การประยุกต์วิธีการคำนวณโดยหลักพันธุกรรมเพื่อหาขนาดท่อที่เหมาะสม

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS FOR DETERMINING THE OPTIMAL PIPE SIZE

อัศฎา กิจพยุง [1]
รศ.ดร. วราวุธ วุฒิวณิชย์ [2]
รศ.ดร. กัมปนาท ภักดีกุล [3]

[1]วิศวกรชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนบางปะกง กรมชลประทาน , g4665022@ku.ac.th
[2]รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , fengvwv@ku.ac.th
[3]รองศาสตราจารย์ประจำคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล , enkpd@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ : Genetic Algorithms (GAs) เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบสโตคาสติก โดยอาศัยหลักการคำนวณตามกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (biological evolution) มีโครงสร้างที่เรียบง่าย สามารถนำไปใช้ในปัญหาที่ต้องการหาค่าความเหมาะสม ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ GAs ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำ โดยเชื่อมโยงกับ EPANET ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ของการไหลในระบบท่อโครงข่าย โดยใช้ toolkit ของโปรแกรม และทดสอบโปรแกรมที่สร้างขึ้นกับโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำ 3 กรณี คือ โครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำขนาดเล็กแบบ 2 Loop โครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำขนาดกลางของ Hanoi แล้วจึงนำมาใช้งานกับระบบจ่ายน้ำจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งได้มีผู้ศึกษาเพื่อทดสอบวิธีการคำนวณออกแบบไว้หลายวิธี เช่น วิธี Trial & Error, Newton – Raphson, Simulated Annealing และวิธี Differential Evolution ผลการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำจังหวัดนครสวรรค์ด้วย GAs ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ABSTRACT : Genetic Algorithms (GAs) is a stochastic optimization algorithm based on biological evolution. GAs is considered as a simple technique which can find the near global optimum solution. In this study, GAs is applied to develop the program for determining the optimal discrete pipe sizes for the new pipe networks. The developed program is linked with a hydraulic simulation model of the pressurized pipe networks namely EPANET by using its toolkit. Three case studies were tested including 2 loop small water supply network, Hanoi medium water supply network and the water supply network of Nakhonsawan province. The Nakhonsawan water supply network were selected for pipe network design by various methods including the Trial & Error, Newton – Raphson, Simulated Annealing and Differential Evolution methods. GAs based pipe network design of Nakhonsawan showed satisfactorily result.

KEYWORDS : Genetic algorithm, Optimization, Water distribution network, Hydraulic simulation model, EPANET

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ซึ่งการเจริญเติบโตของประชากรโลกและการขยายตัวของภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการใช้น้ำกำลังสูงขึ้นอย่างเร่งด่วนในโลกที่กำลังพัฒนา การจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นการปรับปรุงการจัดการน้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง หากทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นจะต้องมีการจัดสรรกันอย่างเป็นธรรมเท่าเทียมกันโดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับสูงสุด หากการปรับปรุงการจ่ายน้ำให้ดีขึ้นแม้น้อยนิดอาจนำมาซึ่งผลตอบแทนที่คุ้มค่าอย่างมหาศาล ทำให้การจ่ายน้ำด้วยระบบท่อซึ่งเป็นหนึ่งในหลายๆวิธีที่ได้รับความนิยมใช้เนื่องจากมีการมีอัตราการสูญเสียภายในระบบท่อน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ แต่มีมูลค่าการลงทุนที่สูงจึงจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบขนาดท่อให้ประหยัดและอยู่ในเกณฑ์เงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่กำหนด จากความสำคัญของการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำให้ประหยัดที่สุดจึงได้มีการศึกษาวิจัยหาเทคนิคต่าง ๆ ถูกนำมาประยุกต์ใช้ โดยในช่วงเวลา 20 ปีที่ผ่านมามีการพัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่แท้จริง (Global Optimum) โดย Goldberg [9] ได้กล่าวถึงการหาค่าความเหมาะสมของปัญหาต่างๆ มีวิธีการศึกษาโดยทั่วไป 3 วิธีคือ 1. วิธี Calculus ทำได้โดยการหาเกรเดียนของฟังก์ชั่นแล้วให้เท่ากับศูนย์ 2.วิธีEnumerative Schemes เป็นวิธีการที่จะหาคำตอบได้จากจุดทุกจุดใน Search Space และ 3. วิธี Random Search Algorithms เป็นวิธีการที่มีพื้นฐานของการสุ่มเลือกในตอนต้นของกระบวนการหลังจากนั้นจะมีกระบวนการ ซึ่งเป็นแนวทางที่ทำให้เกิดการลู่เข้าหาคำตอบของปัญหา โดยได้มีผู้ศึกษาและพัฒนาจนเกิดวิธีการหาค่าที่เหมาะสมใหม่ๆเกิดขึ้นมา เช่น วิธี Simulated Annealing วิธี Genetic Algorithms และ วิธี Differential Evolution เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาระบบโครงข่ายท่อจ่ายน้ำเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ได้มีผู้ศึกษาประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมในรูปแบบต่างๆเพื่อให้มูลค่าท่อที่ใช้ประหยัดที่สุดและยังอยู่ในเงื่อนไขทางด้านชลศาสตร์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การศึกษาหาขนาดท่อที่เหมาะสมของโครงข่ายท่อจ่ายน้ำจังหวัดนครสวรรค์

ผู้ศึกษา	วิธีการ	มูลค่าท่อ (ล้านบาท)
จำเริญ(2533)	Trial & Error	38.321
อำนาจ(2537)	Newton - Raphson	33.775
ปกรณ์(2544)	Simulated Annealing	38.125
อนุพงษ์(2548)	Differential Evolution	34.246

โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี Genetic Algorithms ร่วมกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ของการไหลในท่อความดัน โดยใช้ toolkit ของโปรแกรม EPANET พัฒนาเป็นโปรแกรมหาขนาดท่อที่เหมาะสมที่สุด

2. Genetic algorithms

Genetic Algorithms (GAs) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสโตแคสติค ชนิดหนึ่ง โดย Holland [11] เป็นผู้บุกเบิก GAs นั้นแตกต่างจากเทคนิคแบบเดิมๆ ตรงที่ว่า GAs จะใช้รหัสของค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติการแทนการใช้ค่าพารามิเตอร์โดยตรงในการหาคำตอบ โดยใช้ค่าเริ่มต้นหลายๆ ซึ่ง GAs สนใจเพียงฟังก์ชั่นเป้าหมาย ที่ต้องการจะหาค่าเหมาะสมเป็นหลัก และสุดท้ายก็คือ GAs ใช้หลักของความน่าจะเป็นในการสืบค้นหาค่าเหมาะสม ซึ่งก่อนที่จะทำผ่านกระบวนการคัดเลือกตามหลักของ GAs นั้นจำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการ 3 อย่างต่อไปนี้คือ

