การออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

OPTIMAL DESIGN OF WATER DISTRIBUTION PIPING SYSTEM USING DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM

รศ.ดร.สุวัฒนา จิตตลดากร และ นายอนุพงษ์ เปรมปรี

Suwatthana Chittaladakorn and Anupong Prempree

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2579-2568

E-mail fengswc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

Differential Evolution (DE) เป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบสโตคาสติก มีพื้นฐานจากการหาคำตอบของปัญหาโดยวิธีสุ่มเลือก พัฒนามาจาก Genetic Algorithm (GA) แต่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน สามารถประยุกต์ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ DE ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำ โดยเชื่อมโยงกับ EPANET ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ของการไหลในระบบท่อโครงข่าย โดยใช้ toolkit ของตัวโปรแกรม และทดสอบโปรแกรมที่สร้างขึ้นกับระบบท่อประปาจังหวัดนครสวรรค์ เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการออกแบบระบบท่อประปาด้วยวิธีดั้งเดิม และด้วยวิธี Simulated Annealing (SA) ผลการศึกษาพบว่าโปรแกรมสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าทั้ง 2 วิธี ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ทำให้ประหยัดค่าลงทุนได้ประมาณ 4 ล้านบาท

ABSTRACT

Differential Evolution (DE) is a stochastic optimization algorithm based on random search technique. It is an improved version of Genetic Algorithm (GA). The DE is considered as a simple and efficient evolutionary computation method which has been successfully applied for multi-modal optimization problem to find the true global optimum. In this study, the DE is applied to develop the program for determining the optimal discrete pipe sizes for the new piping networks. The developed program is linked with a hydraulic simulation model within pressurized pipe networks namely EPANET by using its toolkit. The program is tested by the case of the water distribution network designed for Nakhonsawan province and compared to the results that obtained by designing with original method and with Simulated Annealing method. The study result found that, with the same conditions, the developed program by DE could found better solution than that by both compared methods and approximately 4 millions baht could be saved.

1. บทนำ

ระบบท่อจ่ายน้ำ เป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานของชุมชน ประกอบด้วยท่อจ่ายน้ำ เครื่องสูบน้ำ ถังสูง อ่างเก็บน้ำ และอุปกรณ์ต่าง ๆ อีกหลายชนิด ระบบท่อจ่ายน้ำที่มีประสิทธิภาพ คือ ระบบที่สามารถจ่ายน้ำให้กับผู้บริโภคทั้งในครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ได้เพียงพอกับความต้องการภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเงินลงทุนและแรงดันน้ำที่เหมาะสม ปัจจุบันการขยายตัวของชุมชนอย่างรวดเร็วทำให้งานออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำเป็นงานที่ซับซ้อนมากขึ้น ใช้งบประมาณสูงในการก่อสร้างและบำรุงรักษา ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดค่าใช้จ่าย และผู้บริโภคได้รับประโยชน์สูงสุด

ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมามีการประยุกต์วิธีการหาค่าเหมาะสมมาใช้ในการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำมากมายหลายวิธี เช่น วิธี linear programming วิธี non-linear programming เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีหาค่าเหมาะสมแบบดีเทอร์มินิสติก จากการศึกษาในอดีตพบว่า วิธีเหล่านี้มักจะให้ค่าเหมาะสมเฉพาะที่ (local optimum) ภายหลังจึงได้พัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบสโตคาสติก มาใช้ เช่น วิธี Genetic Algorithm (GA) วิธี Simulated annealing (SA) ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียงค่าเหมาะสมที่แท้จริง (near global optimum) ได้

Differential Evolution (DE) เป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบสโตคาสติก มีพื้นฐานจากการหาคำตอบของปัญหาโดยวิธีสุ่มเลือก พัฒนามาจาก Genetic Algorithm (GA) แต่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และสามารถประยุกต์ใช้หาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหา

RECEIVED 24 June, 2005

ACCEPTED 3 October, 2005

ต่าง ๆ ได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ DE ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำ โดยเชื่อมโยงกับ EPANET ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ของการไหลในท่อความดันโดยใช้ toolkit ของตัวโปรแกรม เพื่อการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการประยุกต์ใช้ DE ในงานวิศวกรรม Lampinen and Zelinka [6] ได้ใช้ DE กับปัญหาการหาค่าเหมาะสมในการออกแบบ coil spring ซึ่งมีตัวแปรชนิด integer ตัวแปรชนิด discrete และ ตัวแปรชนิด continuous นอกจากนี้ Vasan and Raju [9] ได้ใช้ DE ในการศึกษาความเหมาะสมในการจัดการอ่างเก็บน้ำ เพื่อการวางแผนการเพาะปลูกพืชให้เหมาะสมกับศักยภาพของเขื่อน Bisalpur ในประเทศอินเดีย โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธี linear programming สำหรับปัญหาเกี่ยวกับระบบท่อจ่ายน้ำ Babu and Angira [4] ใช้ DE แก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมของการสูบจ่ายน้ำ โดยเปรียบเทียบกับ Branch and Reduce algorithm เพื่อหาค่าดำเนินการต่ำที่สุดในการสูบน้ำ ระหว่างอ่างเก็บน้ำสองแห่ง จากผลการศึกษาทั้งหมดข้างต้นพบว่า DE สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีหาค่าเหมาะสมอื่น ๆ ที่ใช้เปรียบเทียบ และเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาด้านอื่น ๆ ต่อไป

3. Differential Evolution Algorithm

ในปัจจุบันวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบสโตคาสติกที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางวิธีหนึ่ง คือ Genetic Algorithm (GA) เป็น population-based search algorithm ซึ่งมีแนวคิดมาจากกระบวนการคัดสรรทางธรรมชาติ โดยการจำลองกลุ่มประชากรเลียนแบบโครโมโซม ด้วยชุดของเลขฐานสอง และดำเนินการกับกลุ่มประชากรด้วยกระบวนการทางพันธุศาสตร์ ได้แก่ กระบวนการ reproduction, crossover, mutation และ selection เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีของสมาชิกในกลุ่มประชากรให้อยู่รอดต่อไป และทำซ้ำกระบวนการดังกล่าวจนได้สมาชิกของกลุ่มประชากรที่ดีที่สุด ซึ่งก็คือ คำตอบที่ดีที่สุดของสมการวัตถุประสงค์นั่นเอง

Differential Evolution (DE) ถูกคิดค้นขึ้นโดย Price และ Storn [7] จากความพยายามแก้ปัญหา polynomial fitting โครงสร้างของ DE คล้ายคลึงกับวิธี population-based search ทั่วไป เช่น GA ข้อแตกต่างที่สำคัญคือ GA จะแปลงตัวแปรการตัดสินใจ (decision variables) ให้เป็นรหัสเลขฐานสอง (binary code) แต่ DE จะใช้ค่าจริง (floating point number) แทน ข้อได้เปรียบของ DE คือความเร็วและประสิทธิภาพในการหาคำตอบโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และง่ายต่อการนำไปใช้ โดยขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วย DE มีดังนี้

3.1 Initialization

กำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่าง ของตัวแปรการตัดสินใจแต่ละตัว โดยต้องแน่ใจว่าขอบเขตนี้จะครอบคลุมจุดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นให้สุ่มหาคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้น (Initial population) โดยกำหนดให้โอกาสที่จะถูกเลือกของคำตอบมีค่าสม่ำเสมอ (Uniform probability distribution) โดยแต่ละคำตอบซึ่งเรียกว่า decision vector (D) หรือ จำนวนท่อในโครงข่ายที่ต้องการออกแบบ (ในการศึกษานี้ D เท่ากับ 79) และจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้น หรือจำนวนประชากรเริ่มต้น (Number of Poppulation, NP) มีค่าระหว่าง 2 ถึง 10 เท่าของ D (ในการศึกษานี้ใช้ NP เท่ากับ 3D นั่นคือ NP มีค่าเท่ากับ 237) จากนั้นคำนวณหา function value ของแต่ละคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้

3.2 Mutation

กำหนด target vector ($X_{i,G}$)โดย i = 1,2,3,...,NP จากนั้นสุ่มเลือก 3 vector ($X_{r1,G}$, $X_{r2,G}$, $X_{r3,G}$) จากคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้น (initial population) โดยต้องไม่ซ้ำกับ target vector แล้วคำนวณหา mutant vector ($v_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์

$$v_{i,G+1} = X_{r1,G} + F\,(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \qquad (1)$$

เมื่อ F คือ weighing factor มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2

