที่เส้นเชื่อม (i,j) อยู่ใน A, เส้นเชื่อม (j,i) ก็อยู่ใน A ด้วย

สมมติฐานที่ 5 ในข่ายงานจะไม่มีเส้นเชื่อมที่ออกจากโหนด i เดียวกันไหลเข้าสู่โหนด j เดียวกัน

สมมติฐานที่ 6 กราฟในข่ายงาน G = (N,A) ที่มีความจุที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ u_{ij} ที่แต่ละเส้นเชื่อม (i,j) $\in$ A ให้

U = Max $\{u_{ij} : (i,j) \in A\}$

A (i) = $\{(l,k) : (l,k) \in A\}$ ที่มีเส้นเชื่อมทั้งหมดที่ออกมาจากโหนด i

สามารถเขียนปัญหาได้ดังต่อไปนี้

Maximize **v**

Subject to

$$\sum_{\{j:\,(i,j)\in A\}} x_{ij} - \sum_{\{j:\,(j,i)\in A\}} x_{ji} = \begin{cases} v & for\ i = s \\ 0 & for\ all\ i \in N - \{s\ and\ t\} \\ -v & for\ i = t \end{cases} \quad [a]$$

$$0 \le x_{ij} \le u_{ij}\ for\ each\ (i,j) \in A \quad [b]$$

เมื่อ *v* เป็นค่าของอัตราการไหล

2.1.4 Labeling Algorithm เป็นอัลกอริทึมที่ใช้เพื่อหาเส้นทางในกราฟของข่ายงานที่มีการไหลจาก s ไปยัง t เริ่มต้นจากโหนด s แล้วทำการ label จากนั้นสแกนโหนดข้างเคียงว่าโหนด s สามารถไหลไปยังโหนดใดได้บ้างแล้ว label โหนดข้างเคียง เมื่อสแกนโหนดแรกที่เข้าไปในระบบได้แล้ว ทำการสแกนโหนดถัดไปที่เข้าไปในระบบแล้วตรวจสอบว่าโหนดนั้นว่าสามารถไหลไปโหนดใดได้บ้าง แล้วนำโหนดข้างเคียงนั้นเข้าไปในระบบแล้วทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบเส้นทางจาก s ไปยัง t โดยมีอัลกอริทึม ดังนี้

Labeling path algorithm

Algorithm labeling

begin

label node t;

while t is labeled do

begin

unlabel all nodes;

set pred (j) : = 0 for each j $\in$ N;

label node s and set LIST : = {s};

while LIST $\neq\emptyset$ or t is unlabeled do

begin

remove a node I from LIST;

for each arc (i,j) in the residual network emanating from node I do

if $r_{ij} > 0$ and node j is unlabeled then set pred(j) : = I, label node j, and

end;

if t is labeled then augment

end;

end;

procedure augment;

begin

use the predecessor labels to trace back from the sink to the source

to

δ : = min{rij : (i,j) $\in$ P};

Augment δ units of flow along P and update the residual capacities;

end;

2.1.5 Generic augmenting part algorithm เป็นวิธีการแบบดั้งเดิมในการแก้ไขปัญหาการไหลสูงสุด ถูกพัฒนาโดย Ford and Fulkerson เริ่มจากการไหลในเส้นเชื่อมที่สามารถจะไหลไปได้ โดยมี flow ที่ไหลออกจาก s ไปยัง t จากนั้นทำการค้นหาเส้นทางการไหลจาก s ไปยัง t ที่สามารถไหลไปได้เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่า Generic augmenting part algorithm (การขยายอัลกอริทึม) ดำเนินการ

ต่อไปจนกระทั่งไม่พบเส้นทางอื่นอีก จึงสิ้นสุดกระบวนการของอัลกอริทึมนี้ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.3 - 2.6

Generic augment path algorithm

Algorithm augmenting path;

begin

x : = 0;

while G(x) contain a directed path from node s to node t do

begin

identify an augmenting path P from node s to node t;

δ : = min{ r_{ij} : (I, j) $\in$ P};

Augment δ units of flow along P and update G(x);

end;

end; [11]

2.1.6 Minimum Cut ในข่ายงานจะมีโหนดหลายโหนด ในที่นี้จะมีทั้งโหนดที่เป็น s และโหนดที่เป็น t ในข่ายงานเดียวกัน การหาปริมาณการไหลสูงสุดถ้าเราตัดเส้นเชื่อมในข่ายงานออกจากกัน ซึ่งให้ s อยู่ในเซ็ตของ S และ t อยู่ในเซ็ตของ $\overline{S}$ เราจะสังเกตปริมาณเส้นเชื่อมที่ไหลจาก S ไปยัง $\overline{S}$ แทนที่จะสังเกตการไหลจาก s ไปยัง t จากนั้นนำความจุของเส้นเชื่อมที่ตัดระหว่าง S กับ $\overline{S}$ มารวมกัน โดยทฤษฎีกล่าวไว้ว่าปริมาณการไหลสูงสุดจะน้อยกว่าหรือเท่ากับคัตต่ำสุด (Maximum Flow ≤ Min Cut) ดังแสดงในรูปที่ 7-11

2.1.7 การประยุกต์ใช้ปัญหาการไหลสูงสุด (Maximum Flow Problem)

1. Feasible Flow Problem
2. Problem of Representatives
3. Matrix Rounding Problem
4. Scheduling on Uniform Parallel Machines
5. Distributed Computing on a Two-Processor Computer Tanker-Scheduling Problem

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตมรสุม มีฝนตกและปริมาณน้ำฝนมาก จึงทำให้เกิดน้ำท่วมในหลายภูมิภาคอยู่เสมอ จากเหตุการณ์มหาอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ที่สุดในรอบ 50 ปี เกือบทุกจังหวัดของประเทศไทยเมื่อปี 2554 โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครที่เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งนั้นได้สร้างความเสียหายมากมาย อย่างไรก็ตามนักวิจัยในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย ทำการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองเกี่ยวกับน้ำท่วมต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งการสร้างโปรแกรมมาใช้ในการแก้ไขปัญหาน้ำท่วม

Velazquez et al. (2011) [12] ใช้ multi-model framework พยากรณ์ความน่าจะเป็นของน้ำท่วมซึ่งใช้ single hydrological model ดำเนินการด้วยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาทั้งหมดและใช้ multiple hydrological model โดยการกำหนดแนวทางวิธีการพยากรณ์ ซึ่งศึกษาแบบจำลองของที่กักเก็บน้ำ 16 แห่ง จาก 29 แห่งในฝรั่งเศส โดยมีจุดมุ่งหมายในการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน และ ความเชื่อถือได้ของประเภทของ hydrological ensemble prediction systems (H-EPS) ที่ต่างกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การคาดการณ์ทั้งหมดที่ได้จากการรวมโครงสร้างของ hydrological model เข้าด้วยกัน และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาทั้งหมดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีความเชื่อถือได้มากกว่าการคาดการณ์ทั้งหมดที่ได้จาก one single hydrological model ที่ได้จากการคาดการณ์จากสภาพอากาศหรือ hydrological model อื่น ๆ มากมาย

Wu et al. (2014) [13] ทำการตั้งค่าวิธีการแบบ VIC (Variable Infiltration Capacity) การประเมินสถานการณ์น้ำท่วมแบบ real time ในระดับโลก ภายใต้ Global Flood Monitoring System (GFMS) ซึ่งมี resolution ในการสำรวจได้ถึง 1/8th degree resolution maps และยังสามารถขยายเข้าออกเพื่อเห็นรูปที่ชัดเจนขึ้นได้อีกด้วย สร้างจากเทคนิคที่ใช้สำหรับพิสูจน์บางตัวแปรของ primal และ dual simplex algorithms บนปัญหา maximum flow ซึ่งพบว่า primal monotonic build-up simplex algorithm (MBU SA) ยังเป็นบางตัวแปรของพหุนาม ซึ่งเป็นโครงสร้างที่น่าสนใจ : algorithm ที่สร้างที่ขั้นตอน most m dual non degenerate, แต่ละขั้นตอนแยกโดยขั้นตอน most 2 nm dual degenerate

Edangodage Duminda Pradeep Perada et.al. (2014) [14] ศึกษาการประเมินศักยภาพของวิธีการ Fuzzy logic เพื่อพยากรณ์สถานการณ์น้ำท่วมแบบ real time โดยใช้ minimum implication function type Mamdani fuzzy inference system โดยประยุกต์ใช้

แบบจำลองสำหรับลุ่มแม่น้ำ Kelantan ในประเทศมาเลเซีย โดยศึกษาและพัฒนาสำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำที่ไหลลงที่สถานีวัดระดับน้ำ Guile mard และ Kuala Krai โดยใช้ upstream hourly telemetric water level ของสถานี Dabong และ Tualang ฟังก์ชั่น membership (MFs) ของรูปสามเหลี่ยมหลายๆชุดที่เซ็ต fuzzy logic ถูกนำไปใช้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการ fuzzy logic สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในแม่น้ำ Kelantan ระดับน้ำที่พยากรณ์สำหรับสถานีวัดระดับน้ำ ระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำ Guile mard ขึ้นกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นสองระดับด้วยรูปสามเหลี่ยมของ MFs และตัวเลขของกฎที่ต่างกันคงเวลานำที่ 12 ชั่วโมง ทำการทดสอบแบบจำลองสามแบบจำลองและผลการทดลองค่อนข้างใกล้เคียงกับที่เคยทดลอง การประยุกต์ใช้ข้อมูลรายชั่วโมงด้วยการ over lab MFs เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ได้ผลดีพอสมควร

Rodrigo A et. al. (2015) [15] สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ (decision makers) การขนส่งในสถานการณ์น้ำท่วมฉุกเฉิน แบบจำลองทำการทดลองเพื่อหาระดับการคงคลังที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ฉุกเฉิน ตลอดจนยานพาหนะที่พร้อมใช้งาน เพื่อที่จะส่งมอบสิ่งของจำเป็นให้เพียงพอต่อความต้องการ แบบจำลอง stochastic programming ออกแบบมาเพื่อใช้ในการตัดสินใจและค่าใช้จ่ายของการขนส่งในช่วงน้ำท่วมฉุกเฉิน แบบจำลองหาค่าที่เหมาะสมของระดับการคงคลังในพื้นที่ที่ต่างกันให้ รวมทั้งความต้องการจากพื้นที่ต่าง ๆที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม กรอบการสร้างแบบจำลองในบทความนี้คือ ไม่มีการกำหนดค่าการกระจายความน่าจะเป็นไว้ก่อนสำหรับน้ำท่วมที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แต่ละรูปแบบจริงของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่วมในสองตำแหน่งและ/หรือช่วงเวลา สามารถทำได้จาก Monte Carlo simulation ทำการประยุกต์โครงสร้างของแบบจำลองเพื่อทดสอบกับตัวอย่าง 6 พื้นที่ 2 ผลิตภัณฑ์และ 4 ช่วงเวลา ผ่านการอธิบายโดยวิธีการ ขอบบนและขอบล่างที่หามาสำหรับแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม (optimization problem) ช่องว่างระหว่างขอบทั้งสองค่อนข้างใหญ่ (31%) อย่างไรก็ตามวิธีแก้ขอบบนเพื่อตอบสนองความต้องการฉุกเฉินด้วยความต้องการระดับความพึงพอใจ ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับประกอบการตัดสินใจ (decision maker (DM)) ภายใต้แรงกดดันของการบริการแบบฉุกเฉินในสถานการณ์รุนแรง การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) ทดลองในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อ objective function การขยายตัวของพื้นที่ 10 พื้นที่ 5 ผลิตภัณฑ์และ 6 ช่วงเวลา ผลแสดงให้เห็นว่ามรบางพารามิเตอร์ที่การขนส่งขั้นวิกฤติ เนื่องจากสิ่งรบกวนเล็กน้อยของค่าต่าง ๆ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ใหญ่ขึ้นในเรื่องค่าใช้จ่ายทั่ว ๆไป จุดวิกฤติต่าง ๆ เป็นพารามิเตอร์ของ

จำนวนของผลิตภัณฑ์ จำนวนของช่วงเวลาและความจุของคลัง ซึ่งมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อ objective function เมื่อเปลี่ยนแปลง

Mohd Talha Anees et. al. (2016) [16] ใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการวัดพฤติกรรมไดนามิกของน้ำท่วม ความแม่นยำของแบบจำลองขึ้นอยู่กับชนิดของแบบจำลองที่ใช้และสมการของสถานการณ์จำลอง รีวิวนี้หาแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับพารามิเตอร์ของน้ำท่วมที่แตกต่างกัน และทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ระหว่าง 1D และ 2D ในรีวิวนี้พบข้อมูลปริมาณน้ำฝน ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นข้อมูลพร้อมใช้ที่ได้จากสถานีวัดน้ำซึ่งต้องได้ข้อมูลแต่ละพื้นที่ที่แม่นยำ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงข้อมูลที่กระจัดกระจายในสิ่งแวดล้อม การใช้แบบจำลองสำหรับพารามิเตอร์อื่น ๆของการสูญเสียทางอุทกภัยที่พบ เช่น Priestly Taylor model with CMOS สำหรับ การระเหยของน้ำ, revised Gash's model สำหรับ การกั้นน้ำ, modified Green Ampt model สำหรับการแทรกซึมและ การปรับเปลี่ยนวิธี SCSCN method สำหรับน้ำที่ไหลบ่า อีกหนึ่งเรื่องสำคัญที่กล่าวถึงคือข้อดีและข้อเสียของ 1D และ 2D ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น HEC RAS, MIKE11 and FLO 2D เน้นทั้ง HEC RAS และ MIKE 11 มีความสามารถเป็นช่องการจำลองสถานการณ์น้ำที่แม่นยำ แต่ HEC RAS สามารถใช้ได้อย่างอิสระ และ MIKE 11 ยังคงมีตัวเลือกที่จะนำเข้าข้อมูลจาก HEC RAS