2.1 การถอดรหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding)

การถอดรหัสหรือการได้มาซึ่งโครโมโซม เป็นขั้นตอนที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้ GAs ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพปัญหา ทำให้รูปแบบการถอดรหัสโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ โดยในการศึกษานี้ได้ใช้วิธี Value Encoding ซึ่งใช้ค่าจำนวนเต็มในรูปของ id ของท่อเป็นค่าตัวแทนขนาดของท่อบรรจุในยีนของโครโมโซม แทนการใช้ Binary Code หรือ Gray Code เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบและใช้เวลาคำนวณได้รวดเร็วกว่าในขั้น

การสลับตำแหน่งของยีน (Crossover Operator) และขั้นดัดแปลงยีน (Mutation Operator)

2.2 การสุ่มประชากร(Initial Population)

เป็นการกระทำขั้นถัดไปหลังจากเลือกรูปแบบการถอดรหัสโครโมโซมได้แล้ว ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการของ Genetic Algorithms ประชากรที่เกิดจากการสุ่ม (Random) เพื่อนำประชากรเข้าไปในกระบวนการ ในการสุ่มจะต้องสุ่มให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้ โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

2.3 การคำนวณค่าความเหมาะสม

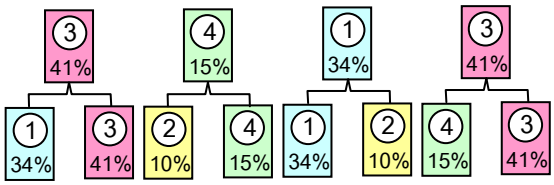
โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่สมควร ดังนั้นเมื่อแทนค่ายีนไปในสมการเป้าหมาย โครโมโซมแต่ละตัวจะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้ (fitness) ทั้งนี้อาจเป็นเพียงค่าที่เป็นไปได้ แต่อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดก็ได้ จากนั้นขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนตามกระบวนการของ GAs ซึ่งเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติของ Charles Darwin

3. กระบวนการคัดเลือกโดยหลักพันธุกรรม (GA Operaotors)

GAs ทำงานโดยใช้หลักของความน่าจะเป็น ดังนั้นกระบวนการคัดเลือกโดยหลักพันธุกรรม ทุกขั้นตอนจะถูกควบคุมไว้ด้วยหลักความน่าจะเป็น โครโมโซมที่ดีที่สุดจะถูกเลือกให้คงอยู่ใน Generation ถัดไป ความน่าจะเป็นดังกล่าวมีดังต่อไปนี้ probability of selection, probability of crossover และ probability of mutation ถูกกำหนดขึ้นแตกต่างกันไปตามหลักการต่อไปนี้

3.1 ขั้นการคัดเลือก (Selection Operator)

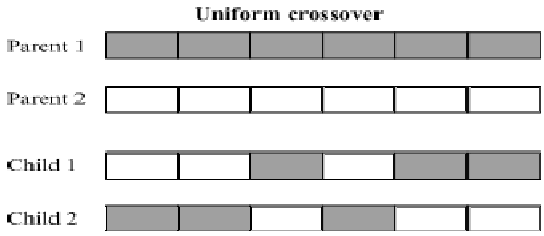
เป็นกระบวนการคัดเลือกโครโมโซมที่ให้คำตอบที่ดีกว่าจะอยู่รอดในรุ่นถัดไป ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธี Tournament Selection โดยวิธีนี้โครโมโซมที่ดีที่สุดนั้นจะชนะถึง 2 ครั้ง และถูกคัดไปอยู่ใน generation ต่อไป 2 ตัว ส่วนโครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดจะแพ้ 2 ครั้ง และจะถูกคัดออกไป ถ้าหากการ random จับคู่โครโมโซมเกิดจับคู่โครโมโซมที่มีค่า fitness เท่ากัน ต้องทำการ random ใหม่ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจัดทำ Tournament Selection

3.2 ขั้นการสลับตำแหน่งของยีน (Crossover Operator)

เป็นขั้นที่สำคัญมากอีกขั้นหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ประเภท GAs นี้ หากละเลยหรือไม่ทำการ crossover จะทำให้การปฏิบัติการ GAs ไม่ได้ผล หรือไม่อาจเรียกว่าเป็น GAs ได้ต่อไป โดยมีตัวควบคุมคือ probability of crossover โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธี Crossover หลายตำแหน่ง (uniform crossover) โดยแต่ละยีนจะทำการสุ่มว่าจะทำการแลกเปลี่ยนยีนหรือไม่ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปแบบของการ Crossover โดยวิธี uniform crossover

3.3 ขั้นดัดแปลงยีน (Mutation Operator)

เป็นขั้นตอนที่ยีนถูกปรับเปลี่ยนดัดแปลงให้ผิดแผกไปจากโครโมโซมพ่อ แม่โดยสิ้นเชิง ภายใต้การควบคุมของ probability of mutation ดังภาพที่ 3 ตำราบางเล่มจะใช้ number of mutation per chromosome แทนซึ่งสามารถ converse ได้ดังนี้

Probability of mutation = Number of Mutation per chromosome / Gene Length (1)

ก่อนดัดแปลงยีน

โครโมโซม 1	0	1	4	2	2
โครโมโซม 2	1	1	5	1	3
โครโมโซม 3	0	0	4	1	2
โครโมโซม 4	1	2	3	2	2

หลังดัดแปลงยีน

โครโมโซม 1	1	1	4	3	2
โครโมโซม 2	1	1	4	1	3
โครโมโซม 3	0	0	3	1	1
โครโมโซม 4	1	1	3	1	2