3.3 Crossover

เป็นกระบวนการเพิ่มความหลากหลายของคำตอบ ผลลัพธ์จะได้ trial vector ($u_{i,G+1}$) ซึ่งเกิดจาก non-uniform crossover ของ target vector กับ mutant vector โดย

$$u_{i,G+1} = (u_{1i,G+1}, u_{2i,G+1}, \cdots, u_{Di,G+1}) \qquad (2)$$

และสมการ (3) แสดงกระบวนการ crossover

$$u_{ji,G+1} = \begin{cases} v_{ji,G+1} & \text{if (randb(j) <= CR) or j = rnbr(i)} \\ X_{ji,G} & \text{if (randb(j) > CR) or j} \neq \text{rnbr(i)} \end{cases} \qquad (3)$$

เมื่อ $u_{ji,G+1}$ = Trial vector

$v_{ji,G+1}$ = Mutant vector

$X_{ji,G}$ = Target vector

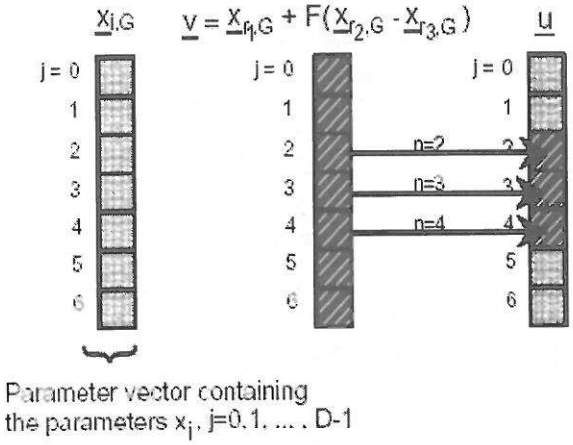
randb(j) = การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover Constant มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง 1

rnbr(i) = ค่า Index จากการสุ่มเลือก มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มระหว่าง 0,1,...,D-1

j = 0, 1, ..., D-1

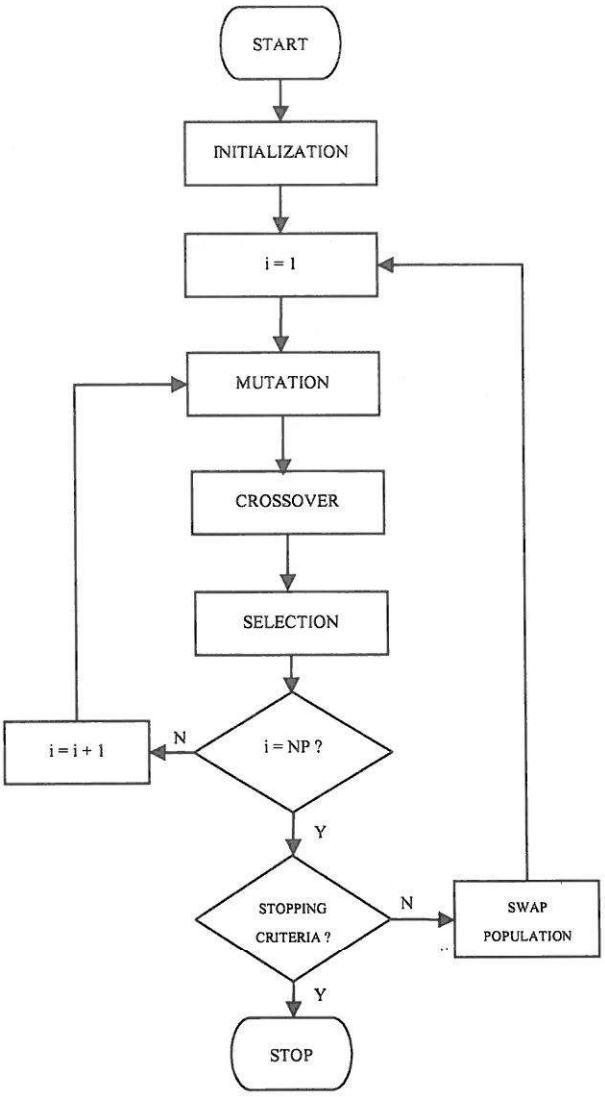
โดยรูปที่ 1 แสดงกระบวนการ crossover ระหว่าง target vector กับ mutant vector ที่มีตัวแปรการตัดสินใจ (D) เท่ากับ 7