Qinghua Miao et. al. (2016) [17] สร้างแบบจำลอง distributed hydrological model (GBHM) สำหรับจำลองพื้นที่กักเก็บน้ำ 4 พื้นที่ใน humid, semi-humid และ semi-arid ในประเทศจีน ได้ทำการหาเกณฑ์สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมผ่านการวิเคราะห์ความถี่ตามผลของการจำลองสถานการณ์ จากนั้นวิธีการหาเกณฑ์สำหรับการเตือนสำหรับฝนตกผ่าน binary classification procedure จำลองสถานการณ์น้ำท่วมโดยใช้ GBHM ใน 4 พื้นที่ ซึ่งผลให้ดีในพื้นที่ humid การวิเคราะห์ความถี่เพื่อนำไปหาเกณฑ์สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมจาก GBHM simulation

สุดารัตน์ ภิรมย์ (2554) [18] ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS และโปรแกรม HEC-Geo RAS ที่ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ จำลองสภาพการบรรเทาน้ำท่วมในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ได้ใช้ผลการศึกษาตำแหน่งที่เหมาะสมของการมีแก้มลิงในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างจากการศึกษาของ The Asian Development Bank :ADB (2007) ทำการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำผิวดิน HEC-RAS เพื่อคำนวณการไหลในแม่น้ำเจ้าพระยา จากนั้นปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS แบบผันแปรตามเวลาแล้วนำแก้มลิงเข้าสู่แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS โดยใช้ Storage Area Module ผลการคำนวณทำให้เห็นว่าการมีแก้มลิงใน

พื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างสามารถลดระดับน้ำท่วมได้อย่างมีนัยสำคัญ คือ ระดับน้ำเฉลี่ยทั้งลำน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ลดลงเนื่องจากการมีแก้มลิงทั้งทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าเท่ากับ 1.09 เมตร เมื่อเทียบกับระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยากรณีไม่มีแก้มลิง

อริยะ อินทรา (2555) [19] ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 สอบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำในปี 2552 และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลค่าระดับน้ำในปี 2553 มี 3 กรณีศึกษาได้แก่ 1.การขุดลอกแม่น้ำชีและลำน้ำสาขา 2. การก่อสร้างคันกั้นน้ำป้องกันน้ำท่วม 3.รวมกรณีที1และ 2 เข้าด้วยกัน ผลที่ได้วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการรวมทั้งวิธีที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกันมีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากสามารถลดความสูงของคันกั้นน้ำที่จะก่อสร้างได้

ศนิวาร ศรีอุทา อรรถพล ทองขาว และคณะ (2555) [20] ศึกษาแผนการอพยพโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประยุกต์ใช้กับ excel solver โดยคำนวณจากระยะทางที่สั้นที่สุดที่ใช้ในการอพยพประชากรออกจากพื้นที่เสี่ยงภัย ในพื้นที่หมู่ที่ 5 ตำบลตำนาน อำเภอเมืองพัทลุง จังหวัดพัทลุง โดยมีข้อจำกัดได้แก่ จำกัดความเร็วของยานพาหนะให้คงที่ตลอดระยะเวลาการอพยพก่อนการเกิดอุทกภัย ไม่มีการขนสำภาระติดตัวไปด้วย ไม่คำนึงถึงพื้นที่บริเวณใกล้เคียง ไม่คำนึงถึงสภาพการจราจรที่ติดขัด และไม่คำนึงถึงความเร็วของน้ำที่ไหลมา สามารถอพยพประชากรออกจากพื้นที่ได้ 2 รอบ ได้แก่ รอบที่ 1 การอพยพประชากรจากจุดรวมพลต่าง ๆ โดยใช้ยานพาหนะของประชากรที่มีในแต่ละจุด ทำการอพยพประชากรมายังจุดรวมผลหลักซึ่งปลอดภัยที่สุดคือโรงเรียนวชิรธรรมสถิต และรอบที่ 2 การอพยพประชากรที่เหลือตามจุดรวมพลจากรอบที่ 1 โดยใช้จำนวนยานพาหนะน้อยที่สุดมายังจุกรวมพลหลัก ผลที่ได้ทำให้เส้นทางดังกล่าวเหมาะสำหรับที่จะใช้อพยพประชากรแกจากพื้นที่ที่เสี่ยงภัยมาจุดรวมพลทันทีที่ได้รับประกาศแจ้งเตือนจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น จึงไม่เหมาะกับการอพยพประชากรในขณะที่เกิดอุทกภัยอยู่เพราะจะมีปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงได้

Jirakom Sirisrisakulchai et al. (2559) [21] นำเสนอการประเมินความเสี่ยงของน้ำท่วมในมุมของความจุของระบบลำคลอง วิธีการประกอบด้วยแบบจำลองของระบบคลองโดยเครือข่ายการไหล (net work flow) ในทฤษฎีกราฟ นิยามของระบบความจุโดยการไหลสูงสุดของ net work flow การหาปริมาณของความไม่แน่นอนของการกระจายความน่าจะเป็น และนิยามทางคณิตศาสตร์ของความเสี่ยงน้ำท่วม การกำหนดระบบของความจุทำโดยการคำนวณอัลกอลิทึมของปัญหาการไหลสูงสุด ตัวอย่างตัวเลขแสดงถึงการประเมินความเสี่ยงของน้ำท่วมสามารถทำได้โดยวิธีการที่เสนอ สำหรับวิธีนี้ จำเป็นที่จะต้องได้ข้อมูลสำหรับแบบจำลองความจุของลำคลองละความ

ต้องการการไหล เนื่องจากวิธีการปัจจุบันใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงที่ไม่เกี่ยวกับเวลา การประเมินความเสี่ยงในช่วงเวลาเป็นเรื่องของการวิจัยในอนาคต

สรุปการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟได้ในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟ

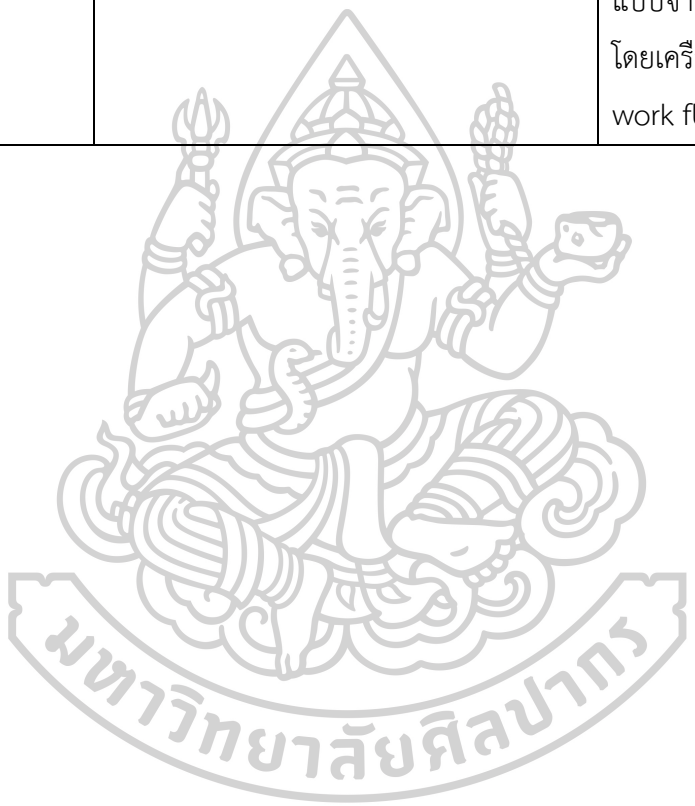
ผู้วิจัย	สิ่งที่ศึกษา	วัตถุประสงค์
Velazquez et al. (2011)	ใช้ multi-model framework พยากรณ์ความน่าจะเป็นของน้ำท่วม	ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน และความเชื่อถือได้ของประเภทของ hydrological ensemble prediction systems (H-EPS) ที่ต่างกัน
Wu et al. (2014)	ทำการตั้งค่าวิธีการแบบ VIC (Variable Infiltration Capacity) การประเมินสถานการณ์น้ำท่วมแบบ real time ในระดับโลก ภายใต้ Global Flood Monitoring System (GFMS)	ประเมินสถานการณ์น้ำท่วมแบบ real time ในระดับโลก ภายใต้ Global Flood Monitoring System (GFMS)
Edangodage Duminda Pradeep Perada et.al. (2014)	ศึกษาการประเมินศักยภาพของวิธีการ Fuzzy logic เพื่อพยากรณ์สถานการณ์น้ำท่วมแบบ real time	ตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการ fuzzy logic สำหรับการพยากรณ์น้ำท่วมในแม่น้ำ Kelantan
Rodrigo A et. al. (2015)	สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ (decision makers) การขนส่งในสถานการณ์น้ำท่วมฉุกเฉิน	การตัดสินใจและค่าใช้จ่ายของการขนส่งในช่วงน้ำท่วมฉุกเฉิน

ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟ (ต่อ)

ผู้วิจัย	สิ่งที่ศึกษา	วัตถุประสงค์
อริยะ อินทรา (2555)	ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 สอบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำในปี 2552 และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลค่าระดับน้ำในปี 2553	สอบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำในปี 2552 และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลค่าระดับน้ำในปี 2553
Mohd Talha Anees et. al. (2016)	สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการวัดพฤติกรรมไดนามิกของน้ำท่วม	เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ระหว่าง 1D และ 2D
Qinghua Miao et. al. (2016)	สร้างแบบจำลอง distributed hydrological model (GBHM) สำหรับจำลองพื้นที่กักเก็บน้ำ 4 พื้นที่ใน humid, semi-humid และ semi-arid ในประเทศจีน	วิเคราะห์ความถี่เพื่อนำไปหาเกณฑ์สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมจาก GBHM simulation
สุดารัตน์ ภิรมย์ (2554)	ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS และโปรแกรม HEC-Geo RAS ที่ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ จำลองสภาพการบรรเทาน้ำท่วมในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำผิวดิน HEC-RAS เพื่อคำนวณการไหลในแม่น้ำเจ้าพระยา

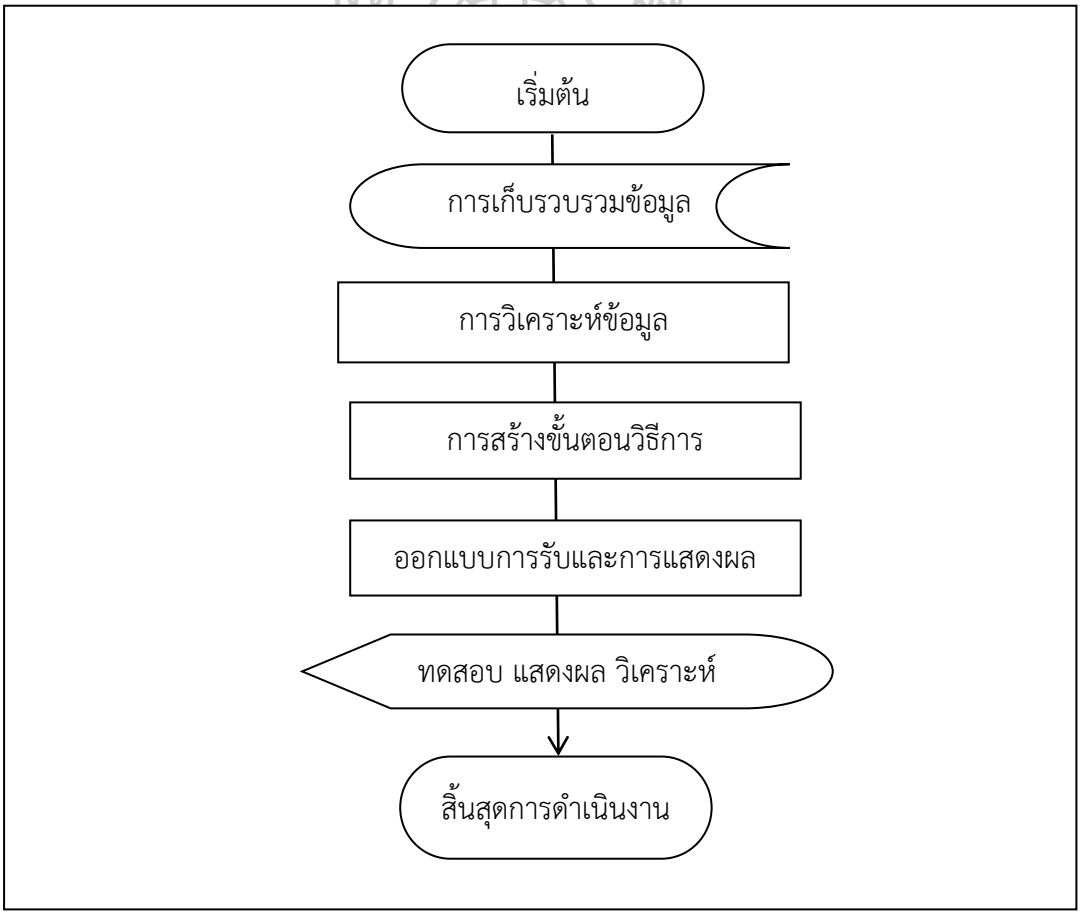
ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและทฤษฎีกราฟ (ต่อ)

ศนิวาร ศรีอุทา อรรถพล ทองขาว และคณะ (2555)	ศึกษาแผนการอพยพโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประยุกต์ใช้กับ excel solver	ศึกษาแผนการอพยพโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประยุกต์ใช้กับ excel solver
Jirakom Sirisrisakulchai et al. (2559)	การประเมินความเสี่ยงของน้ำท่วมในมุมของความจุของระบบลำคลอง	ประเมินความเสี่ยงของน้ำท่วมในมุมของความจุของระบบลำคลอง วิธีการประกอบด้วยแบบจำลองของระบบคลองโดยเครือข่ายการไหล (net work flow) ในทฤษฎีกราฟ



บทที่ 3
วิธีการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมด้วย visual basic for application บนโปรแกรม Microsoft Excel ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อ้างอิงนำมาจากข้อมูลจริงของภาครัฐและเอกชน (ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด) โดยขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การสร้างขั้นตอนวิธีการ การออกแบบการรับและการแสดงผล หลังจากนั้นเป็นการทดสอบโปรแกรมด้วยข้อมูลขนาดกลางและขนาดย่อมเพื่อดูความถูกต้อง แสดงผลการคำนวณ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

โดยผู้วิจัยทำการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับน้ำจากสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาพื้นที่ของกรุงเทพมหานครมีประมาณ 1,568 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่บนที่ลุ่มส่วนท้ายของแม่น้ำเจ้าพระยา บางพื้นที่มีระดับต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง มีคูคลองธรรมชาติ 1,682 สาย รวมระยะทาง 2,600 กิโลเมตร คันกั้นน้ำยาวรวมกัน 152 กิโลเมตร ประตูระบายน้ำ 227 แห่ง ท่อระบายน้ำยาวรวมกัน 6,400 กิโลเมตร สถานีสูบน้ำ 174 แห่ง และยังมีแก้มลิงที่สามารถกักเก็บน้ำ 12.74 ล้านลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ กรุงเทพมหานครได้จัดเตรียมอุโมงค์ระบายน้ำ 7 แห่งประกอบด้วย อุโมงค์ระบายน้ำซอยสุขุมวิท 26 อุโมงค์ระบบผันน้ำคลองเปรมประชากร อุโมงค์ระบบระบายน้ำพื้นที่เขตพญาไท อุโมงค์ระบายน้ำซอยสุขุมวิท 36 อุโมงค์ระบายน้ำซอยสุขุมวิท 42 อุโมงค์ยักษ์พระรามเก้า-รามคำแหง และอุโมงค์ระบายน้ำบึงมักกะสันลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา [22]

ระบบในการระบายน้ำแบ่งออกได้เป็นสองระบบคือปฐมภูมิและทุติยภูมิ สำหรับระบบปฐมภูมิ เป็นการระบายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ประกอบด้วย คลอง คูระบายน้ำ ท่อส่งน้ำ ท่อระบายน้ำหลัก ประตูระบายน้ำ และ สถานีสูบน้ำ และระบบทุติยภูมิทำหน้าที่รวบรวมน้ำจากถนนบ้านเรือน ระบายลงสู่ระบบระบายน้ำปฐมภูมิ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าหน่วยงานต่าง ๆ จะมีการวางแผนและระบบการจัดการน้ำหลายอย่างแต่การระบายน้ำแบบปฐมภูมิโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกนั้น เป็นไปด้วยความยากลำบากเนื่องจากคลองส่วนใหญ่ในกรุงเทพมหานครมีความกว้างที่จำกัด ไม่สามารถขยายได้จึงทำให้มีความจุที่สามารถไหลได้จำกัด

3.1.1 เส้นทางการไหลของน้ำ

กรุงเทพมหานครมีแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายหลักซึ่งไหลจากตอนบนสู่ตอนล่าง และมีคลองเปรมประชากร เป็นคลองลำเลียงน้ำจากตอนบนสู่ตอนล่างเช่นเดียวกัน เมื่อใช้แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นเส้นกั้นแบ่งกรุงเทพ ฯ เป็นฝั่งตะวันออกและตะวันตกพบว่า กรุงเทพมหานคร ฝั่งตะวันออกจะมีคลอง 1 ถึงคลอง 16 ไหลลงสู่คลองแสนแสบ และเข้าสู่แม่น้ำเจ้าพระยา และมีคลองสามเสน คลองบางซื่อ คลองพระโขนง คลองผดุงกรุงเกษม กรุงเทพ ฯ ฝั่งตะวันตกประกอบด้วย คลองทวีวัฒนา คลองบางแวก คลองบางไผ่ คลองบางเชือกหนัง คลองบางกอกน้อย คลองควาย คลองขุนศรีบุรีรักษ์ เป็นต้น [23]

3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายน้ำ

ในการระบายน้ำแต่ละครั้งมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมากมาย ผู้วิจัยจำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการระบายน้ำ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ เลือกปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์ ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายน้ำประกอบด้วย

1. ปริมาณการอุดตันของขยะและผักตบชวา
2. บริเวณคอขวดของคลองที่ทำให้ความจุและอัตราการไหลไม่เท่ากันตลอดที่สาย
3. การสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ
4. การสูบน้ำออกเพื่อลดการท่วมขัง
5. การระเหยของน้ำ
6. การสูบน้ำไปใช้ในการเกษตร
7. ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเพิ่ม
8. ความเอียงตามแรงโน้มถ่วงของโลก
9. น้ำทะเลหนุน
10. การเปิดปิดประตูระบายน้ำ
11. เส้นทางการไหลของน้ำ
12. เส้นทางจริงของคลองในแผนที่จริงที่มีความซับซ้อนแต่บางเส้นมีผลน้อย

3.2 วิเคราะห์ข้อมูล

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า ปัญหาการหาอัตราการไหลสูงสุดในการระบายน้ำของกรุงเทพมหานครทำได้ยากเพราะปัจจัยต่าง ๆ มีจำนวนมาก อย่างไรก็ดีงานวิจัยฉบับต้องการนำเสนอวิธีการคำนวณปริมาณการไหลสูงสุดของแม่น้ำรอบกรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นงานวิจัยต้นแบบในการพัฒนาในอนาคตต่อไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดปัจจัยบางปัจจัย เพื่อลดความซับซ้อนและทำปัญหาสำหรับการวิเคราะห์เบื้องต้น ดังนั้นงานวิจัยจึงมีการตัดอุโมงค์ระบายน้ำและคลองบางสายออกไป

3.3 สร้างขั้นตอนวิธีการ (algorithms)

การวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดจำเป็นต้องใช้ ขั้นตอนวิธี 2 ขั้นตอนวิธีคือ Labeling algorithm และ Augment algorithm โดยขั้นตอนวิธีแรกใช้หาเส้นทางและขั้นตอนวิธีที่สองใช้หาอัตราการไหลสูงสุดในแต่ละเส้นทาง

Labeling algorithm

เพื่อง่ายต่อความเข้าใจ งานวิจัยฉบับนี้จึงอธิบายรายละเอียดของวิธีการด้วยการลำดับขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนการทำงานของ labeling มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แบ่งเซตเป็น 2 เซต คือ เซตที่ติดเลเบล (Labeled) และเซตที่ยังไม่ติดเลเบล (Unlabeled)

ขั้นตอนที่ 2 ให้โหนดทุกโหนดอยู่ในเซตที่ยังไม่ติดเลเบล

ขั้นตอนที่ 3 นำโหนด s เข้าสู่เซตที่ติดเลเบล

ขั้นตอนที่ 4 เลือกโหนด ลำดับแรกสุดที่ยังไม่เคยเลือกและอยู่ในเซตที่ติดเลเบล เป็นโหนด i

ขั้นตอนที่ 5 สแกนหาเส้นทางจากโหนด i ไปยังโหนดใด ๆ สมมุติให้เป็นโหนด j

ขั้นตอนที่ 6 นำโหนด j ทั้งหมดเข้าสู่เซตที่ติดเลเบล และกำหนดว่า โหนด j มาจากโหนด i

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบโหนด t ว่าอยู่ใน เซตที่ติดเลเบลหรือไม่ ถ้าอยู่แล้วให้ดำเนินการขั้นที่ 8 ต่อไป แต่ถ้าไม่อยู่ให้ กลับไปดำเนินการในขั้นที่ 4

ขั้นตอนที่ 8 ทำการย้อนกลับ (Back Tracking) เพื่อหาเส้นทางจาก s ไปยัง t

Augment algorithm

หลังจากขั้นตอนวิธี labeling แล้ว ปัญหาดังกล่าวจะถูกค้นพบเส้นทางหนึ่งเส้นทางสำหรับการเดินจากโหนด s ไปยัง โหนด t (ด้วยการ back tracking) หลังจากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการหาปริมาณการไหลสูงสุด จดจำการไหลที่คำนวณได้โดยใช้ residual graph โดยขั้นตอนวิธีการ augment flow มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 2 เรียกใช้ขั้นตอนวิธี labeling algorithm เพื่อหาเส้นทางจาก โหนด s ไปโหนด t

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบเส้นทางจาก โหนด s ไปยัง โหนด t ว่าค้นพบหรือไม่ ถ้าไม่มีให้ออกจากโปรแกรม ถ้ามีให้ดำเนินการในขั้นตอนที่ 4

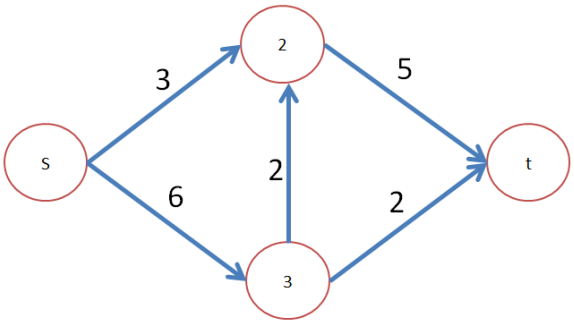
ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราการไหลสูงสุดจากเส้นทางที่พบ โดย อัตราการไหลสูงสุดคือ อัตราการไหลของเส้นที่มีอัตราการไหลต่ำที่สุดจากเส้นทาง s-t

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุง residual graph จาก อัตราการไหลสูงสุดที่หาได้

ขั้นตอนที่ 6 กลับไปขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาเส้นทางการไหลอื่น ๆ

3.3.1 ตัวอย่างการคำนวณ

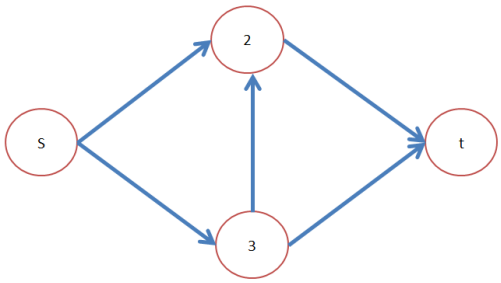
เพื่อง่ายต่อการเข้าใจหลักการทำงาน ผู้วิจัยจึงยกตัวอย่างการหาอัตราการไหลสูงสุดจากโหนด 4 โหนด คือ (1, 2, 3, 4) โดยที่ s และ t คือโหนด 1 และ 4 ตามลำดับ ตัวอย่างดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.2 ตัวเลขประจำกิ่งคืออัตราการไหลสูงสุดของกิ่งแต่ละกิ่ง



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างปัญหาการไหลสูงสุดในข่ายงาน