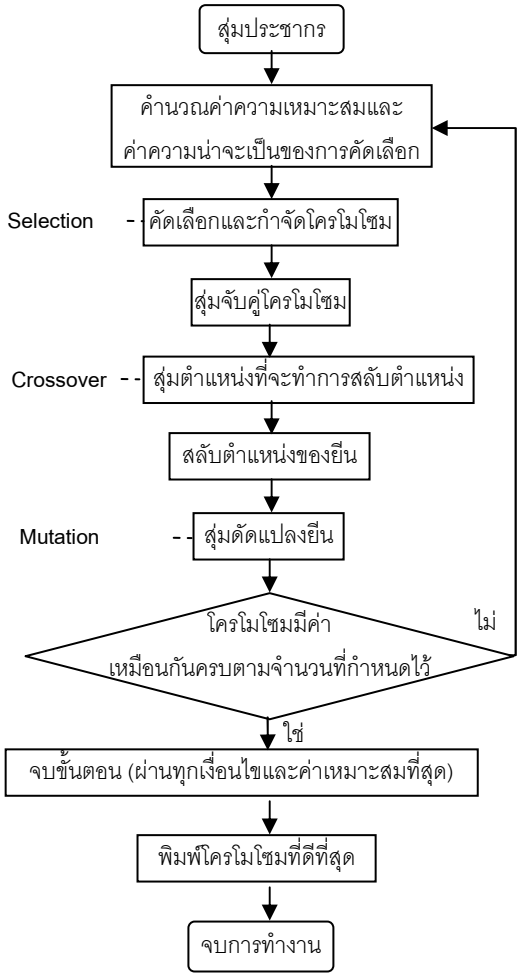
ภาพที่ 3 ตัวอย่างขั้นตอนการดัดแปลงยีน

จากการศึกษานี้แรกเริ่มได้ใช้วิธีการดัดแปลงยีนโดยวิธี Modified Uniform Mutation ซึ่งค่ายีนจะถูกปรับแก้โดยค่าคงที่คือ 1 เพื่อใช้ในการปรับขนาดท่อเป็นการปรับทีละ 1 ขนาด แต่พบว่าเมื่อ Generation มีค่ามากขึ้นความน่าจะเป็นที่จะดัดแปลงยีนมีมากเกินความต้องการ จึงได้นำแนวคิดการดัดแปลงยีนโดยวิธี Non-Uniform Mutation โดยปรับเปลี่ยนจากค่าที่ดัดแปลงยีนให้น้อยลงเป็นค่าความน่าจะเป็นในการดัดแปลงยีนมีค่าน้อยลงเป็นขั้นๆตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางค่า Probability of mutation แบบขั้นบันได

Generation รุ่นที่	ค่า Probability of mutation (Pmutate)
0-2000	Pmutate
2001-3000	Pmutate*0.90
3001-4000	Pmutate*0.80
4001-5000	Pmutate*0.75
5001 ขึ้นไป	Pmutate*0.70

จากนั้นทำซ้ำกระบวนการทั้งหมดจนกระทั่งมีโครโมโซมที่ดีที่สุดซ้ำกัน 1500 รุ่น โดยภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วย GAs



ภาพที่ 4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของ GAs

4. แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET

EPANET เป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองพฤติกรรมการไหล และคุณภาพน้ำ ในท่อความดัน พัฒนาโดย United States Environmental Protection Agency (US EPA) สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ชลศาสตร์ของระบบจ่ายน้ำและงานวางแผนปรับปรุงระบบจ่ายน้ำได้หลากหลาย ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของโครงข่ายท่อจ่ายน้ำ นอกจากนั้น EPANET ยังมี toolkit ซึ่งช่วยให้ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถนำความสามารถในการจำลองชลศาสตร์การไหลในท่อความดันและการจำลองคุณภาพน้ำของ EPANET มาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับงานต่าง ๆ ได้ เช่น การปรับเทียบแบบจำลองอัตโนมัติ และการหาค่าเหมาะสม เป็นต้น โดยการใช้งาน Toolkit สามารถศึกษาได้จากคู่มือ ซึ่งเขียนโดย Rossman [10]

5. การออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำอย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำ คือ การหาขนาดของท่อที่เหมาะสม โดยใช้ค่าลงทุนต่ำที่สุด แต่ยังอยู่ในภายใต้ข้อกำหนดทางชลศาสตร์ ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาและพัฒนาค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด (Penalty Function) โดยค่าถ่วงน้ำหนักจะห้ามการค้นหาในทิศทางที่เป็นไปไม่ได้ จำกัดคำตอบให้อยู่ในขอบเขตที่เป็นไปได้ วิธีการคือเพิ่มค่าปรับ (Penalty cost) ให้กับคำตอบใดๆ ที่ไม่เป็นไปตามสมการข้อจำกัด โดยสมการวัตถุประสงค์ และสมการข้อจำกัดของปัญหาการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำมีดังนี้

5.1 สมการวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize cost} = \sum_{i=1}^{n} c(d_i)L_i + CP_i \qquad (2)$$

Subject to :

$$\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} = Q_e \qquad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{no.loops} \Delta H_k = 0 \qquad (4)$$

$$d_{min} \le d_i \le d_{max} ;\ i = 1 \text{ to no. of pipes} \qquad (5)$$

$$P_{min} \le P_i \le P_{max} ;\ i = 1 \text{ to no. of nodes} \qquad (6)$$

$$Ppump \le Ppump_{max} ; \qquad (7)$$

$$H_{min} \le H_i \le H_{max} ;\ i = 1 \text{ to no. of nodes} \qquad (8)$$

$$V_{min} \le V_i \le V_{max} ;\ i = 1 \text{ to no. of pipes} \qquad (9)$$

$$HL_i \le HL_{max} ;\ i = 1 \text{ to no. of pipes} \qquad (10)$$

เมื่อ n = จำนวนท่อในโครงข่าย

$c(d_i)$ = ราคาต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ

d_i = ขนาดศูนย์กลางท่อ

L_i = ความยาวท่อ

CP_i = ค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด

Q_i = อัตราการไหลในท่อ

V_i = ความเร็วในการไหลของน้ำ

P_i = ความดันที่ node

P_{pump} = ความดันที่เครื่องสูบน้ำ

H_i = ความสูงน้ำจากระดับที่กำหนด

HL_i = การสูญเสียพลังงานในท่อ

สมการ (3) แสดงกฎการทรงมวล โดย Q_{in} และ Q_{out} คือ อัตราการไหลเข้าและออกจากจุดร่วม ตามลำดับ Q_e คือ ความต้องการน้ำ (กรณีที่เป็นค่าบวก) หรือ ปริมาณน้ำไหลเข้า (กรณีที่เป็นค่าลบ) สำหรับสมการ (4) แสดงกฎการอนุรักษ์พลังงาน นั่นคือ ผลรวมของการสูญเสียความดันในวงรอบใด ๆ เท่ากับศูนย์ สมการที่ (5), (6), (7), (8), (9) และ (10) คือข้อจำกัดทางชลศาสตร์ นั่นคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (Discrete size) ความดันของน้ำในแต่ละจุดร่วม แรงดันสูบจ่ายน้ำ ระดับความสูงน้ำในแต่ละจุดร่วม ความเร็วของน้ำในแต่ละท่อ และอัตราการสูญเสียพลังงานในท่อต่อกิโลเมตร ต้องอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด

5.2 สมการค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด (Penalty Function)

ในการพัฒนาสมการ Penalty Function ในครั้งนี้ได้ใช้แนวคิดของสมการของ Abebe and Solmatine [6] และของอนุพงษ์ [4] เป็นพื้นฐานและปรับแก้ให้เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดสมการ Penalty Function ที่ได้พัฒนาขึ้นมาดังต่อไปนี้

5.2.1 สำหรับโครงข่ายที่มีค่าทางชลศาสตร์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดให้ค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด เท่ากับศูนย์

$$CP_i = 0 \qquad (12)$$

5.2.2 สำหรับโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำที่มีค่าทางชลศาสตร์น้อยกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ให้กำหนดค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด ดังสมการต่อไปนี้

$$CP_i = R_j \times C_{\max} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{n,m} (CS_{j-\min} - CS_i)}{CS_{j-\min}} \right) \qquad (13)$$