รูปที่ 1 กระบวนการ crossover ระหว่าง target vector และ mutant vector ที่มีตัวแปรการตัดสินใจ (D) เท่ากับ 7

3.4 Selection

เป็นกระบวนการคัดสรรคำตอบ ซึ่ง vector ที่ให้คำตอบที่ดีกว่าจะอยู่รอดต่อไป วิธีการคือเปรียบเทียบ function value ของ trial vector กับ target vector ในกรณีที่ trial vector ให้ค่า function value ที่ดีกว่า มันก็จะแทนที่ target vector ใน generation ต่อไป จากนั้น ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.2 ถึง 2.4 จนครบทุก vector ใน current generation จากนั้นแทนที่ current generation ด้วย next generation แล้วทำซ้ำกระบวนการทั้งหมดจนถึง stopping criteria โดยรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วย DE



รูปที่ 2 สรุปขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วย DE

4. แบบจำลองคณิตศาสตร์ EPANET

EPANET เป็นโปรแกรม public domain ใช้จำลองพฤติกรรมการไหล และคุณภาพน้ำ ในท่อความดัน พัฒนาโดย United States Environmental Protection Agency (US EPA) สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ชลศาสตร์ของระบบจ่ายน้ำ และงานวางแผนปรับปรุงระบบจ่ายน้ำได้หลากหลาย มีการแสดงผลที่สวยงาม และไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของโครงข่ายท่อจ่ายน้ำ นอกจากนั้น EPANET ยังมี toolkit ซึ่งช่วยให้ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถนำความสามารถในการจำลองชลศาสตร์การไหลในท่อความดันและการจำลองคุณภาพน้ำของ EPANET มาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับงานต่าง ๆ ได้ เช่น การปรับเทียบแบบจำลองอัตโนมัติ และการหาค่าเหมาะสม เป็นต้น

5. การออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำอย่างเหมาะสม

จุดมุ่งหมายของการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำ คือ การหาขนาดของท่อที่เหมาะสม โดยใช้ค่าลงทุนและค่าดำเนินการต่ำที่สุด ภายใต้ข้อกำหนดทางชลศาสตร์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ Penalty method เพื่อจำกัดคำตอบให้อยู่ในขอบเขตที่เป็นไปได้ วิธีการคือเพิ่ม Penalty cost ให้กับคำตอบใด ๆ ที่ไม่เป็นไปตามสมการข้อจำกัด โดยสมการวัตถุประสงค์ และสมการข้อจำกัดของปัญหาการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำมีดังนี้

$$\text{Min. cost} = \text{Network cost} + \text{Penalty cost} \quad (4)$$

Subject to :

$$\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} = Q_e \quad (5)$$

$$\sum_{K=1}^{\text{No. loops}} \Delta H_K = 0 \quad (6)$$

$$d_{min} \leq d_i \leq d_{max} \; ; \; i = 1,2,\ldots,\text{no. of pipes} \quad (7)$$

$$P_{min} \leq P_i \leq P_{max} \; ; \; i = 1,2,\ldots,\text{no. of nodes} \quad (8)$$

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \; ; \; i = 1,2,\ldots,\text{no. of pipes} \quad (9)$$