รอบที่ 1 labeling algorithm

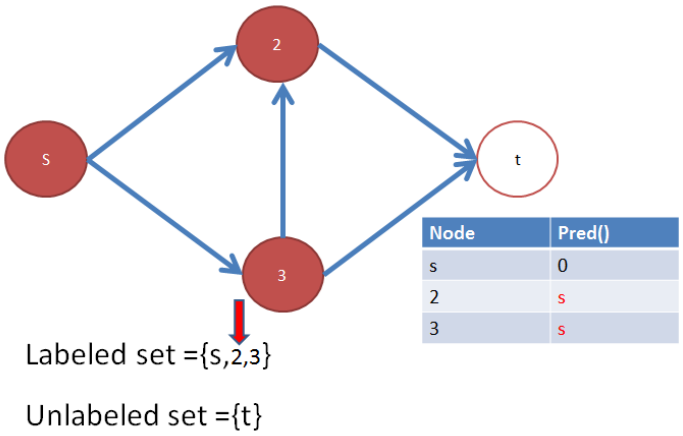
ในการประมวลผลเริ่มจาก labeling algorithm ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทาง โดยเริ่มต้น โหนด s จะถูกเลเบล หลังจากนั้นจะทำการ สแกนหาเส้นทางจากโหนด s โดยจากภาพผู้อ่านจะพบว่า มีเส้นทางไปยังโหนด 2 และ 3 หลังจากนั้นโหนดที่ 2 และ 3 จะถูกเลเบล และถูกกำหนดว่าโหนด 2 และ 3 มาจากโหนด s ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ในรอบการทำงานถัดมา (หลังจากที่โหนด s ถูกสแกนแล้ว) โหนดที่ถูกเลเบลในลำดับถัดไปคือโหนดที่ 2 หลังจากนั้นโหนดที่ 2 จะถูกสแกนหาเส้นทางไปยังโหนดอื่นๆ ซึ่งในที่นี้พบเส้นทางจาก 2 ไปยัง t ซึ่งเมื่อถึง โหนด t แล้ว ขั้นตอนวิธีการจะจบการทำงานเนื่องจากค้นพบเส้นทางจาก s ไป t แล้วดังรูปที่ 3.5



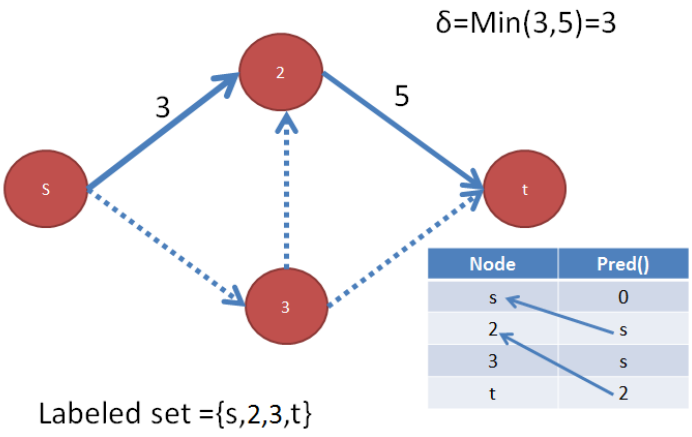
Labeled set ={}

Unlabeled set ={s,2,3,t}

รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการเลเบลตามลำดับ



รูปที่ 3.4 การค้นพบเส้นทางจาก s ถึง t



รูปที่ 3.5 การค้นพบเส้นทางจาก s ถึง t

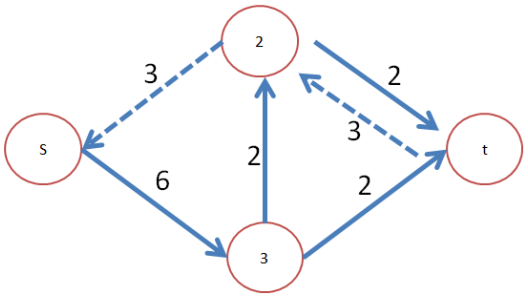
การค้นหาเส้นทางเป็นจากโหนด s ไปยัง t อาจเป็นเรื่องง่ายสำหรับการมองเห็นด้วยสายตา แต่สำหรับคอมพิวเตอร์แล้วยังจำเป็นต้องมีขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่าการมองเห็น คือต้องใช้วิธี back tracking ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.5

จากในตารางท้ายรูป การดำเนินการ back tracking สามารถอธิบายรายละเอียดการทำงานได้คือ จากแถวสุดท้ายพบว่า โหนดที่ t มาจากโหนดที่ 2 และจากแถวที่ 2 พบว่า โหนดที่ 2 มาจาก s ดังนั้น เส้นทางที่พบคือ s-2-t ตามลำดับ

รอบที่ 1 Augment flow algorithm

ขั้นตอนวิธี augment flow เริ่มจากการนำเส้นทางจาก labeling algorithm มาเทียบหาอัตราการไหลมากที่สุดที่ไม่เกินอัตราการไหลของแม่น้ำ (กิ่ง) แต่ละสาย จากรูปที่ 3.5 พบว่า อัตราการไหลที่ไม่เกินของแม่น้ำทั้งสองสายคือ min(3,5) = 3 ดังนั้นอัตราการไหลสูงสุดจาก s-

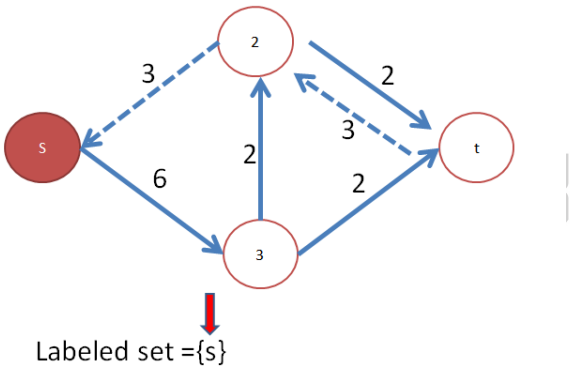
2-t คือ 3 การสร้าง residual graph แสดงดังรูปที่ 3.6 ในการสร้าง residual graph ปริมาณน้ำที่ไหลจาก augment flow algorithm จะถูกแสดงด้วยลูกศรหัวกลับ (หัวลูกศรตรงข้ามกับทิศการไหล) และลูกศรที่มีทิศทางเดิมแสดงถึงอัตราการไหลที่ยังคงเหลืออยู่ของแม่น้ำแต่ละสาย



รูปที่ 3.6 Residual graph

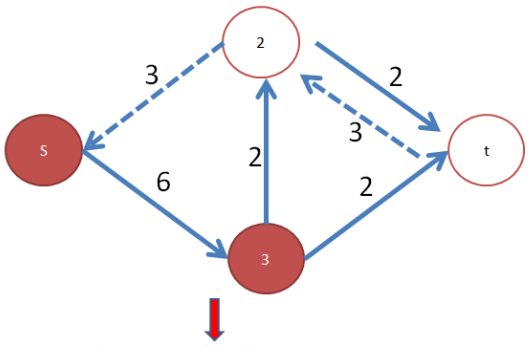
รอบที่ 2 Labeling algorithm

หลังจากทำการคำนวณรอบแรกเสร็จสิ้นแล้ว ถ้ายังคงมีเส้นทางที่น้ำสามารถไหลจาก s ไป t ได้อีก โปรแกรมที่สร้างขึ้นจะทำการค้นหาเส้นทางเพิ่มเติมด้วย Labeling algorithm อีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7

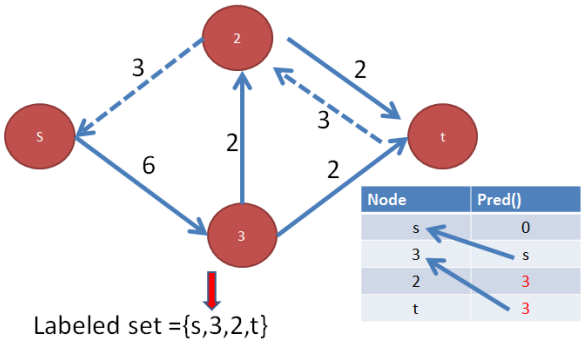


รูปที่ 3.7 การทำงานของ Labeling algorithm รอบที่ 2

ในการหาคำตอบรอบที่สอง เริ่มต้นจากเลเบลโหนด s และสแกนหาเส้นทางจากโหนด s ไปยังโหนดอื่นๆ พบ โหนด 3 เพียงโหนดเดียว จึงทำการเลเบลโหนด 3 และระบุว่าโหนด 3 มาจากโหนด s ดังรูปที่ 3.8 หลังจากนั้นสแกนเส้นทางจากโหนด 3 ไปยังโหนดถัดไป คือ 2 และ t และกำหนดว่า 2 และ t มาจากโหนด 3 ดังรูปที่ 3.9 หลังจากขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะค้นพบเส้นทางจาก s ไปยัง t แล้วและทำการ back tracking เพื่อหาเส้นทาง s-3-t หลังจากนั้นจะทำการ เรียก Augment flow algorithm ต่อไป



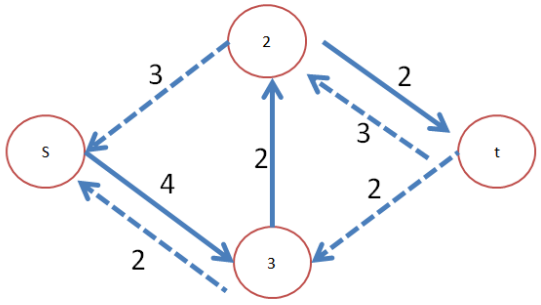
รูปที่ 3.8 การหาเส้นทางจากโหนด s



รูปที่ 3.9 การหาเส้นทางจากโหนด s ไปยัง t รอบที่ 2

รอบที่ 2 Augment flow algorithm

จากการทำงานของ augment flow algorithm ครั้งที่สองนี้พบว่าน้ำไหลได้สูงสุด 2 หน่วย จาก min(4,2) = 2 และทำการปรับปรุง residual graph ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.10



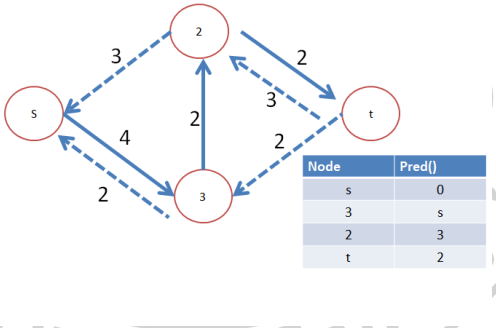
รูปที่ 3.10 residual graph ครั้งที่ 2

รอบที่ 3 Labeling algorithm และ Augment flow algorithm

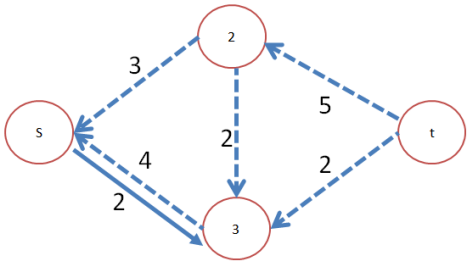
การดำเนินการของโปรแกรมจะทำซ้ำจนกว่าจะไม่พบเส้นทางใดๆ ที่น้ำไหลได้ ดังเช่นรอบที่ 3 ในการหาเส้นทางจะพบเส้นทางการไหลจาก s-3-2-t และอัตราการไหลสูงสุดคือ min(4,2,2)=2 ดังรูปที่ 3.11 และสามารถคำนวณ residual graph ได้ดังรูปที่ 3.12 จากการคำนวณรอบที่ 3 และตรวจสอบจาก residual graph พบว่า ไม่มีเส้นทางใดที่น้ำไหลเพิ่มได้อีกแล้ว (นอกจากคำตอบใน 3 รอบแรกที่ผ่านมา) ดังนั้น จากโจทย์ตัวอย่าง สรุปว่า น้ำไหลได้สูงสุด 7 หน่วย (3+2+2)

3.3.2 การพิสูจน์คำตอบ

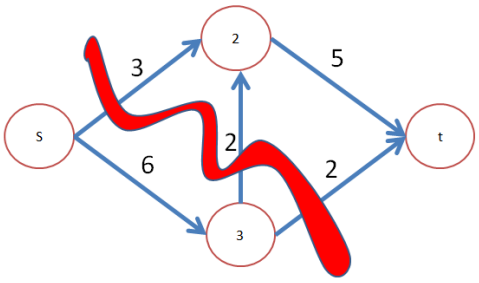
จากการคำนวณด้วยโปรแกรมพบว่าน้ำไหลได้สูงสุด 7 หน่วย และเป็น maximum flow ของโจทย์ เนื่องจากเมื่อลองตัด เส้นกิ่งออกจากกันเพื่อให้โหนด s และ t ขาดออกจากกัน (ตัดจากโจทย์ปัญหาเริ่มต้น) ผลรวมเส้นกิ่งที่ถูกตัดขาดรวมกันเท่ากับ 7 หน่วย (3+2+2=7) ดังภาพที่ 3.13 ตามทฤษฎีที่กล่าวว่า maximum flow ≤ minimum cut เมื่อ minimum cut ที่หาได้มีค่าเท่ากับ 7 และในทำนองเดียวกัน maximum flow จากโปรแกรมมีค่าเท่ากับ 7 ดังนั้นโปรแกรมจึงสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้จริงตามการพิสูจน์



รูปที่ 3.11 การหาเส้นทางและอัตราการไหลรอบที่ 3



รูปที่ 3.12 แสดง residual graph รอบที่ 3



รูปที่ 3.13 แสดงminimum cut

3.4 ออกแบบการรับข้อมูลและการแสดงผล

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการรับข้อมูลและการแสดงผลโดยการเขียนโค้ด Visual Basic for Application บนโปรแกรม Microsoft excel ดังนี้

```
Const nNode = 41 'number of node
Public pred(nNode) As Integer 'prec
Public Label(nNode) As Boolean 'labered property
Public U(nNode, nNode) As Single
Public X(nNode, nNode) As Single 'forward
Public Re(nNode, nNode) As Single 'backward
Public List(nNode) As Boolean 'add List
Public count As Integer
Public path As Boolean 'ออกจาก loop เส้นทาง
Public t1 As Integer
Public t2 As Integer
```