5.2.3 สำหรับโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำที่มีค่าทางชลศาสตร์มากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ให้ค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด ดังสมการต่อไปนี้

$$CP_i = R_j \times C_{\max} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{n,m} (CS_i - CS_{j-\max})}{CS_{j-\min}} \right) \quad (14)$$

โดยที่

CP_i = ค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด

R_j = ค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักของเงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่พิจารณาได้แก่ กลุ่มความดันน้ำและแรงดันเครื่องสูบน้ำ(R1) กลุ่มระดับความสูงน้ำ(R2) กลุ่มความเร็วในท่อ (R3) และกลุ่มค่าการสูญเสียพลังงานการไหล (R4)

C_{max} = ราคาท่อที่แพงที่สุดต่อหนึ่งหน่วยความยาว x ผลรวมความยาวท่อทั้งโครงข่าย

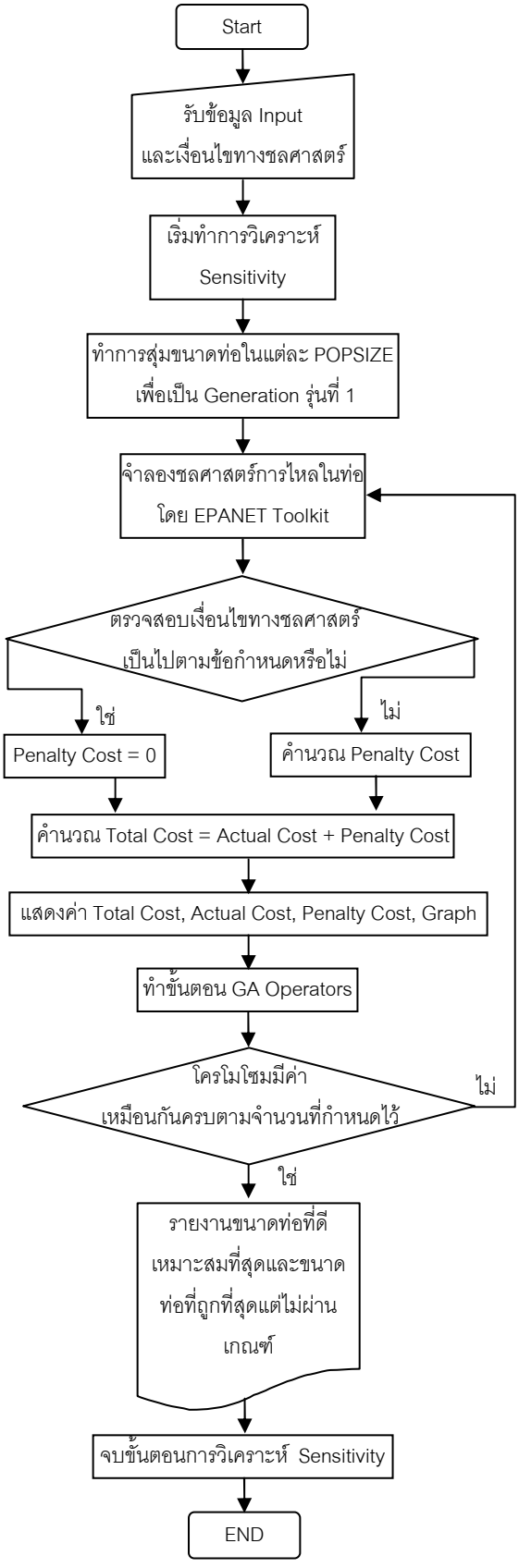
CS_i = ค่าชลศาสตร์ที่พิจารณา

$CS_{j\text{-}max}$ = ค่าเงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่พิจารณามากที่สุดที่ยอมรับ

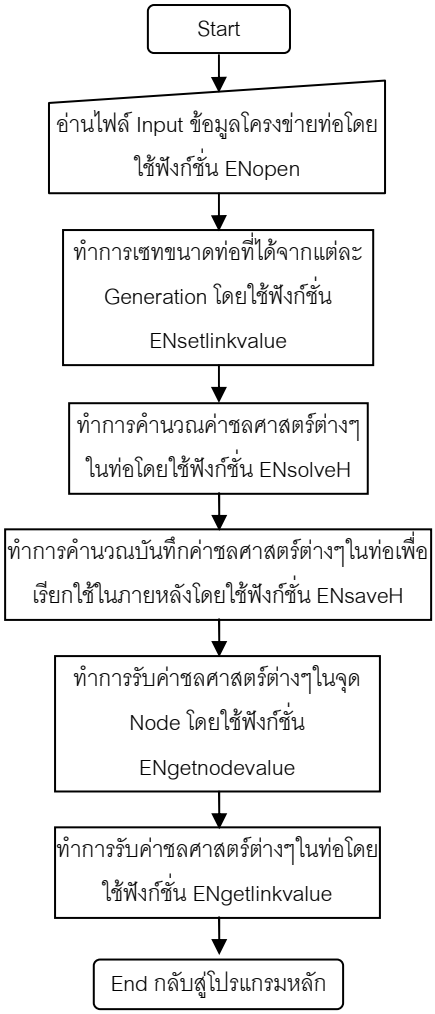
$CS_{j\text{-}min}$ = ค่าเงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่พิจารณาน้อยที่สุดที่ยอมรับ

n,m = จำนวนจุดร่วมและจำนวนท่อ

โดยภาพที่ 5 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม GAs Optimal Pipe Size และภาพที่ 6 แผนผังขั้นตอนในการคำนวณทางชลศาสตร์โดย EPANET Toolkit ตามลำดับ



ภาพที่ 5 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม GAs Optimal Pipe Size



ภาพที่ 6 แผนผังขั้นตอนในการคำนวณทางชลศาสตร์โดย EPANET Toolkit

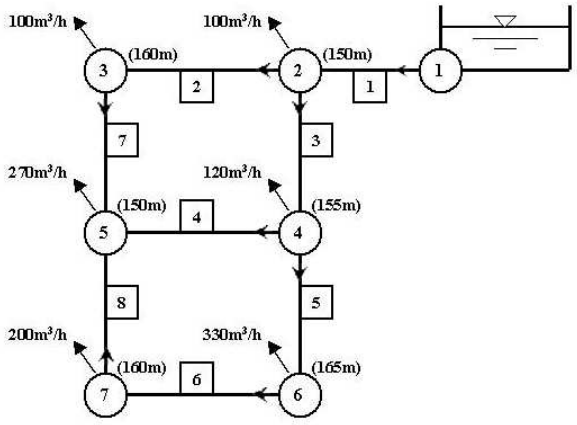
6. การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบโปรแกรมเปรียบเทียบผลการศึกษาโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำขนาดเล็ก 2 Loop ของ Alpcrovits and Shamir [7] และโครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำขนาดกลาง Hanoi ของ Fujiwara and Khang [8] แล้วจึงนำมาใช้งานกับโครงข่ายท่อจ่ายน้ำเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเสนอโดยจำเริญ [2]

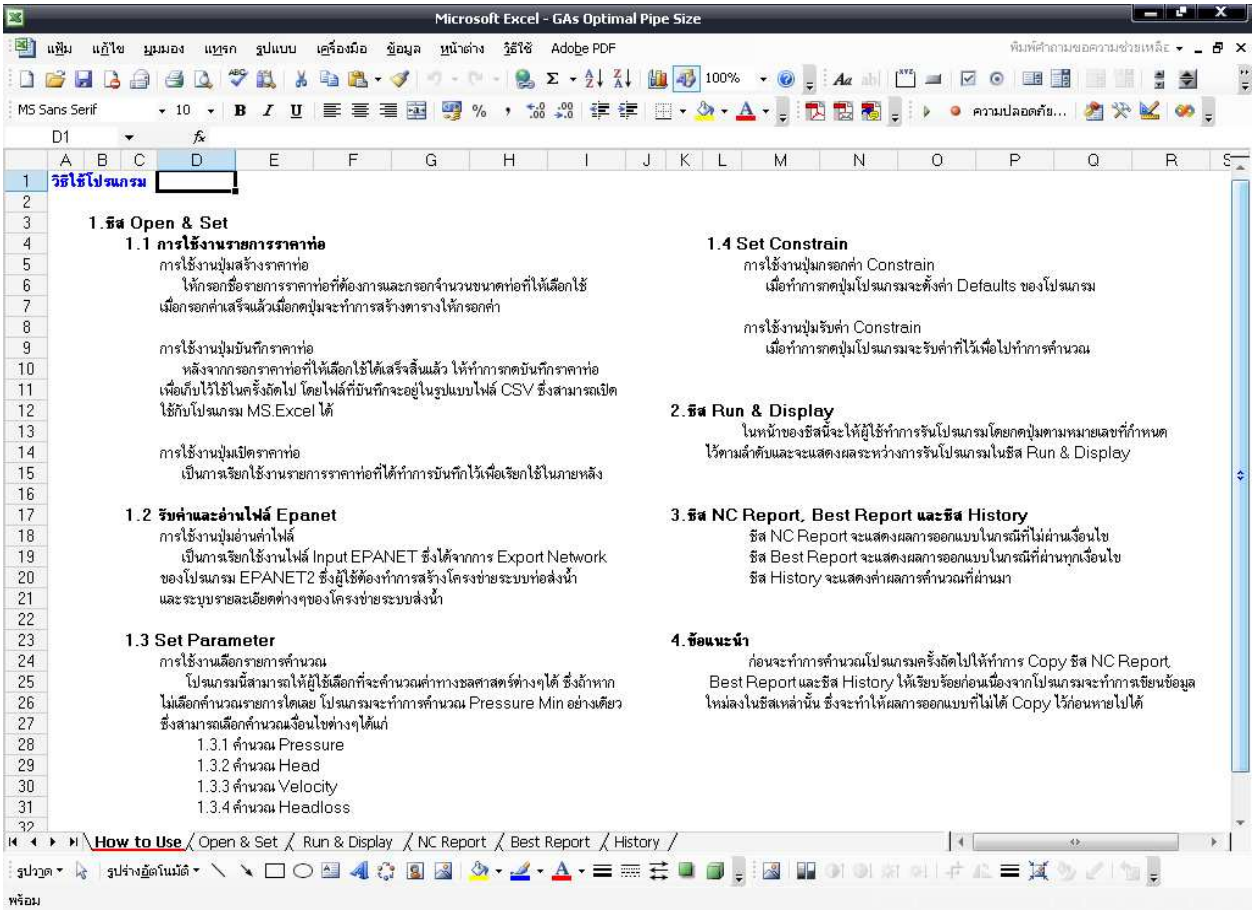
โดยในที่นี้จะขอแสดงภาพการใช้งานโปรแกรมกับโครงข่ายท่อจ่ายน้ำเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ เนื่องจากมีรายละเอียดรับและตั้งค่าโปรแกรมครบทุกฟังก์ชั่น เมื่อเปิดโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างหลัก ซึ่งอธิบายการใช้งานโปรแกรม (ดูภาพที่ 8) เมื่อคลิก Worksheet Open & Set จะพบเมนูรายการราคาท่ออยู่ทางด้านซ้ายมือ เมนูรับค่าและอ่านไฟล์ EPANET อยู่ตรงกลาง และเมนู Set Parameter (R1-R4) และเมนู Set Constrain อยู่ทางด้านขวาของโปรแกรม (ดูภาพที่ 9) เมื่อตั้งค่าและรับค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเลือก Worksheet Run & Display เพื่อเลือกขั้นตอนที่จะใช้ในการคำนวณ ขณะประมวลผลโปรแกรมจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลงทุน กับ generation (ดูภาพที่ 10) และเมื่อสิ้นสุดการประมวลผลจะแสดงรายงานขนาดท่อที่เหมาะสมที่สุดใน Worksheet Best Report (ดูภาพที่ 11) รายงานขนาดท่อที่ถูกที่สุดแต่ไม่ผ่านเงื่อนไขข้อจำกัดทางชลศาสตร์ใน Worksheet NC Report และรายงานประวัติมูลค่าท่อในแต่ละการรันแต่ละครั้งใน Worksheet History โดยจะแสดงประวัติการคำนวณหาSensitivity R, Sensitivity PXOVER, Sensitivity Pmutate, Sensitivity POPSIZE

