09R3-07

การประยุกต์ระบบนิวโร-ฟัซซีแบบปรับตัวได้เพื่อพัฒนาแบบจำลองความดันตกในระบบท่อประปาเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเมืองสีเขียว

Application of ANFIS for the Development of Pressure Drop Models for Fostering Green City Development

ไพจิตร ผาวัน[1*] และ วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์[2]
Paijit Pawan[1*] and Warisara Lertpaitoonpan[2]
[1, 2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร 10900
[*]โทรศัพท์ : 0879885566, E-mail : paijit.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การคำนวณค่าความดันตกเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญสำหรับผู้ออกแบบระบบท่อประปา แม้ว่าจะมีสมการและกราฟสำหรับใช้ในการคำนวณ เช่น สมการความดันตกของ Hazen-Williams แต่วิธีเหล่านี้ก็เป็นการคำนวณทางทฤษฎีที่อาจยังไม่เหมาะสมกับสภาพใช้งานจริง งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ ในการพัฒนาแบบจำลองความดันตก โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำในเส้นท่อ ขนาดท่อ อัตราการไหล และความดันตกจำนวน 36 ตัวอย่าง จากนั้นนำ 32 ตัวอย่างไปฝึกสร้างแบบจำลอง และใช้ 4 ตัวอย่างที่เหลือทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองความดันตกที่สร้างขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เพียง 0.138% แสดงถึงความแม่นยำสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อประปาในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : แบบจำลองความดันตก; การออกแบบท่อประปา; ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้

Abstract

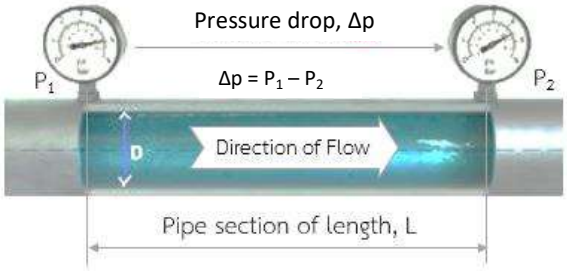
Calculating the pressure drop is an important task for designers of building plumbing systems. Existing theoretical methods, such as the Hazen-Williams equation, may not be suitable for actual operating conditions. This research introduces the application of an adaptive neuro-fuzzy system to develop a more accurate pressure drop model. The model is based on data from 36 samples that demonstrate the relationship between water velocity in pipes, pipe size, flow rate, and pressure drop. The model was trained on 32 samples and tested on the remaining 4. The test results showed a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of only 0.138%, indicating high accuracy. This model can be effectively applied to the design of water pipes in buildings, thereby supporting the development of environmentally friendly cities.

Keywords: Pressure Drop Model; Plumbing Design; Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

บทนำ

การออกแบบท่อประปาในอาคาร (Plumbing Design) จะเริ่มจากรวมจำนวนหน่วยสุขภัณฑ์ (Fixture Unit: FU) [1] เพื่อหาอัตราความต้องการน้ำสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ โดยกำหนดเกณฑ์ความเร็วของน้ำภายในท่ออยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 2.4 เมตรต่อวินาที [2, 3] และผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความดันตก (Pressure Drop) ในระบบ ซึ่งเป็นผลจากแรงเสียดทานในเส้นท่อ ความเร็วของของไหลในเส้นท่อ ความยาวท่อ ขนาดท่อ สภาพผิวท่อ (รูปที่ 1) การคำนวณความดันตกในระบบท่อประปาจึงเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญสำหรับผู้ออกแบบ โดยการคำนวณค่าความดันตกที่มากเกินไปจะทำให้ต้องใช้ปั๊มน้ำที่กำลังสูง ส่งผลให้

สิ้นเปลืองพลังงานและก่อมลภาวะมากขึ้น ในทางกลับกัน หากคำนวณค่าความดันตกน้อยเกินไป อาจทำให้ระบบท่อประปาไม่สามารถจ่ายน้ำได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นการคำนวณความดันตกอย่างแม่นยำจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างระบบท่อที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรสำหรับการไหลภายในท่อแบบคงตัว