Sub ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานเริ่มต้นจาก

1. สร้างหัวตาราง
2. อ่านค่าพารามิเตอร์หลัก
3. อ่านพารามิเตอร์ของโจทย์ปัญหาแต่ละข้อ
4. ล้างข้อมูลเดิม
5. ลบค่า label
6. เรียกใช้ labeling algorithm
7. แสดงรายงาน

แสดงโค้ดได้ดังนี้

```
Public Sub main()
        Call WriteHeading
        Call parameter
        Call Loading
        Call EreseDisplay
        Call unLabel
        MsgBox ("Labeling Starts")
        Call LabelingAlgorithm(1, nNode)
        ReportResult
End Sub
```

Sub ในการอ่านพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโจทย์แต่ละข้อของ sheet โดยถ้าเป็นช่องว่างจะไม่อ่าน แต่ถ้ามีข้อมูลจะอ่านแล้วเก็บไว้ใน U(r,j) และ Re(r,j) แสดงโค้ดได้ดังนี้

```
Private Sub Loading()
    Dim r, j As Integer
    For r = 1 To nNode
        For j = 1 To nNode
            If Sheets(1).Cells(r + 1, j + 1).Value = "" Then
                U(r, j) = 0
                Re(r, j) = 0
            Else
                U(r, j) = Sheets(1).Cells(r + 1, j + 1).Value
                Re(r, j) = U(r, j)
            End If
        Next j

    Next r
End Sub
```

Sub ในการล้างค่าในหน่วยความจำก่อนการประมวลผล เป็นการลบ label ของทุกโหนด แสดงโค้ดได้ดังนี้

```
Private Sub unLabel()
```

```
        Dim j As Integer
        For j = 1 To nNode
                Label(j) = False
                List(j) = False
                pred(j) = 0
        Next j
End Sub
Private Sub LabelingAlgorithm(s As Integer, t As Integer)
        Dim inexit As Boolean
        Dim i, j As Integer
        Dim iteration As Integer
        Dim k As Integer
        Dim p As Integer
        Dim it As Integer
        'Dim maxV As Single
        Dim selectID As Integer
        i = s
        iteration = CInt(nNode * (nNode - 1) / 2)
        Call ShowRes
        it = InputBox("number of iteration for the problem", "input iteration", "5")
        For k = 1 To it
                i = s
                Call unLabel
                Label(i) = True
                inexit = False
                'List(i) = False 'remove node i form List
                Do While inexit = False 'มีทางเดินให้ true

                        For j = 1 To nNode 'ไปใหนได้บ้าง
                                If Re(i, j) > 0 Then
                                        pred(j) = i
```

```
                    Label(j) = True
                End If
            Next j
            Label(i) = False
            For p = 1 To nNode
                If Label(p) = True Then
                    selectID = p
                End If
            Next p
            i = selectID
            If Label(nNode) = True Then
                inexit = True
            End If
            If noway = False Then
                inexit = True
            End If
        Loop
        If Label(nNode) = True Then
            Call Augment(s, t)
        End If
        Call ShowRes
    Next k
End Sub
Public Function noway() As Boolean
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim ans As Integer
    ans = False
        For i = 1 To nNode
            ans = ans Or Label(i)
        Next i
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

```
            noway = ans
End Function
Public Sub Augment(ByVal s As Integer, ByVal t As Integer)
    Dim j As Integer
    Dim min As Single
    min = 9999
    j = t
    t2 = 1
    t1 = t1 + 1
    Do
      If min > Re(pred(j), j) Then
            min = Re(pred(j), j)
            If min = 0 Then
                  MsgBox min
            End If
      End If
      j = pred(j)
    Loop While j <> s And j <> 0

    j = t
    Do
        X(pred(j), j) = X(pred(j), j) + min
        Sheets("flow").Cells(pred(j) + 1, j + 1).Value = X(pred(j), j)
        Re(pred(j), j) = Re(pred(j), j) - min
        Sheets("logsheet").Cells(t1, t2).Value = j
        j = pred(j)
        t2 = t2 + 1
    Loop While j <> s And j <> 0
    t2 = t2 + 1
    Sheets("logsheet").Cells(t1, t2).Value = "min " & min
    MsgBox ("min " & min)
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

```
End Sub
Private Sub EreseDisplay()
        Dim r, c As Integer
        For r = 1 To nNode
            For c = 1 To nNode
                Sheets("res").Cells(r + 1, c + 1).Value = ""
                Sheets("flow").Cells(r + 1, c + 1).Value = ""
            Next c
        Next r
End Sub
Private Sub ShowRes()
        Dim r, c As Integer
        For r = 1 To nNode
            For c = 1 To nNode
                If Re(r, c) > 0 Then
                    Sheets("res").Cells(r + 1, c + 1) = Re(r, c)
                    Else
                     Sheets("res").Cells(r + 1, c + 1) = ""
                End If
            Next c
        Next r
End Sub
Public Function listCount() As Boolean
    Dim j As Integer
    Dim ans As Boolean
    ans = False
    For j = 1 To nNode
        ans = ans Or List(j)
    Next j
End Function
Private Sub parameter()
```

มหาวิทยาลัยศิลปากร

```
    Dim r As Integer
    Dim j As Integer
    Dim k As Integer
    Dim endp As String
    For j = 2 To nNode + 1
        For k = 2 To nNode + 1
            Sheets("cap").Cells(j, k).Value = ""
        Next k
     Next j
    r = 2
    endp = Sheets("parame").Cells(r, 3).Value
    Do While endp <> ""
        j = Sheets("parame").Cells(r, 1).Value
        k = Sheets("parame").Cells(r, 2).Value
        endp = Sheets("parame").Cells(r, 3).Value
         Sheets("cap").Cells(j + 1, k + 1).Value = endp
        r = r + 1
        endp = Sheets("parame").Cells(r, 3).Value
    Loop
End Sub
Public Sub ReportResult()
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim c As Integer
        c = 1
        For i = 1 To nNode
            For j = 1 To nNode
                If Sheets("cap").Cells(i + 1, j + 1).Value <> "" Then
                    c = c + 1
                    Sheets("result").Cells(c, 1).Value = i
                    Sheets("result").Cells(c, 2).Value = j
```

```
                    Sheets("result").Cells(c, 3).Value = Sheets("cap").Cells(i +
1, j + 1).Value
                    Sheets("result").Cells(c, 4).Value = Sheets("flow").Cells(i +
1, j + 1).Value
                    Sheets("result").Cells(c, 5).Value = Sheets("res").Cells(i + 1,
j + 1).Value
                End If
            Next j
        Next i
End Sub
Private Sub WriteHeading()
    Dim i As Integer
        'Sheets("cap").Cells.ClearContents
        'Sheets("res").Cells.ClearContents
        'Sheets("flow").Cells.ClearContents
        'Sheets("logsheet").Cells.ClearContents
        Sheets("cap").Cells.Delete Shift:=xlUp
        Sheets("res").Cells.Delete Shift:=xlUp
        Sheets("flow").Cells.Delete Shift:=xlUp
        Sheets("logsheet").Cells.Delete Shift:=xlUp

    For i = 1 To nNode
            Sheets("cap").Cells(i + 1, 1).Value = i
            Sheets("cap").Cells(i + 1, 1).Interior.Color = vbRed
             Sheets("res").Cells(i + 1, 1).Value = i
            Sheets("res").Cells(i + 1, 1).Interior.Color = vbRed
            Sheets("flow").Cells(i + 1, 1).Value = i
             Sheets("flow").Cells(i + 1, 1).Interior.Color = vbRed
            Sheets("cap").Cells(1, i + 1).Value = i
            Sheets("cap").Cells(1, i + 1).Interior.Color = vbRed
             Sheets("res").Cells(1, i + 1).Value = i
```

```
            Sheets("res").Cells(1, i + 1).Interior.Color = vbRed
            Sheets("flow").Cells(1, i + 1).Value = i
            Sheets("flow").Cells(1, i + 1).Interior.Color = vbRed
        Next i
End Sub
```

3.5 ทดสอบ แสดงผล และ วิเคราะห์ผล

ผู้วิจัยทำการค้นหาเส้นทางการไหลจากโหนด s ไปยังโหนด t โดยใช้ labeling algorithm และ augment algorithm ที่ถูกพัฒนาด้วย Visual basic for application บน Microsoft excel โดยทำการใส่ค่าความจุของน้ำที่สามารถไหลได้ของคลองแต่ละสายที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงลงในตารางที่ออกแบบไว้เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม โดยคอลัมน์ที่ 1 และ 4 (From) แสดงหมายเลขของโหนดที่น้ำไหลออก คอลัมน์ที่ 2 และ 5 (To) แสดงหมายเลขของโหนดที่น้ำไหลเข้า และคอลัมน์ที่ 3 และ 6 แสดงความจุของน้ำที่สามารถไหลได้ (m^3/s) ผ่านโหนด s ไปยังโหนด t ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่ใช้เพื่อหาคำตอบด้วย Visual basic for application บน Microsoft excel

from	to	capacity (m^3/s)	from	to	capacity (m^3/s)
1	2	20	20	21	2500
1	3	10	21	38	2500
1	4	20	22	23	50
1	5	2500	23	17	50
1	6	50	23	24	25
1	7	50	24	21	50
1	8	60	24	25	50
1	9	40	25	39	50
2	10	20	26	27	60
3	12	10	27	22	50
4	13	20	27	29	40
5	16	2500	28	29	10
6	17	50	28	30	10
7	22	50	29	31	40

ตารางที่ 3.1 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่ใช้เพื่อหาคำตอบด้วย Visual basic for application บน Microsoft excel (ต่อ)

from	to	capacity (m^3/s)	from	to	capacity (m^3/s)
8	26	60	30	31	8
8	36	50	30	32	10
9	36	40	31	33	40
10	11	90	32	33	7
11	20	2500	32	34	10
12	13	10	33	35	40
13	14	50	34	35	15
14	41	2500	35	24	5
15	19	40	36	34	15
15	11	2500	36	37	50
16	17	10	37	25	15
16	14	2500	37	40	150
17	18	50	38	41	2500
18	19	50	39	41	300
19	20	100	40	41	150
19	24	50			

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีประมาณการหาปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำในคลองที่ไหลจากทางตอนบนจนถึงตอนล่างของกรุงเทพมหานคร ผลการทดลองแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นผลการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ส่วนที่สองเป็นผลการประยุกต์ใช้โปรแกรมกับปัญหาจริง โดยในส่วนแรกจะใช้ปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลางในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ส่วนที่สองจะใช้แผนที่การไหลของน้ำในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ปัญหาขนาดเล็กมี 5 โหนด ได้แก่ โหนด 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งมีความจุจากโหนด s ไปโหนด t ดังนี้

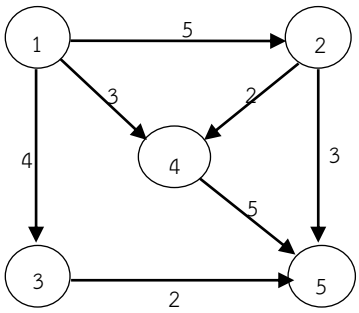
1. โหนด 1 ไปยังโหนด 2, 3 และ 4 ได้แก่ 5, 4 และ 3 ตามลำดับ
2. โหนด 2 ไปยังโหนด 4 และ 5 ได้แก่ 2 และ 3 ตามลำดับ
3. โหนด 3 ไปยังโหนด 5 คือ 2
4. โหนด 4 ไปยังโหนด 5 คือ 5

แสดงค่าความจุของแต่ละโหนดได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความจุของแต่ละเส้นทางการไหลจาก s ไปยัง t

From	To	Capacity
1	2	5
1	3	4
1	4	3
2	4	2
2	5	3
3	5	2
4	5	5

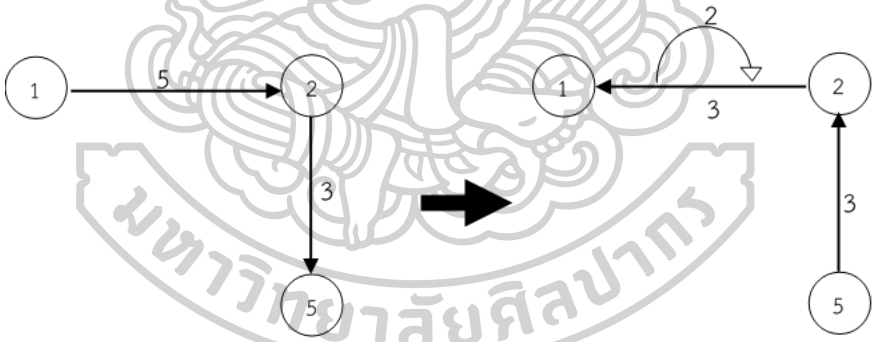
จากนั้นนำข้อมูลจากตารางมาสร้างเป็นข่ายงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ข่ายงานที่มีความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลของน้ำแต่ละสาย