6.1 โครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำขนาดเล็ก 2 Loop

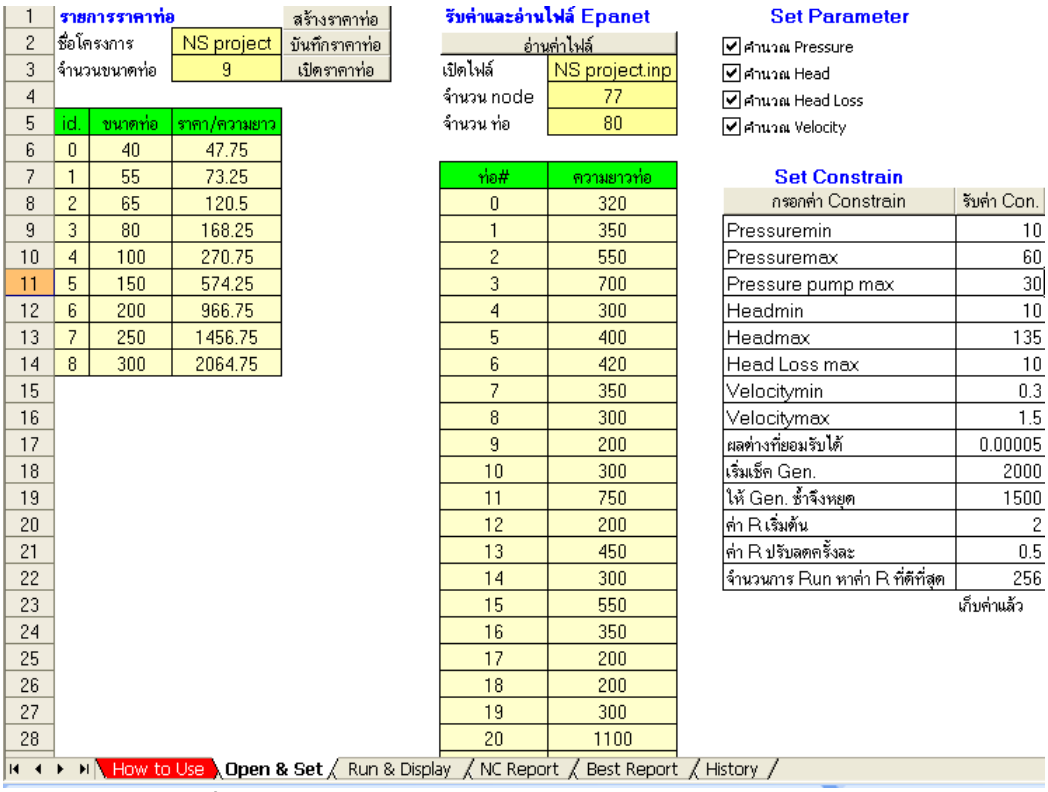
โครงข่ายท่อจ่ายดังกล่าวประกอบด้วยท่อจ่ายน้ำ 8 ท่อ จุดร่วม 7 จุด และมีแหล่งจ่ายน้ำ คือ อ่างเก็บน้ำ (ดูภาพที่ 7) สำหรับการคำนวณการสูญเสียพลังงานในท่อใช้สมการของ Hazen-Williams โดยใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 130 และข้อกำหนดทางชลศาสตร์ของโครงข่ายที่ใช้ทดสอบได้แก่ ความดันน้ำในแต่ละจุดร่วมไม่น้อยกว่า 30 เมตร โดยมีขนาดท่อให้เลือก 14 ขนาด ดังนั้นโครงข่ายนี้สามารถออกแบบได้ทั้งหมด $14^8 = 1.47 * 10^9$ รูปแบบ



ภาพที่ 7 โครงข่ายท่อจ่ายน้ำ 2 Loop



ภาพที่ 8 ภาพหน้าแรกของโปรแกรม



รายการราคาท่อ		สร้างราคาท่อ
ชื่อโครงการ	NS project	บันทึกราคาท่อ
จำนวนขนาดท่อ	9	เปิดราคาท่อ

id.	ขนาดท่อ	ราคา/ความยาว
0	40	47.75
1	55	73.25
2	65	120.5
3	80	168.25
4	100	270.75
5	150	574.25
6	200	966.75
7	250	1456.75
8	300	2064.75

รับค่าและอ่านไฟล์ Epanet

อ่านค่าไฟล์	
เปิดไฟล์	NS project.inp
จำนวน node	77
จำนวน ท่อ	80

ท่อ#	ความยาวท่อ
0	320
1	350
2	550
3	700
4	300
5	400
6	420
7	350
8	300
9	200
10	300
11	750
12	200
13	450
14	300
15	550
16	350
17	200
18	200
19	300
20	1100

Set Parameter

- ☑ คำนวณ Pressure
- ☑ คำนวณ Head
- ☑ คำนวณ Head Loss
- ☑ คำนวณ Velocity

Set Constrain

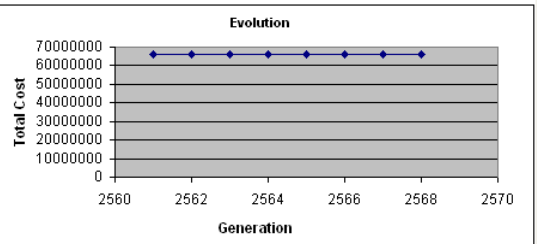
กรอกค่า Constrain	รับค่า Con.
Pressuremin	10
Pressuremax	60
Pressure pump max	30
Headmin	10
Headmax	135
Head Loss max	10
Velocitymin	0.3
Velocitymax	1.5
ผลต่างที่ยอมรับได้	0.00005
เริ่มเช็ค Gen.	2000
ให้ Gen. ซ้ำจึงหยุด	1500
ค่า R เริ่มต้น	2
ค่า R ปรับลดครั้งละ	0.5
จำนวนการ Run หาค่า R ที่ดีที่สุด	256

เก็บค่าแล้ว

How to Use | Open & Set | Run & Display | NC Report | Best Report | History

ภาพที่ 9 ภาพ Worksheet Open & Set ใช้สำหรับรับค่าต่างๆของโปรแกรม

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ขั้นตอนการรัน										
2	1. Sensitivity R										
3	2. Sensitivity PXOVER										
4	3. Sensitivity Pmutate										
5	4. Sensitivity POPSIZE										
6	5. GAs 1 Step										
7											
8	Display Sensibility R										
9	รายการ	ค่าปัจจุบัน	ค่าที่ดีที่สุด	ถูกที่สุดแต่ไม่ผ่าน	การ Run ลำดับที่	จาก Run ทั้งหมด					
10	POPSIZE	100	100	100	256	256					
11	PXOVER	0.5	0.5	0.5	ราคาโครงการต่ำสุด	ราคาโครงการสูงสุด					
12	Pmutate	0.009375	0.009375	0.009375	2175489.999	94070009.97					
13	R1	0.5	0.5	0.5	Epanet Run#						
14	R2	0.5	0.5	2	774765						
15	R3	0.5	1.5	0.5							
16	R4	0.5	1.5	0.5							
17	Constrain	Fail	Pass	Fail							
18	Total Cost	66156241.79	32883947.5	32768200							
19											
20	Gen#	Total Cost	Actual Cost	cp1 (p.min)	cp2 (p.max)	cp3 (p.pump)	cp4 (v.min)	cp5 (v.max)	cp6 (headloss)	cp7 (h.min)	cp8 (h.max)
21	2561	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
22	2562	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
23	2563	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
24	2564	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
25	2565	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
26	2566	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
27	2567	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0
28	2568	66156241.79	35027337.5	0	0	6153003.669	0	24975900.62	0	0	0