โดยหลักพื้นฐานการพิจารณาความดันตก ดังรูปที่ 1 เป็นการสูญเสียพลังงานหลัก (Major loss) คือ การสูญเสียเฮดที่เกิดจากผลของแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากความหนืดของน้ำ และแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ โดยการสูญเสียเฮดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ ความหยาบของวัสดุที่ใช้ทำท่อ ความหนืดของของไหล และความเร็วในการไหล ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\Delta p}{L} = fD.\frac{\rho}{2}.\frac{v^2}{D} \qquad (1)$$

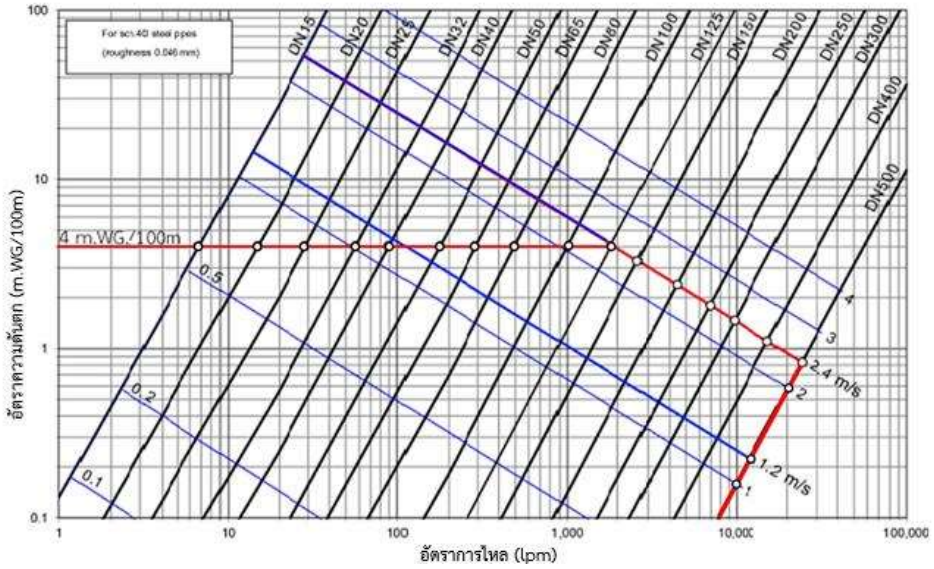
อย่างไรก็ตามการคำนวณค่าความดันตกนี้ไม่มีเกณฑ์ตายตัวแต่ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน [2] Hazen-Williams ได้พิจารณาน้ำที่ไหลไปในท่อจะเกิดความเสียดทานขึ้นจากความหนืดของน้ำ ถ้าผนังของท่อหยาบก็จะเพิ่มความเสียดทานขึ้นอีก ทำให้เพิ่มความปั่นป่วน (Turbulent Flow) ภายในท่อ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานนี้แสดงออกมาในรูปของความดันตก ดังสมการ (2)

$$h_f = \frac{4.727}{D^{4.87}}\, L \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \qquad (2)$$

โดยที่

h_f	คือ ความดันตก (ฟุตของน้ำ)	D	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (ฟุต)
L	คือ ความยาวของท่อ (ฟุต)	Q	คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที)
C	คือ สัมประสิทธิ์ความหยาบ		

ค่า C แปรตามความหยาบของผนังท่อ เช่น ท่อผนังเรียบจะมีค่า C สูงกว่าท่อผนังหยาบ ซึ่งความหยาบนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุท่อและอายุการใช้งาน ค่า C ที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 140 ซึ่งการคำนวณนั้นยังไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ [4, 5] จึงนิยมใช้กราฟหาค่าความดันตก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดอัตราไหลสูงสุดของท่อขนาดต่าง ๆ เพื่อให้ค่าอัตราความดันตกไม่เกิน 4 เมตร/100 เมตร