เมื่อทำการค้นหาเส้นทางการไหลและค่าการไหลสูงสุดจาก s ไปยัง t ด้วย labeling algorithm และ augment algorithm ตามลำดับ ด้วย Visual Basic for Application บนโปรแกรม MS Excel พบว่า ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านแต่ละเส้นทาง เป็นดังนี้

เส้นทาง 1-2-5 ซึ่งมีความจุที่สามารถไหลได้จากโหนด 1 ไปยังโหนด 2 คือ 5 หน่วยและจากโหนด 2 ไปยังโหนด 5 คือ 3 หน่วย ดังภาพ 4.2 a ความจุที่สามารถไหลได้น้อยที่สุดในเส้นทางนี้คือ 3 หน่วย min{(1,2), (2,5)} = min{5,3} = 3 ดังนั้น สามารถไหลได้มากที่สุดในเส้นทาง 1-2-5 คือ 3 หน่วย แต่เส้นทางจากโหนด 1 ไปยังโหนด 2 ยังเหลือความจุที่น้ำยังสามารถไหลได้อยู่อีก 2 หน่วย (Residual graph) ดังรูปที่ 4.2 b

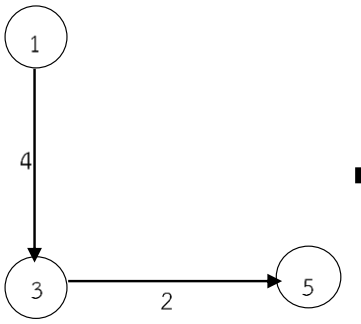


รูปที่ 4.2 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5

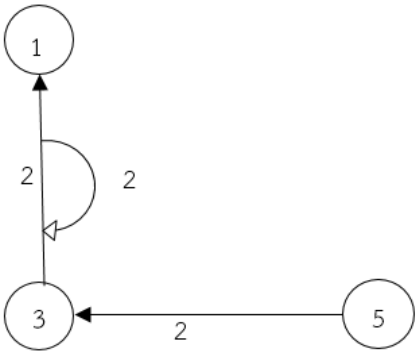
รูปที่ 4.2 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5 ได้มากที่สุดคือ 3

เส้นทาง 1-3-5 สามารถไหลได้มากที่สุด 2 หน่วย ดังรูปที่ 4.3 a และ 4.3 b เส้นทาง 1-4-5 สามารถไหลได้มากที่สุด 3 หน่วย ดังรูปที่ 4.4 a และ 4.4 b และเส้นทาง 1-2-4-5 สามารถไหลได้มากที่สุด 2 หน่วย ดังรูปที่ 4.5 a และ 4.5 b

Min{(1,3), (3,5)} = min{4, 2} = 2

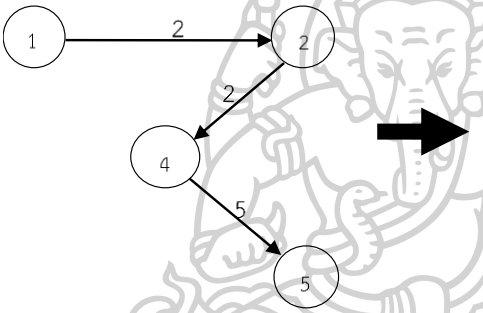


รูปที่ 4.3 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-3-5

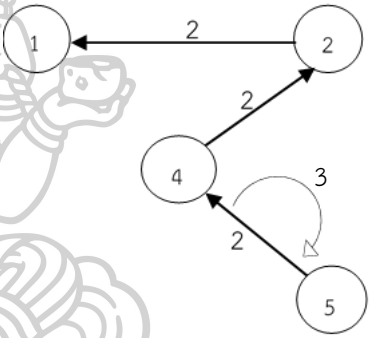


รูปที่ 4.3 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-3-5 ได้มากที่สุดคือ 2

min{(1,2), (2,4), (4,5)} = min{2, 2, 5} = 2

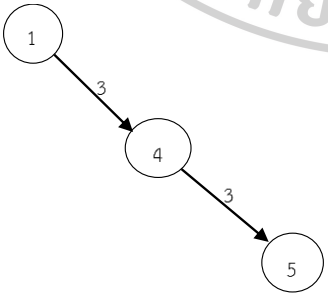


รูปที่ 4.4 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-4-5

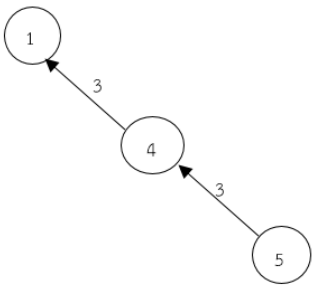


รูปที่ 4.4 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-4-5 ได้มากที่สุดคือ 2

min{(1,4), (4,5)} = min{3, 3} = 3



รูปที่ 4.5 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-4-5



รูปที่ 4.5 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-4-5 ได้มากที่สุดคือ 3

ปัญหาขนาดกลางมี 8 โหนด ได้แก่ โหนด 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ซึ่งมีความจุจากโหนด s ไปโหนด t ดังนี้

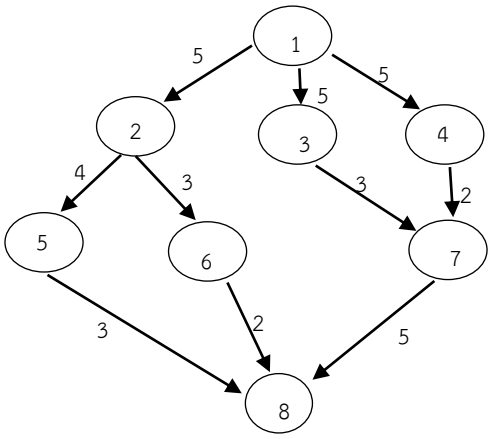
1. โหนด 1 ไปยังโหนด 2, 3 และ 4 ได้แก่ 5, 5 และ 5 ตามลำดับ
2. โหนด 2 ไปยังโหนด 5 และ 6 ได้แก่ 4 และ 3 ตามลำดับ
3. โหนด 3 ไปยังโหนด 7 คือ 3
4. โหนด 4 ไปยังโหนด 7 คือ 2
5. โหนด 5 ไปยังโหนด 8 คือ 3
6. โหนด 6 ไปยังโหนด 8 คือ 2
7. โหนด 7 ไปยังโหนด 8 คือ 5

แสดงค่าความจุของแต่ละโหนดได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความจุของแต่ละเส้นทางการไหลจาก s ไปยัง t

From	To	Capacity
1	2	5
1	3	5
1	4	5
2	5	4
2	6	3
3	7	3
4	7	2
5	8	3
6	8	2
7	8	5

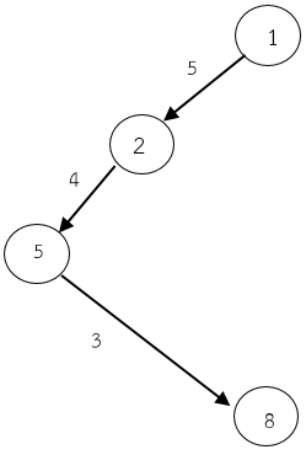
จากนั้นนำข้อมูลจากตารางมาสร้างเป็นข่ายงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.6



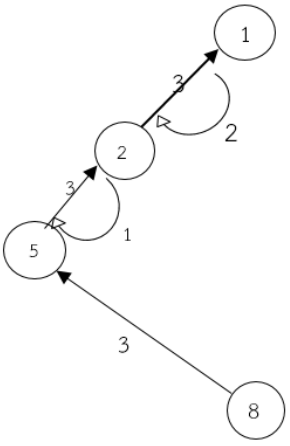
รูปที่ 4.6 ข่ายงานที่มีความจุสูงสุดของเส้นทางการไหลแต่ละสาย

จากนั้นทำการค้นหาเส้นทางการไหลจากโหนด s ไปยังโหนด t ด้วย labeling algorithm และ augment algorithm พบว่า ปริมาณน้ำสามารถไหลได้สูงสุดผ่านเส้นทาง 1-2-5-8 จำนวน 3 หน่วย ดังรูปที่ 4.7 a และ 4.7 b เส้นทาง 1-2-6-8 จำนวน 2 หน่วย ดังรูปที่ 4.8 a และ 4.8 b เส้นทาง 1-3-7-8 จำนวน 3 หน่วย ดังรูปที่ 4.9 a และ 4.9 b และเส้นทาง 1-4-7-8 จำนวน 2 หน่วย ดังรูปที่ 4.10 a และ 4.10 b

Min{ (1,2), (2,5), (5,8) } = min{ 5, 4, 3 } = 3

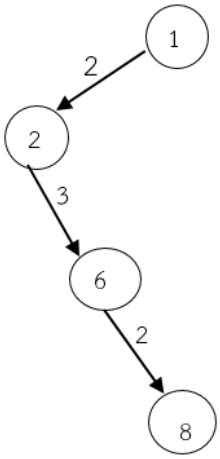


รูปที่ 4.7 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5-8

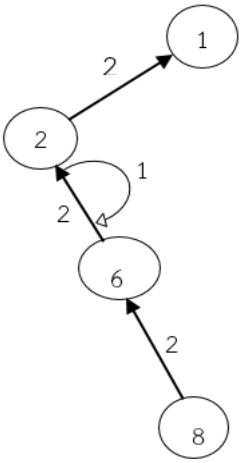


รูปที่ 4.7 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-5-8 ได้มากที่สุดคือ 3

Min{(1,2), (2,6), (6,8)} = min{2, 3, 2} = 2

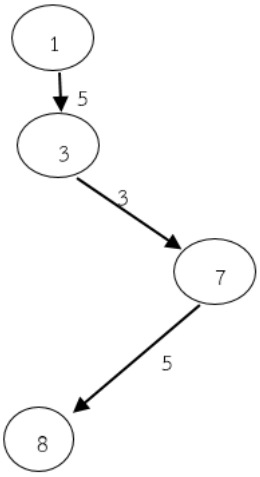


รูปที่ 4.8 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-2-6-8

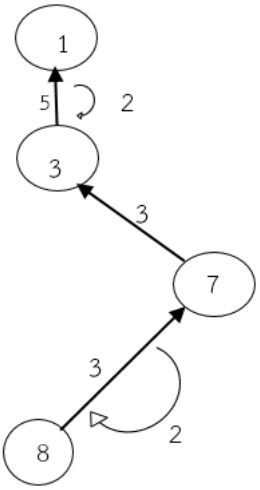


รูปที่ 4.8 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-2-6-8 ได้มากที่สุดคือ 2

Min{(1,3), (3,7),(7,8)} = min{5, 3, 5} = 3



รูปที่ 4.9 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-3-7-8



รูปที่ 4.9 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-3-7-8 ได้มากที่สุดคือ 3

Min{(1,4), (4,7),(7,8)} = min{5, 2, 2} = 2

รูปที่ 4.10 a ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเส้นทาง 1-4-7-8 รูปที่ 4.9 b ความจุที่สามารถไหลผ่านเส้นทาง 1-4-7-8 ได้มากที่สุดคือ 2

จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมด้วยปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลาง พบว่าโปรแกรมมีความถูกต้องแม่นยำ จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมด้วยปัญหาขนาดใหญ่ดังนี้

4.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมกับปัญหาจริง

ปัญหาขนาดใหญ่เป็นการทดสอบเส้นทางการไหลจริงของน้ำในคลองของกรุงเทพมหานคร โดยผู้วิจัยทำการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับน้ำจากสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ข่าวน้ำท่วมจากเว็ปไซต์สำนักข่าวต่าง ๆ แผนที่จากแอพพลิเคชั่น Google Map และงานวิจัยที่เกี่ยวกับน้ำท่วม ทำให้ได้ข้อมูลแผนที่คลองสายต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร ทิศทางการไหลของน้ำลงสู่อ่าวไทย ความจุสูงสุดที่น้ำสามารถไหลในคลองได้ นโยบายและวิธีป้องกันน้ำท่วมของหน่วยงานราชการในกรุงเทพมหานคร รวมทั้งปัญหาที่ทำให้เกิดน้ำท่วมขังเนื่องจากน้ำระบายไม่ทัน ผู้วิจัยจึงต้องทำการลดปัญหาที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ (Relax) ดังนี้

1. ปริมาณการอุดตันของขยะและผักตบชวา
2. บริเวณคอขวดของคลองที่ทำให้ความจุและอัตราการไหลไม่เท่ากันตลอดที่สาย
3. การสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ
4. การสูบน้ำออกเพื่อลดการท่วมขัง
5. การระเหยของน้ำ
6. การสูบน้ำไปใช้ในการเกษตร
7. ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเพิ่ม