How to Use | Open & Set | **Run & Display** | NC Report | Best Report | History

ภาพที่ 10 ภาพ Worksheet Run & Display ใช้สำหรับแสดงการประมวลผลของโปรแกรม

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Project	NS project.inp		Set Constrain					
2	POPSIZE	100		Pressuremin (ม.)	10				
3	PXOVER	0.5		Pressuremax (ม.)	60				
4	Pmutate	0.009375		Pressure pump max (ม.)	30				
5	R1	0.5		Headmin (ม.)	10				
6	R2	0.5		Headmax (ม.)	135				
7	R3	1.5		Head Loss max (ม./กม.)	10				
8	R4	1.5		Velocitymin (ม/วิ.)	0.3				
9	Actual Cost	32883947.5		Velocitymax (ม/วิ.)	1.5				
10	penalty cost 1	0		ผลต่างที่ยอมรับได้	0.00005				
11	penalty cost 2	0		เริ่มเช็ค Gen.	2000				
12	penalty cost 3	0		ให้ Gen. ซ้ำจึงหยุด	1500				
13	penalty cost 4	0		ค่า R เริ่มต้น	2				
14	penalty cost 5	0		ค่า R ปรับแก้ครั้งละ	0.5				
15	penalty cost 6	0		จำนวนRunหาR	256				
16	penalty cost 7	0							
17	penalty cost 8	0							
18									
19	Display Best Report								
20	Link Results								
21	Pipe	From	To	Length	Diameter	Roughness	Velocity	Head Loss	Flow
22	Id	Node1	Node2	(m)	(mm.)		(m/s.)	(m/Km.)	(LPS)
23	1	74	1	320	300	140	1.0353	1.0055	73.1829
24	2	1	2	350	80	140	1.4145	9.1660	7.1100
25	3	1	63	550	150	140	0.6168	1.4871	10.9000
26	4	1	3	700	250	140	0.9099	2.1421	44.6629
27	5	3	68	300	250	140	0.7707	0.6751	37.8329
28	6	4	5	400	200	140	1.0507	2.0734	33.0100
29	7	5	37	420	55	140	0.5640	3.1027	1.3400
30	8	5	6	350	200	140	0.8018	1.0996	25.1900

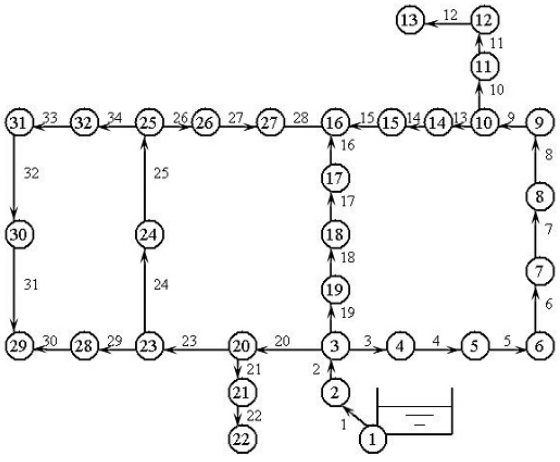
How to Use | Open & Set | Run & Display | NC Report | **Best Report** | History

ภาพที่ 11 ภาพ Worksheet Best Report ใช้สำหรับแสดงผลการออกแบบของโปรแกรม

เนื่องจากในเงื่อนไขทางชลศาสตร์กำหนดพิจารณาเพียงค่าความดันน้ำอย่างเดียว ในการทดสอบโปรแกรมจึงหาค่าเฉพาะค่า R1, PXOVER, Pmutate และค่า POPSIZE ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของกระบวนการคัดเลือกโดยหลักพันธุกรรม (Sensitivity Analysis of GA Operators) พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหานี้คือ R1=0.50 PXOVER=0.50 Pmutate = 0.09375 และ POPSIZE = 100 ตามลำดับ โดยค่าลงทุนที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ $ 419,000 ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Alpcrovits and Shamir [7]

6.2 โครงข่ายระบบท่อจ่ายน้ำขนาดกลางของ Hanoi

โครงข่ายท่อจ่ายดังกล่าวประกอบด้วยท่อจ่ายน้ำ 34 ท่อ จุดร่วม 32 จุด มีการเชื่อมต่อแบบวงรอบ 3 วง มีแหล่งจ่ายน้ำที่มีระดับความสูง 100 ม. ที่มียอดรวมความต้องการน้ำเท่ากับ 19,940 $ม^3$/ชม. และมีแหล่งจ่ายน้ำ คือ อ่างเก็บน้ำ (ดูภาพที่ 12) สำหรับการคำนวณการสูญเสียพลังงานในท่อใช้สมการของ Hazen-Williams โดยใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 130 และข้อกำหนดทางชลศาสตร์ของโครงข่ายที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ความดันน้ำในแต่ละจุดร่วมไม่น้อยกว่า 30 เมตร โดยมีขนาดท่อให้เลือก 6 ขนาด ดังนั้นโครงข่ายนี้สามารถออกแบบได้ทั้งหมด 6^{34} = 2.87 * 10^{26} รูปแบบ

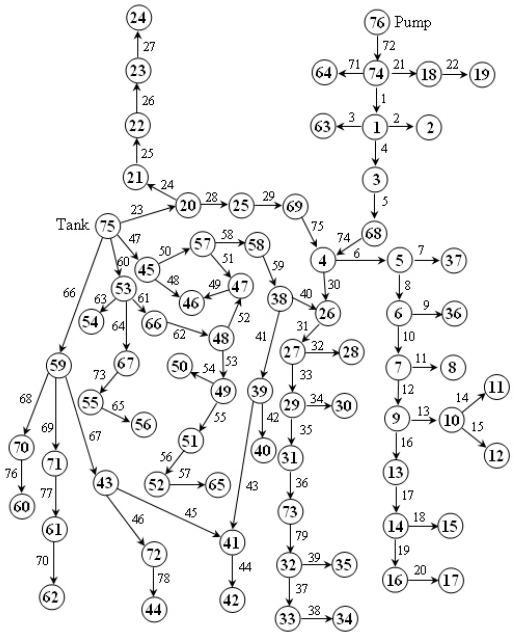


ภาพที่ 12 โครงข่ายท่อจ่ายน้ำ Hanoi

เนื่องจากในเงื่อนไขทางชลศาสตร์กำหนดพิจารณาเพียงค่าความดันน้ำอย่างเดียว ในการทดสอบโปรแกรมจึงหาค่าเฉพาะค่า R1, PXOVER, Pmutate และค่า POPSIZE ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของกระบวนการคัดเลือกโดยหลักพันธุกรรม (Sensitivity Analysis GA Operators) พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหานี้คือ R1=0.80 PXOVER=0.50 Pmutate = 0.0220588 และ POPSIZE = 100 ตามลำดับ โดยค่าลงทุนที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ $ 6,081,086.96 ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ Fujiwara and Khang [8]