จากรูปที่ 2 ผู้ออกแบบสามารถอ่านค่าขนาดท่อ ความเร็วของน้ำในท่อ อัตราการไหล และความดันตก จากกราฟได้โดยตรง ซึ่งปกติแล้วการออกแบบระบบท่อจะเผื่อให้มีค่ามากกว่าค่าที่อ่านได้เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีน้ำจ่ายให้เครื่องสุขภัณฑ์อย่างเพียงพอ ความเร็วของน้ำในท่อมักถูกกำหนดให้ไม่เกิน 3 เมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันเสียงดังของน้ำและลดอัตราการสึกกร่อนของบ่าวาล์วและท่อ รวมทั้งจำกัดความดันตกไม่ให้สูงมากจนต้องใช้แรงดันน้ำสูงเกินไป ซึ่งค่าออกแบบจริงจะอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 2.4 เมตรต่อวินาที [6] นอกจากนี้ความดันตกยังเกิดจากความเสียดทานจากการไหลผ่านอุปกรณ์ เช่น ข้องอ วาล์ว ฯลฯ แม้จะมีกราฟช่วยในการออกแบบแต่ส่วนใหญ่ผู้ออกแบบจะใช้ประสบการณ์ในการประมาณค่าความดันตกในท่อ เช่น กรณีระบบท่อที่มีความยาวรวมต่ำกว่า 50 เมตร จะคำนวณความดันตกจากความยาว ขนาดท่อ และอัตราการไหลในช่วงต่างๆ ซึ่งบางครั้งอาจใช้ความเร็วน้อยกว่า 1.2 เมตรต่อวินาที ในท่อขนาดเล็กที่มีความยาวมาก เนื่องจากความดันตกในท่อขนาดเล็กจะมีค่าความดันตกสูงกว่าท่อขนาดใหญ่ที่ความเร็วในการไหลเท่ากัน และถ้าหากกรณีที่ผู้ออกแบบรู้ความยาวท่อรวมมากกว่า 50 เมตร ความดันตกจะคิดความยาวท่อเทียบเท่ายาวขึ้นอีก 25% - 50% โดยถ้าระบบท่อมีความยาวแต่เดินเป็นเส้นตรง (ไม่คดเคี้ยว) จะเผื่อประมาณ 25% แต่ถ้าคดเคี้ยวมากจะเผื่อประมาณ 50% [7] จะเห็นว่าการคำนวณหาค่าความดันตก มีความซับซ้อน และยังต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบเป็นหลัก ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS) เป็นระบบที่มีกระบวนการเรียนรู้ในตัวเองและโครงสร้างของระบบสามารถตีความหมายและให้เหตุผลได้ดีเยี่ยม [8, 9] โดยมีนักวิจัยจำนวนมากได้นำ ANFIS ใช้ในการทำนายค่าความดันตกภายในเส้นท่อ [9, 10] นอกจากนั้นยังได้นำ ANFIS ใช้ในการหาค่าความเหมาะสมของความดันตก [10, 11] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ANFIS เป็นระบบที่เหมาะสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองความดันตกสำหรับการออกแบบท่อประปาในอาคาร ซึ่งการประเมินความดันตกอย่างถูกต้องจะช่วยให้ระบบท่อประปามีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งเสริมการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนได้เป็นอย่างดี

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้มาพัฒนาแบบจำลองความดันตก เพื่อใช้ในการออกแบบระบบท่อประปา โดยอาศัยโปรแกรม MATLAB R2018b ช่วยในการสร้างแบบจำลอง จากข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 2 คำนวณลงในตารางที่ 1 ทั้งหมด 36 ข้อมูล ใช้ในการฝึกฝน 32 ข้อมูล และใช้ในการทดสอบ 4 ข้อมูล