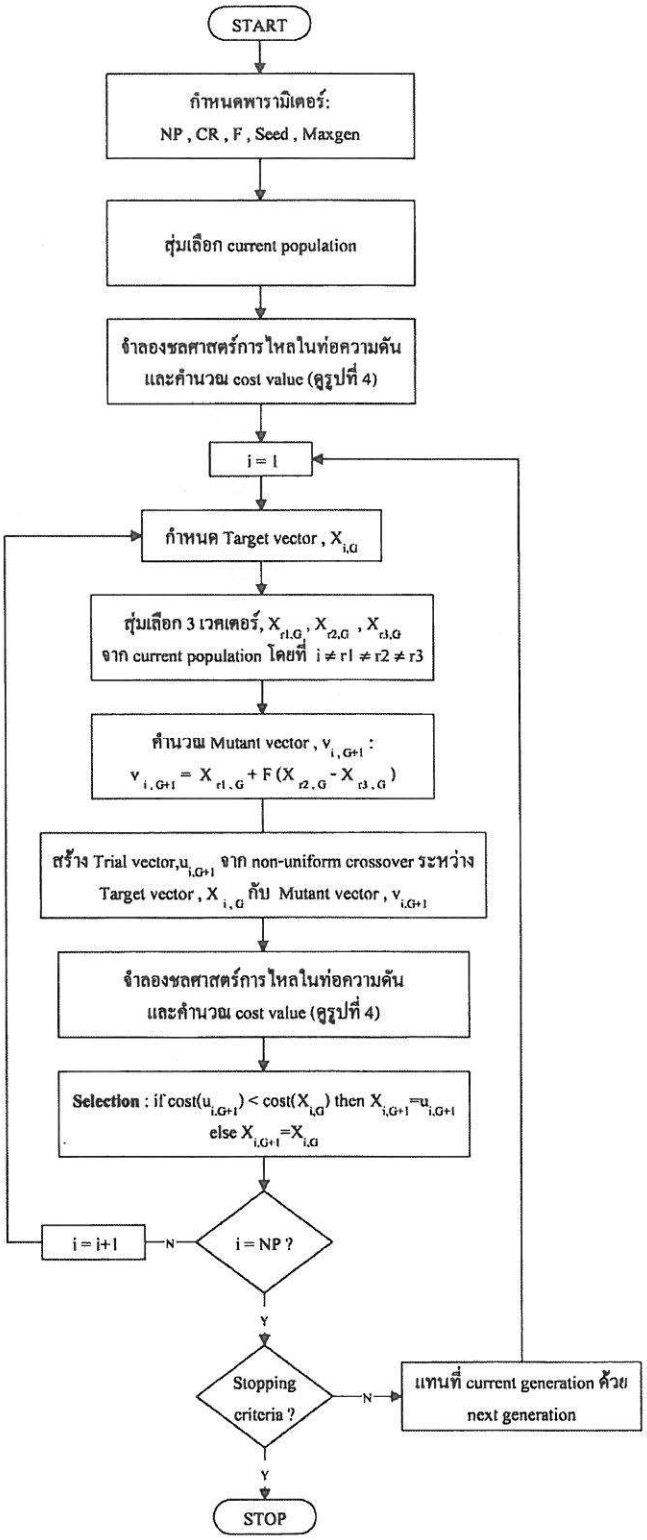
$$HL_i \leq HL_{max} \; ; \; i = 1,2,\ldots,\text{no. of pipes} \quad (10)$$

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

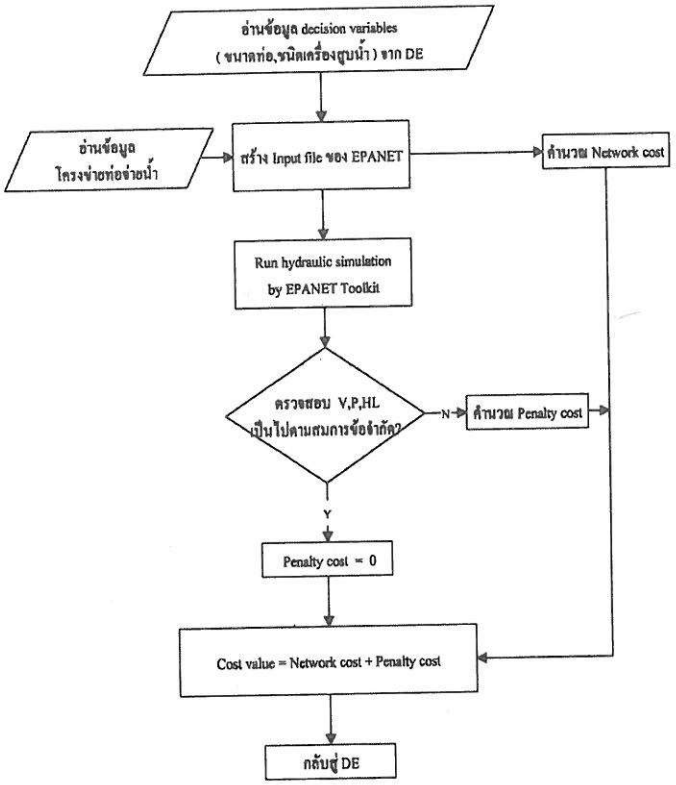
สำหรับการคำนวณ Penalty cost (PC) ใช้สมการที่ (11)