8. ความเอียงตามแรงโน้มถ่วงของโลก

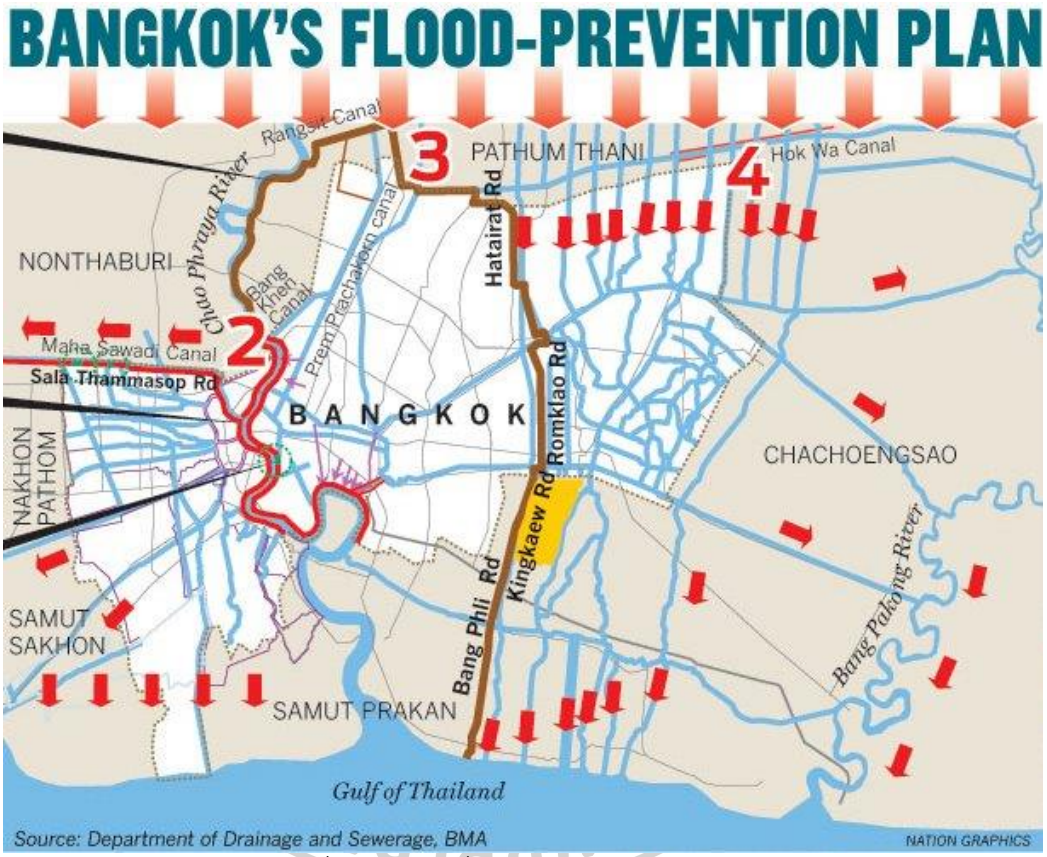
9. น้ำทะเลหนุน

10. การเปิดปิดประตูระบายน้ำ

11. เส้นทางการไหลของน้ำ

12. เส้นทางจริงของคลองในแผนที่จริงที่มีความซับซ้อนแต่บางเส้นมีผลน้อย

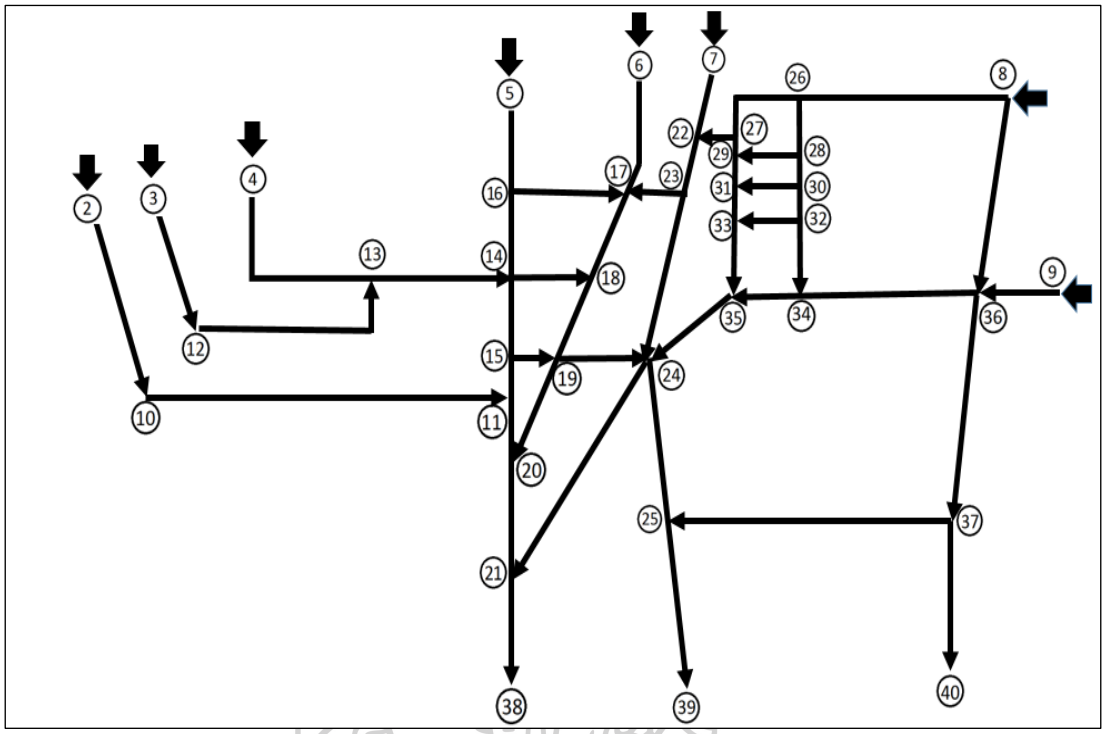
เมื่อทำการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ โดยเริ่มศึกษาจากแผนที่จริง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แผนที่คลองสายหลักของกรุงเทพมหานคร

(ที่มา : 8th November 2011, Department of Drainage and Sewerage, BMA, http://www.thaitravelblogs.com/2011/10/map-of-flood-risk-areas-in-bangkok/)

จากนั้นนำแผนที่จริงมากำหนดหมายเลขโหนดของจุดเชื่อมในแต่ละจุด แต่เนื่องจากคลองแต่ละสายนั้นมีความเชื่อมโยงซับซ้อนมากทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงทำการ relax ปัญหานี้ โดยการเลือกเฉพาะเส้นทางของคลองที่สำคัญ และยุบรวมโหนดที่สำคัญเป็นจุดเดียว เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายจุดเชื่อมต่าง ๆ ของคลองแต่ละสายอีกทั้งยังลดเวลาในการค้นหาเส้นทางของโปรแกรมลง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การนำโหนดมาอธิบายจุดเชื่อมต่าง ๆ ของคลองแต่ละสาย

จากการค้นหาเส้นทางการไหลจากโหนด s ไปยังโหนด t โดยใช้ labeling algorithm และ augment algorithm ที่ถูกพัฒนาด้วย Visual basic for application บน Microsoft excel พบว่าเส้นทางการไหลของน้ำที่ระบายจากโหนด s (โหนด 1) ไปยังโหนด t (โหนด 41) มีทั้งหมด 9 เส้นทาง ดังนี้

1. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 9-36-37-40-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 40 m^3/s หรือ 3,456,000 m^3/d

2. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 8-36-37-40-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 10 m^3/s หรือ 864,000 m^3/d

3. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 8-26-27-29-31-33-35-24-25-39-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 5 m^3/s หรือ 432,000 m^3/d

4. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 8-26-27-22-23-24-25-39-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 25 m^3/s หรือ 2,160,000 m^3/d

5. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 8-26-27-22-23-17-18-19-24-25-39-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 20 m^3/s หรือ 1,728,000 m^3/d

6. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 7-22-23-17-18-19-24-21-38-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 5 m^3/s หรือ 432,000 m^3/d

7. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 6-17-18-19-24-21-38-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 25 m^3/s หรือ 2,160,000 m^3/d

8. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 5-16-14-15-11-20-21-38-41 ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 2,500 m^3/s หรือ 216,000,000 m^3/d

9. เส้นทางการไหลของน้ำจากโหนดที่ 1 ไปยัง 2-10-11-20-21-38-41 1,728,000 m^3/d

ผลรวมการไหลสูงสุดคือ 2,650 m^3/s หรือ 228,960,000 m^3/d โดยคิดจากอัตราการไหลสูงสุดในวันที่ทำการเก็บข้อมูล

โดยหน้าจอแสดงผลที่ทำการออกแบบ แสดงเส้นทางการไหลของน้ำที่ระบายจากโหนดที่ 1 ซึ่งเป็นโหนด s ไปยังโหนดที่ 41 ซึ่งเป็นโหนด t โดยคอลัมน์ที่ 1 (From) แสดงหมายเลขของโหนดที่น้ำไหลออก คอลัมน์ที่ 2 (To) แสดงหมายเลขของโหนดที่น้ำไหลเข้า คอลัมน์ที่ 3 แสดงความจุสูงสุดของน้ำที่สามารถไหลได้ (m^3/s) ผ่านโหนด s ไปยังโหนด t คอลัมน์ที่ 4 แสดงอัตราการไหลของน้ำจากโหนด s ไปยังโหนด t และคอลัมน์ที่ 5 แสดงปริมาณน้ำที่เหลือซึ่งไม่สามารถไหลผ่านได้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel

From node	To Node	Cap (m^3/s)	Flow (m^3/s)	Residual (m^3/s)
1	2	5000	0	5000
1	3	5000	0	5000
1	4	5000	0	5000
1	5	5000	23	4977
1	8	5000	0	5000
1	11	5000	32	4968
1	18	5000	40	4960
1	25	5000	2000	3000
1	36	5000	500	4500
2	10	1500	0	1500
3	14	170	0	170
4	7	13	0	13
5	6	1760	23	1737
6	9	14.44	0	14.44

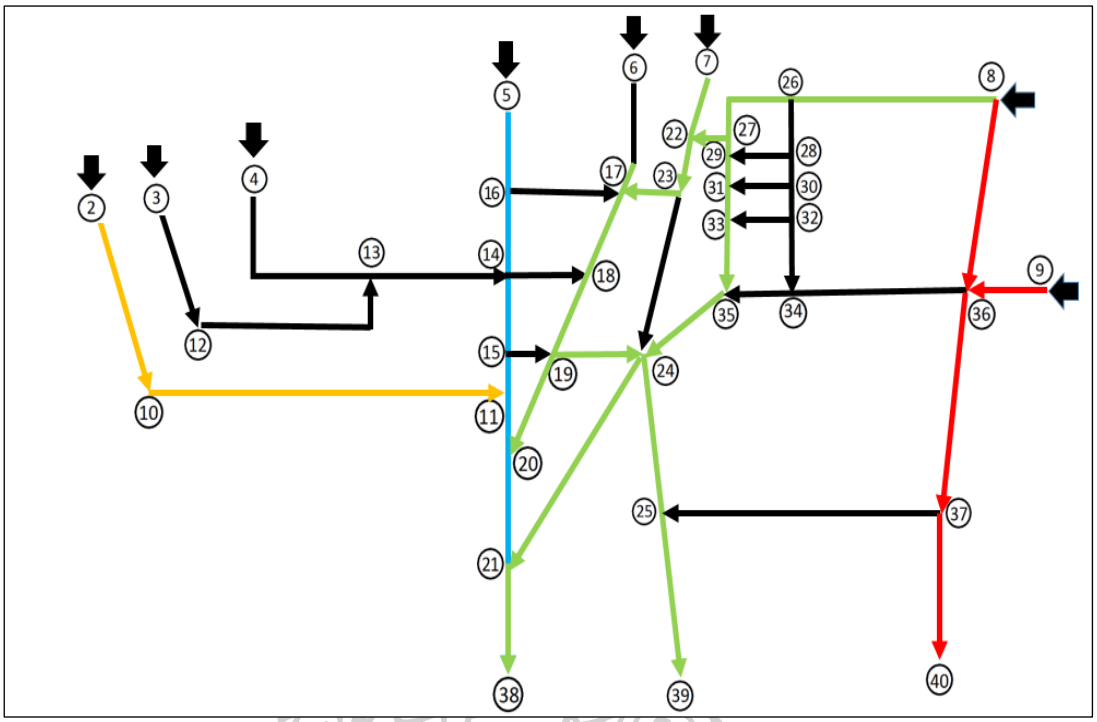
ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel (ต่อ)

From node	To Node	Cap (m3/s)	Flow (m3/s)	Residual (m3/s)
6	10	1760	23	1737
7	12	13	0	13
8	9	13	0	13
9	17	13	0	13
10	15	1500	23	1477
11	12	32	32	0
12	13	60	32	28
13	14	60	17	43
13	22	15	15	0
14	15	300	17	283
15	16	70	40	30
16	17	70	0	70
16	38	40	40	0
17	37	70	0	70
18	19	40	40	0
19	20	40	36.5	3.5
19	24	20	3.5	16.5
20	21	40	36.5	3.5
20	24	20	0	20
21	22	80	31.5	48.5
21	26	5	5	0
22	23	110	46.5	63.5
23	30	1800	46.5	1753.5
24	25	100	0	100
24	27	3.5	3.5	0
25	28	2000	2000	0
26	29	22	0	22

ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำในคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel (ต่อ)