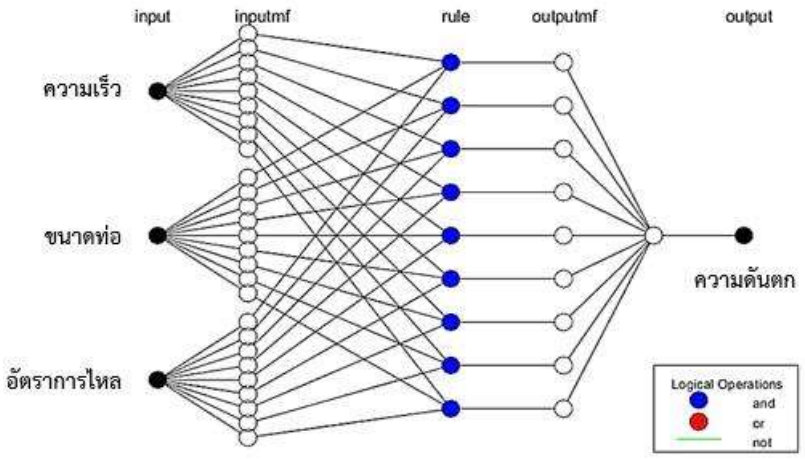
ตารางที่ 1 ตารางฝึกฝนข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ความดันตก

Item	Data Train	Velocity (m/s)	Diameter (mm)	Flow Rate (lpm)	Pressure Drop (m/100 m)
1	1	1	15	10.603	11.335
2*	2	1	20	18.850	7.813
3	3	1	25	29.452	5.868
4	4	1	32	48.255	4.285
5	5	1	40	75.398	3.231
6	6	1	50	117.810	2.441
7	7	1	65	199.098	1.759
8	8	1	80	301.593	1.359
9	9	1	100	471.239	1.032
10	1	2	15	21.206	41.402
11*	2	2	20	37.699	28.605
12	3	2	25	58.905	21.522
13	4	2	32	96.510	15.744
14	5	2	40	150.796	11.891
15	6	2	50	235.619	8.995
16	7	2	65	398.197	6.492
17	8	2	80	603.186	5.022
18	9	2	100	942.478	3.816
19	1	2.4	15	25.447	58.526
20*	2	2.4	20	45.239	40.454
21	3	2.4	25	70.686	30.446
22	4	2.4	32	115.812	22.279
23	5	2.4	40	180.956	16.831
24	6	2.4	50	282.743	12.735
25	7	2.4	65	477.836	9.193
26	8	2.4	80	723.823	7.114
27	9	2.4	100	1130.973	5.407
28	1	3	15	31.809	89.643
29*	2	3	20	56.549	61.988
30	3	3	25	88.357	46.667
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
34	7	3	65	597.295	14.107
35	8	3	80	904.779	10.918
36	9	3	100	1413.717	8.300

*ข้อมูลสำหรับทดสอบ

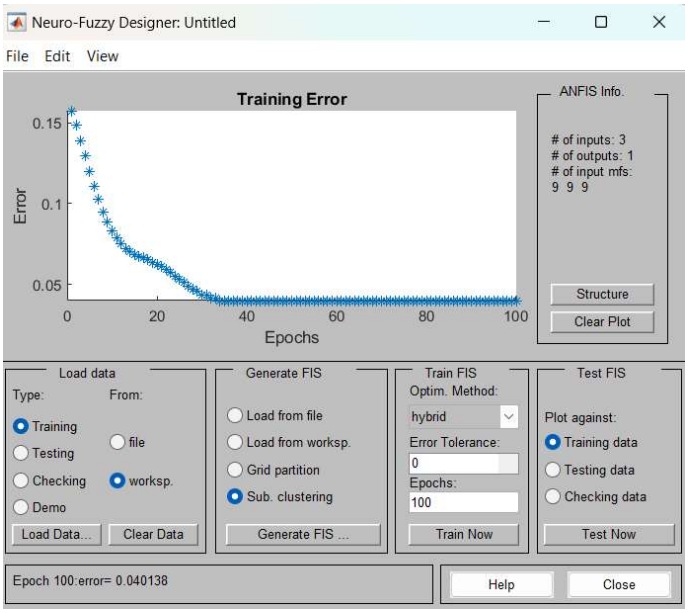
การพัฒนาแบบจำลอง

โครงสร้างการพัฒนาแบบจำลอง เริ่มจากนำข้อมูลตัวแปรนำเข้า (Input) จำนวน 3 ตัว คือ ความเร็ว ขนาดท่อ และอัตราการไหล สำหรับผลลัพธ์ (Output) จำนวน 1 ตัว คือ ความดันตก ลงในโปรแกรม MATLAB R2018b ดังรูปที่ 3