$$\text{PC (Baht)} = \sum_{i=1}^{R} C_i r_i \quad (11)$$

โดย R คือ จำนวนของเงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่กำหนด ได้แก่ ความดันของน้ำในแต่ละจุดร่วม ความเร็วของน้ำในแต่ละท่อ และอัตราการสูญเสียพลังงานในท่อต่อกิโลเมตร C_i คือ unit penalty cost (บาท) และ r_i คือ จำนวนของท่อ หรือ จุดร่วม ที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขทางชลศาสตร์ โดยรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำด้วย DE และวิธีการจำลองชลศาสตร์ของการไหลในท่อความดันด้วย EPANET toolkit ตามลำดับ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบระบบท่อโครงข่ายจ่ายน้ำด้วย DE

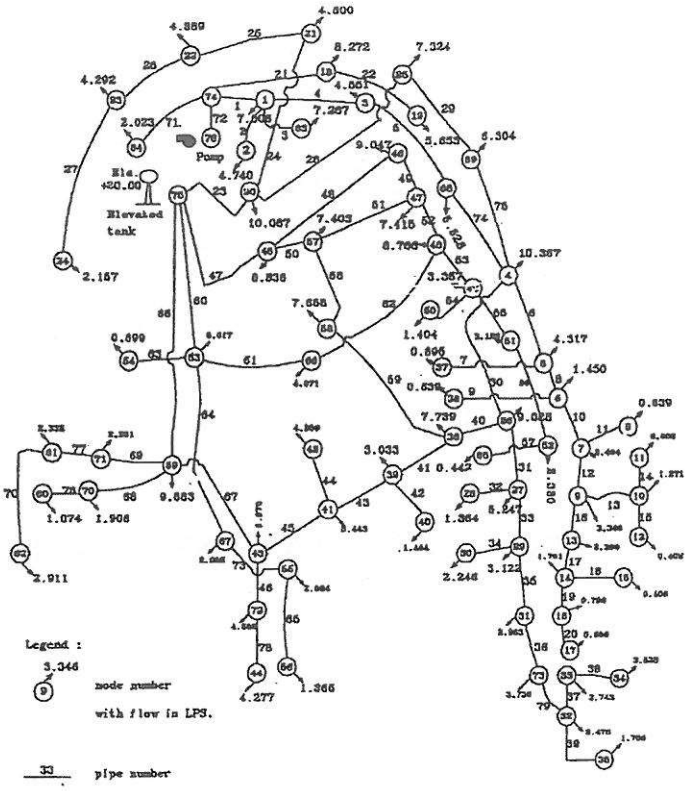


รูปที่ 4 การจำลองชลศาสตร์การไหลในท่อโครงข่ายด้วย EPANET toolkit

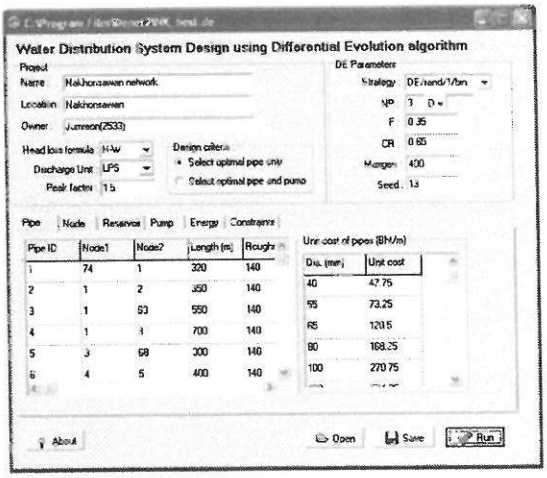
6. การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดสอบนี้ ใช้ข้อมูลระบบโครงข่ายท่อประปาของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเสนอโดยจำเริญ [1] โครงข่ายท่อประปาดังกล่าวประกอบด้วยท่อประปา 79 ท่อ จุดร่วม 76 จุด และมีแหล่งจ่ายน้ำสองแห่ง คือ ถังสูงจ่ายน้ำ 1 แห่ง และสถานีสูบน้ำ 1 แห่ง (ดูรูปที่ 5) สำหรับการคำนวณการสูญเสียพลังงานในท่อใช้สมการของ Hazen-Williams โดยใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 140 และข้อกำหนดทางชลศาสตร์ของโครงข่ายที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ความดันน้ำต่ำที่สุด และสูงที่สุดที่ยอมให้ในแต่ละจุดร่วม เท่ากับ 10 เมตร และ 60 เมตร ตามลำดับ ความเร็วการไหลของน้ำในท่ออยู่ระหว่าง 0.30 ถึง 1.50 เมตรต่อวินาที การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ ไม่เกิน 10 เมตร ต่อกิโลเมตร ค่า Peak factor เท่ากับ 1.5 และสถานีสูบน้ำที่จุดร่วม 76 จ่ายน้ำด้วยแรงดันไม่เกิน 30 เมตร