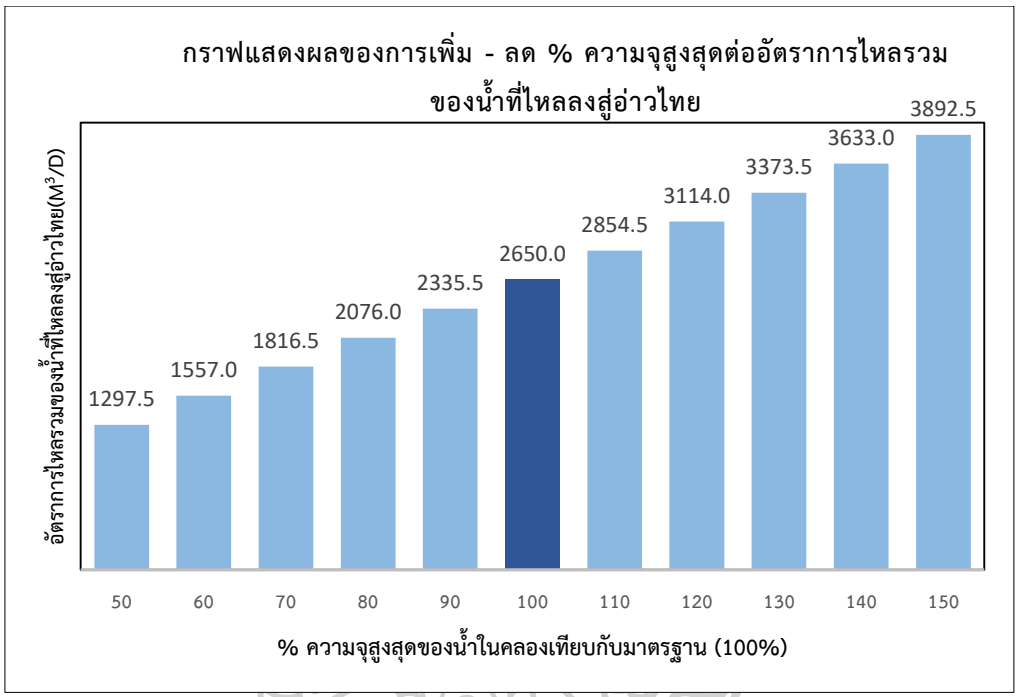
From node	To Node	Cap (m3/s)	Flow (m3/s)	Residual (m3/s)
26	27	22	0	22
26	30	1622	5	1617
27	28	22	0	22
27	34	22	3.5	18.5
28	35	2000	2000	0
29	32	22	0	22
29	33	22	0	22
30	31	1800	51.5	1748.5
31	32	100	0	100
31	40	1800	51.5	1748.5
32	33	100	0	100
32	41	22	0	22
33	34	100	0	100
34	35	100	0	100
34	42	1000	3.5	996.5
35	43	2000	2000	0
36	37	500	500	0
37	38	500	500	0
38	39	600	540	60
39	44	5000	540	4460
40	44	5000	51.5	4948.5
41	44	5000	0	5000
42	44	5000	3.5	4996.5
43	44	5000	2000	3000
Total flow rate	2,650 m^3/s	228,960,000 m^3/d		

จากนั้นนำผลที่ได้จาก Visual basic for application บน Microsoft excel มาแสดงลงบนแผนที่คลองเพื่ออธิบายแต่ละเส้นทางการไหลของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เส้นทางระบายน้ำที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลสูงสุด

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมด้วยปัญหาขนาดใหญ่ซึ่งเป็นปัญหาจริงของสภาพการไหลของน้ำในคลองในกรุงเทพมหานคร แต่เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในคลองดังกล่าวข้างต้นนั้น มีผลทำให้ความจุสูงสุดและอัตราการไหลของน้ำในคลองไม่คงที่ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงความจุสูงสุดของคลองแต่ละสายต่ออัตราการไหลรวมของน้ำในคลองทุกสายที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) เทียบกับความจุสูงสุดมาตรฐานที่อัตราการไหลรวม 2,650 m^3/s (100%) โดยเพิ่มความจุสูงสุดขึ้น 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับและลดความจุสูงสุดลง 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มและลดเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของน้ำในคลองแต่ละสายมีผลต่ออัตราการไหลรวมของน้ำในคลองทุกสายแบบแปรผันตรง โดยเมื่อลดเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของน้ำในคลองจะส่งผลให้อัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) ลดลง และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของน้ำในคลองจะส่งผลให้อัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.14 นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลรวมของน้ำลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) ยังเท่ากับเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มและลดความจุสูงสุดของน้ำในคลองแต่ละสายอีกด้วย ผลการเปรียบเทียบสรุปได้ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.14 ผลของการเพิ่ม - ลด % ความจุสูงสุดต่ออัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการเพิ่ม-ลด % ความจุสูงสุดของน้ำในคลองแต่ละสายต่ออัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s)

% ความจุสูงสุด	**อัตราการไหลรวม (m^3/s)**	**% อัตราการไหลรวมที่เปลี่ยนแปลง**
50	1297.5	50
60	1557.0	60
70	1816.5	70
80	2076.0	80
90	2335.5	90
100	2650.0	100
110	2854.5	110
120	3114.0	120
130	3373.5	130
140	3633.0	140
150	3892.5	150

หมายเหตุ : เปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดที่ 100% เป็นความจุสูงสุดมาตรฐานที่ใช้เทียบกับความจุอื่น

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ ศึกษาวิธีการหาเส้นทางการไหลและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำในคลองที่ไหลจากทางตอนบนจนถึงตอนล่างของกรุงเทพมหานคร (อ่าวไทย) โดยใช้ Augment algorithm และ Labeling algorithm แล้วเขียนโปรแกรมผ่าน Visual basic for application บนโปรแกรม Microsoft excel งานวิจัย ฉบับนี้ แบ่งการทดลองเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ส่วนที่สองเป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมกับเส้นทางการไหลจริงของคลองในกรุงเทพมหานคร

ผลการทดลองส่วนแรก เปรียบเทียบผลของการค้นหาเส้นทางการไหลและค่าการไหลสูงสุดโดยเขียนโปรแกรมผ่าน Visual Basic for Application กับการคำนวณมือของผู้วิจัย พบว่า ทั้งสองวิธีให้คำตอบที่เหมือนกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการเขียนโปรแกรมถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ได้

ผลการทดลองส่วนที่สอง เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมกับเส้นทางการไหลจริงของคลองในกรุงเทพมหานคร พบว่าอัตราการไหลรวมของน้ำในคลองทุกสายที่ไหลลงสู่อ่าวไทยคือ 2,650 m^3/s หรือ 216,000,000 m^3/d แล้วทำการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของคลองแต่ละสายต่ออัตราการไหลรวมของน้ำในคลองทุกสายที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) โดยเพิ่มความจุสูงสุดขึ้น 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับและลดความจุสูงสุดลง 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับ ซึ่งความจุสูงสุดมาตรฐานอยู่ที่ 100% พบว่าการเพิ่มและลดเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของน้ำในคลองแต่ละสายมีผลต่ออัตราการไหลรวมของน้ำในคลองทุกสายแบบแปรผันตรง เช่น เมื่อลดเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของน้ำในคลองลง 10% ส่งผลให้อัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) ลดลง 10% และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความจุสูงสุดของน้ำในคลองขึ้น 10% ส่งผลให้อัตราการไหลรวมของน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทย (m^3/s) เพิ่มขึ้น 10%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากในอนาคตมีผู้วิจัยในประเทศไทยที่ศึกษาวิจัยวิธีการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมมากขึ้น จะช่วยให้ระบบแก้ไขปัญหาน้ำท่วมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ควรสร้างใช้โปรแกรมนี้ขึ้นบนระบบออนไลน์ และผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลความจุของน้ำลงในโปรแกรมเพื่อค้นหาเส้นทางและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำในคลองของกรุงเทพมหานครได้

รายการอ้างอิง

1. Zhang, B., *Top 5 most expensive natural disasters in history*. 2013.
2. ThaiPublica, ธนาคารโลกประเมินน้ำท่วมเสียหาย 1.356 ล้านล้านบาท และใช้เงินฟื้นฟูอีกกว่า 7 แสนล้าน, in *ThaiPublica*. 2011.
3. ปิยจันทร์, ป., ชุมชนกับการจัดการอุทกภัยปี พ.ศ. 2554 : กรณีศึกษา ชุมชนอยู่เจริญ เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร (อยู่เจริญโมเดล). วารสารการศึกษาและพัฒนาสังคม ปีที่ 7, 2554. ฉบับที่ 2: p. 18.
4. Harris, T.A., Kenneth J, Marschak, Jacob Econometrica, *Optimal inventory policy.* The Econometric Society via JSTOR, July 1951. 19(3): p. 250–272.
5. Lester R. Ford, J.a.D.R.F., *Maximum flow through a network.* Canadian Journal of Mathematics, 1956. 8 p. 399-404.
6. Lester R. Ford, J.a.D.R.F., *A simple algorithm for finding maximal network flows and an application to the Hitchcock problem.* Canadian Journal of Mathematics, 1957. 9: p. 210-218.
7. Lester R. Ford, J.a.D.R.F., *Flows in Networks.* Princeton University Press 1962.
8. Naval, D.R.F.a.G.B.D., *Computation of maximal flows in networks.* Research Logistics Quarterly, 1955. 2: p. 277-283.
9. Harding., D.R.F.a.G.C., *On edge- disjoint branching.* Networks, 1976. 6(2): p. 97-104.
10. Dinitz, Y., *Algorithm for solution of a problem of maximum flow in a network with power estimation.* Doklady Akademii nauk SSSR, 1970. 11: p. 1277–1280.
11. Ravindra K. Ahuja, T.L.M., James B. Orlin. , *Network flows Theory, Algorithms, and Applications.* United State of America: Prentice-Hall, 1993.
12. Velazquez-Arellano A, e.a., *A heuristic model for paradoxical effects of biotin starvation on carbon metabolism genes in the presence of abundant glucose.* Mol Genet Metab, 2011. 102(1): p. 69-77.
13. Huan Wu, R.F.A., Yudong Tian, George J. Huffman, Hongyi Li, JianJian Wang, *Real time global flood estimatation using satellite bases precipitation and a coupled land surface and routing model.* water resource reserach, 2014. 50(3):

p. 2693-2717.

14. Edangodage Duminda Pradeep Perera, L.L., *Fuzzy logic based flood forecasting model for the Kelantan River basin,.* Malaysia. Journal of Hydro-environment Research 2015. 9(4): p. 542-553.
15. Rodrigo A. Garridoa, P.L., Francisco J. Pino, *A stochastic programming approach for floods emergencylogistics.* Logistics and Transportation Review 2015. 75: p. 18-31.
16. Mohd Talha Aneesa, K.A., M.N.M. Nawawia, Nik Norulaini Nik Ab Rahmanb,Abd. Rahni Mt. Piahc, Nor Azazi Zakariad, M.I. Syakirb, A.K. Mohd. Omar, , *Numerical modeling techniques forflood analysis.* Journal of African Earth Sciences, 2016. 124: p. 478-486.
17. Qinghua Miaoa, D.Y., Hanbo Yanga, Zhe Li *Establishing a rainfall threshold for flash flood warnings in China'smountainous areas based on a distributed hydrological model.* Journal of Hydrology 2016. 541(Part A): p. 371-386.
18. ภิรมย์, ส., การจำลองสภาพน้ำท่วมด้วยแบบจำลอง *HEC-RAS* และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อบรรเทาอุทกภัยในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้แก้มลิง, in คณะวิทยาศาสตร์. 2554, มหาวิทยาลัยศิลปากร: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. p. 82.
19. อินทรา, อ. การศึกษาระบบป้องกันและบรรเทาอุทกภัยกรณีศึกษา ลุ่มน้ำชีตอนบน ในเขตจังหวัดชัยภมิด้วยแบบจำลอง *MIKE*11. . in การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 2555. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
20. ศนิวาร ศรีอุทา อรรถพล ทองขาว, เ.ส., นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร การจัดเตรียมเส้นทางการอพยพสำหรับพื้นที่เกิดอุทกภัยในประเทศไทย : กรณีศึกษาบ้านลำเบ็ด ตำบลตำนาน อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง, in การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555. 2555: ชะอำ เพชรบุรี.
21. Jirakom Sirisrisakulchai, N.H., Kittawit Autchariyapanitkul, Songsak Sriboonchitta. *A Flood Risk Assessment Based on Maximum Flow Capacity of Canal System*. in *International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making IUKM* 2016. 2016. Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making
22. list, r., 5 อุโมงค์ยักษ์รอบกรุง. 2555.

23. สำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, ร., ระบบตรวจวัดข้อมูลการระบายน้ำ. 2017.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวแพรวนภา อินตา
วัน เดือน ปี เกิด	3 พฤศจิกายน 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดสระแก้ว
ที่อยู่ปัจจุบัน	76 ม.11 ต.คลองไก่เถื่อน อ.คลองหาด จ.สระแก้ว
ผลงานตีพิมพ์	Proceeding งานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมอุตสาหการ 2560 (IE Network 2017)