6.3 โครงข่ายท่อจ่ายน้ำเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์

โครงข่ายท่อจ่ายน้ำดังกล่าวประกอบด้วยท่อจ่ายน้ำ 79 ท่อ จุดร่วม 76 จุด และมีแหล่งจ่ายน้ำสองแห่ง คือ ถังสูงจ่ายน้ำ 1 แห่งและสถานีสูบน้ำ 1 แห่ง (ดูภาพที่ 13) สำหรับการคำนวณการสูญเสียพลังงานในท่อใช้สมการของ Hazen-Williams โดยใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 140 และข้อกำหนดทางชลศาสตร์ ได้แก่ ความดันน้ำต่ำที่สุดและสูงที่สุดที่ยอมให้ในแต่ละจุดร่วม เท่ากับ 10 เมตร และ 60 เมตร ตามลำดับ สถานีสูบน้ำที่จุดร่วมที่ 76 จ่ายน้ำด้วยแรงดันไม่เกิน 30 เมตร ระดับความสูงน้ำต่ำที่สุดและสูงที่สุดที่ยอมให้ในแต่ละจุดร่วม เท่ากับ 10 เมตร และ 135 เมตร ตามลำดับ ความเร็วการไหลของน้ำในท่ออยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 1.50 เมตรต่อวินาที การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ ไม่เกิน 10 เมตร ต่อ กิโลเมตร ค่า Peak factor เท่ากับ 1.5 มีขนาดท่อให้เลือก 9 ขนาด ดังนั้นโครงข่ายนี้สามารถออกแบบได้ทั้งหมด 9^{79} = 2.4 * 10^{75} รูปแบบ ส่วนของโปรแกรมนั้นกำหนดให้ค่าผลต่างที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.00005 เริ่มตรวจสอบโครโมโซมที่ดีที่สุดซ้ำกันเมื่อผ่านไป 2000 รุ่น โดยให้ซ้ำกัน 1500 รุ่น จึงหยุดการคำนวณรอบนั้นๆ โดยเริ่มคำนวณในขั้นตอน Sensitivity R หาค่า R1-R4 ที่ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 2 ปรับลดลงครั้งละ 0.5 ซึ่งจะมีรอบการคำนวณเท่ากับ 4^4 = 256 ครั้ง โดยใช้เครื่อง Pentium 4 ความเร็ว 2 GHz คำนวณ ใช้เวลา 2.5 วัน ซึ่งถือเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของวิธี GAs



ภาพที่ 13 โครงข่ายท่อจ่ายน้ำของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์

ในการทดสอบโปรแกรมหาค่า R1-R4 ค่า PXOVER ค่า Pmutate และค่า POPSIZE ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของกระบวนการคัดเลือกโดยหลักพันธุกรรม (Sensitivity Analysis of GA Operators) พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ คือ R1=0.5 R2=0.5 R3=1.5 R4=1.5 PXOVER=0.50 Pmutate = 0.009375 และ POPSIZE = 100 ตามลำดับ โดยมีค่าลงทุนเท่ากับ 32,883,948 บาท ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของจำเริญ [2] อำนาจ [5] ปกรณ์ [3] และของอนุพงษ์ [4] ในตารางที่ 1

7. สรุป

จากการศึกษาการหาขนาดท่อที่เหมาะสมโดยวิธี GAs นั้น พบว่าการเลือกใช้รูปแบบการถอดรหัสโครโมโซมด้วยรูปแบบ Value Encoding เหมาะกว่าการใช้รูปแบบการถอดรหัสโครโมโซมด้วยรูปแบบ Binary Encoding และ Gray Encoding ส่วนการเลือกวิธีขั้นตอนดัดแปลงยีนโดยใช้วิธี Modified Uniform Mutation ร่วมกับวิธีปรับค่า Probability of mutation แบบขั้นบันได โดยใช้ค่าคงที่ในการดัดแปลงยีนเท่ากับ 1 ทำให้สามารถหาขนาดท่อที่เหมาะสมได้ดีกว่าการใช้วิธี Modified Uniform Mutation เพียงอย่างเดียว ในส่วนของการพัฒนาสมการค่าปรับการฝ่าฝืนข้อจำกัด (Penalty Function) ได้พิจารณาค่าปรับการฝ่าฝืนเงื่อนไขทางชลศาสตร์ 4 เงื่อนไขแก่ เงื่อนไขด้านความดันน้ำและแรงดันเครื่องสูบน้ำ ด้านระดับความสูงน้ำ ด้านความเร็วในท่อ และด้านค่าการสูญเสียพลังงานการไหล โดยประยุกต์จากสมการ Penalty Function ของ Abebe and Solmatine [6] และของ อนุพงษ์ [4] ซึ่งผลการศึกษากรณี ระบบท่อส่งน้ำแบบ 2 Loops และระบบท่อส่งน้ำของ Hanoi ได้ราคาค่าลงทุนเท่ากับผลการศึกษาเดิมของ Alpcrovits and Shamir [7] และ Fujiwara and Khang [8] ตามลำดับ ส่วนกรณีระบบท่อส่งน้ำของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ พบว่าราคาค่าลงทุนระบบท่อส่งน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าผลการศึกษาเดิมที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการวิเคราะห์ Sensitivity ของค่า R1 - R4 โดยการการคำนวณ 256 ครั้ง ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมากถือเป็นข้อเสียประการหนึ่งของวิธี GAs และต้องมีการวิจัยหาวิธีการลดเวลาในการคำนวณต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กัมปนาท ภักดีกุล. 2547. พันธุกรรมคอมพิวเตอร์-ทางเลือกใหม่ของการจัดการน้ำในยุคโลกาภิวัตน์. (เอกสารประกอบการฝึกอบรม). สถาบันพัฒนาการชลประทาน, กรมชลประทาน.

[2] จำเริญ โกศัลวิตร, 2533. การศึกษาเกณฑ์ออกแบบโครงข่ายท่อจ่ายน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] ปกรณ์ ดิษฐกิจ, 2544. การหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับการแพร่กระจายน้ำแบบวงรอบโดยวิธีซีมูเลทแอนนิลลิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] อนุพงษ์ เปรมปรี. 2548. การออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5] อำนาจ โตโพธิ์ไทย. 2537. การหาโปรแกรมเบื้องต้นสำหรับวิเคราะห์การแพร่กระจายน้ำและหาความเหมาะสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] Abebe, A.J. and Solomatine, D.P. 1998. Application of global optimization to the design of pipe networks, pp. 989-996. The 3rd International Conferences on Hydroinformatics. Copenhagen, Denmark.

[7] Alperovits, E. and U. Shamir. 1977. Design of optimal water distribution system. Water Resources 13 (6): 885-900.

[8] Fujiwara, O. and D.B. Khang. A Two-Phase Decomposition Method for Optimal Design of Looped Water Distribution Networks. Water Resou.Res. 1990 ; 26(4) : 539-549

[9] Goldberg, D. E. 1989. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley. Reading, Massachusette.

[10] Rossman, L. A., 2000. EPANET 2 Users Manual. US Environmental Protection Agency. Cincinnati , OH.

[11] Holland, J.H. 1992. In Adaptation in Natural and Artificial Systems 2nd. ed. Univ. of Michigan Press