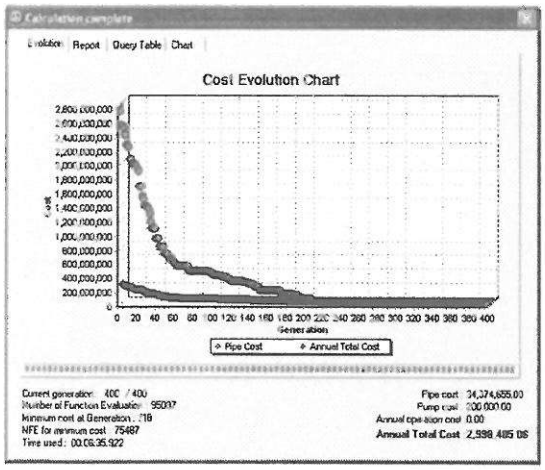
เมื่อเปิดโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างหลัก ซึ่งใช้ในการป้อนข้อมูลทางกายภาพ และข้อมูลข้อจำกัดด้านชลศาสตร์ของระบบท่อจ่ายน้ำ (ดูรูปที่ 6) จากนั้นขณะประมวลผลโปรแกรมจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าลงทุน กับ generation (ดูรูปที่ 7) และเมื่อสิ้นสุดการประมวลผลโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างการรายงานผล (ดูรูปที่ 8) โดยตารางที่ 1 แสดงผลการออกแบบท่อประปาด้วย DE เปรียบเทียบกับผลการของแบบด้วยวิธีดั้งเดิมของจำเริญ [1] และวิธี SA ของปกรณ์ [2]



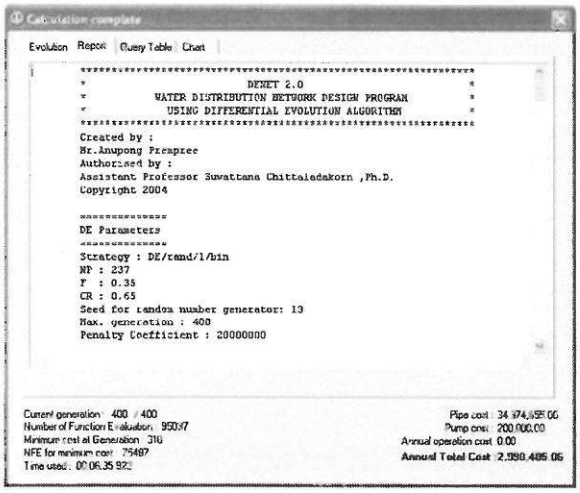
รูปที่ 5 โครงข่ายท่อประปาของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์



รูปที่ 6 หน้าต่างหลักของโปรแกรม



รูปที่ 7 หน้าต่างของโปรแกรมขณะประมวลผล



รูปที่ 8 หน้าต่างรายงานผลของโปรแกรม

ตารางที่ 1 ผลการออกแบบระบบท่อประปาจังหวัดนครสวรรค์

ขนาดท่อ	ความยาว (ม.)		
(มม.)	จำเริญ	ปกรณ์	สุวัฒนา/อนุพงษ์[1]
40	680	680	680
55	1,970	1,970	1,670
65	4,020	4,020	3,120
80	4,100	4,100	4,300
100	4,980	4,980	6,030
150	11,070	11,070	11,120
200	4,600	5,000	9,200
250	7,200	6,800	5,400
300	6,940	6,940	4,040
รวม	45,560	45,560	45,560

[1]NP=237, F=0.35, CR=0.65, unit penalty cost=20,000,000 บาท

ค่าลงทุนของระบบท่อประปาจังหวัดนครสวรรค์ จากการออกแบบทั้งสามวิธีแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปค่าลงทุนการออกแบบระบบท่อประปาจังหวัดนครสวรรค์

ผู้ศึกษา	วิธีที่ใช้	ค่าลงทุน (บาท)
จำเริญ	Trial and error	38,321,305.00
ปกรณ์	Simulated Annealing	38,125,305.00
สุวัฒนา/อนุพงษ์	Differential Evolution	34,374,655.00

ในการทดสอบโปรแกรมได้ทดลองใช้พารามิเตอร์ของ DE และค่า unit penalty cost แตกต่างกันไป และพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ คือ NP, F และ CR เท่ากับ 237 , 0.35 และ 0.65 ตามลำดับ และ unit penalty cost เท่ากับ 20,000,000 บาท ซึ่งให้ค่าลงทุน 34,374,655 บาท ต่ำกว่าจำเริญ และ ปกรณ์ 3,946,650 บาท และ 3,750,650 บาท ตามลำดับ โดยใช้จำนวนการคำนวณค่าฟังก์ชัน (Number of function evaluation, NFE) เท่ากับ 75,487 จากการทดสอบโปรแกรมสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ใน generation ที่ 318 ซึ่งจำนวน generation ที่ได้คำตอบนี้จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของ DE ที่ใช้

7. สรุป

Differential Evolution (DE) เป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาการออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำที่เป็นฟังก์ชันชนิดไม่ต่อเนื่องได้ดี ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ DE ในงานออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำของเทศบาลเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งประกอบด้วยท่อประปา 79 ท่อ จุดร่วม 76 จุด และมีแหล่งจ่ายน้ำสองแห่ง คือ ถังสูงจ่ายน้ำ 1 แห่งและสถานีสูบน้ำ 1 แห่ง จากการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยเชื่อมโยงกับโปรแกรมจำลองชลศาสตร์การไหลในท่อความดัน EPANET toolkit ผลการออกแบบ ได้ค่าลงทุน 34,374,655 บาท ต่ำกว่า จำเริญ และ ปกรณ์ 3,946,650 บาท และ 3,750,650 บาท ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน จากการศึกษาสรุปได้ว่า การเลือกพารามิเตอร์ของ DE และ การเลือก unit penalty cost มีความสำคัญมาก แต่ละปัญหามีค่าพารามิเตอร์และ unit penalty cost ที่เหมาะสมแตกต่างกันไป นอกจากนี้ ยังสรุปได้ว่า EPANET toolkit เป็นโปรแกรมการจำลองชลศาสตร์การไหลในท่อความดันที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสมที่จะนำไปใช้

ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อจ่ายน้ำภายใต้แรงดันอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] จำเริญ โกศัลวิตร "การศึกษาเกณฑ์ออกแบบโครงข่ายท่อจ่ายน้ำประปา"วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2533

[2] ปกรณ์ ดิษฐกิจ "การหาขนาดท่อที่เหมาะสมสำหรับการแพร่กระจายน้ำแบบวงรอบโดยวิธีซีมูเลทแอนนิลลิ่ง"วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2544

[3] อนุพงษ์ เปรมปรี "การออกแบบระบบท่อจ่ายน้ำอย่างเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2548

[4] Babu , B. V. and R. Angira, "Optimization of Water pumping System using Differential Evolution Strategies",Available source: http://bvbabu.50megs.com/, June 2004.

[5] Chittaladakorn, S. and S. Thasaduak, "Application of Genetic Algorithms for Optimization of Irrigated Area", The Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering (RSID 4th), Bangkok, Thailand, 2003.

[6] Lampinen, J. and I. Zelinka, "Mixed Integer-discrete-continuous Optimization by Differential Evolution", Proceeding of MENDEL'99, 5th International Mendel Conference of Soft Computing, June 9 – 12, Brno University of Technology, Brno, Czech Republics, 1999.

[7] Price, K. and R. Storn, "Differential Evolution – A simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces", _Journal of Global Optimization, Vol. 11, April 1997, pp.341-359.

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

[9] Vasan, A. and K. S. Raju, "Optimal Reservoir Operation Using Differential Evolution", Available source: http://www.icsi.berkeley.edu/, June, 2004.