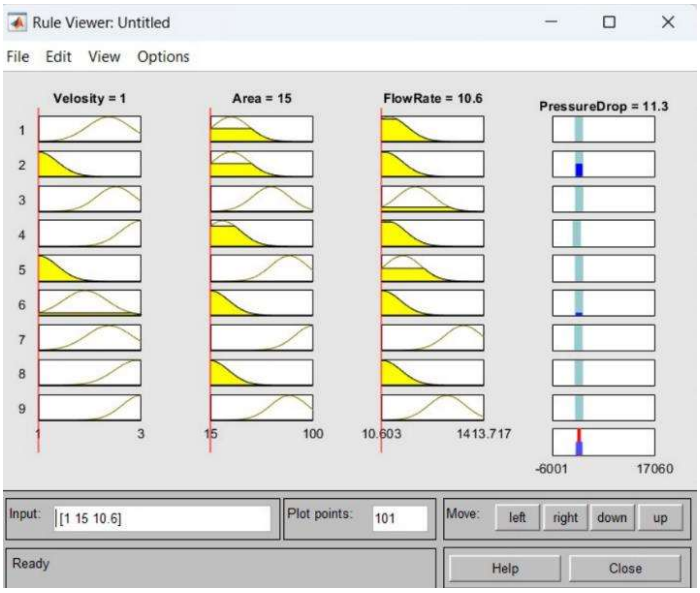
รูปที่ 3 โครงสร้างแบบจำลองความดันตก

การฝึกฝน (Training) โดยกำหนดค่าระบบการอนุมานฟัซซี่ (Generate FIS) เป็นแบบ Sub. Clustering และตั้งค่าฟังก์ชั่นสมาชิก (Membership Function) เป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian) 9 ระดับ ทั้ง 3 ตัวแปรนำเข้า โดยฝึกฝนจำนวน 100 รอบ (Epochs) มีค่าคลาดเคลื่อน 0.040138 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างแบบจำลองความดันตก

การทดสอบข้อมูล (Testing data) เป็นการทดสอบระบบอนุมานแบบฟัซซี่ (Test FIS) โดยพิจารณาจากกฎ (Rule Viewer) ของระบบ ANFIS ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กฎที่ได้จากการอนุมานแบบฟัซซี่

ถึงขั้นตอนนี้จะได้ “แบบจำลองความดันตก” ซึ่งต่อไปจะนำกฎที่ได้จาก 3 ตัวแปรนำเข้า ไปใช้ในการทดสอบ เช่น ถ้าให้ความเร็ว (Velocity) = 1 m/s และ ขนาดท่อ (Area) = 15 mm. และ อัตราการไหล (Flow rate) = 10.6 lpm. แล้วจะได้ ค่าความดันตก = 11.3 m./100 m. เป็นต้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากแบบจำลองความดันตก ที่ได้จากระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ และการทดสอบแบบจำลอง จำนวน 4 ชุดข้อมูล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทดสอบความคลาดเคลื่อนชุดข้อมูล จากแบบจำลองความดันตก

Test No.	Data Train	Velocity (m/s)	Diameter (mm)	Flow Rate (lpm)	Pressure Drop (m/100 m)	Model Pressure Drop (m/100 m)	APE (%)
1	2	1	20	18.850	7.813	7.82	0.090
2	11	2	20	37.699	28.605	28.70	0.331
3	20	2.4	20	45.239	40.454	40.50	0.114
4	29	3	20	56.549	61.988	62.00	0.019
						MAPE	**0.138**

การวัดผลความแม่นยำ (Accuracy) ของแบบจำลองนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความน่าเชื่อถือและการเลือกใช้แบบจำลอง ดังนั้นในบทความนี้จะใช้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Percent Error: APE) ในการคำนวณความคลาดเคลื่อนชุดทดสอบแต่ละชุด พบว่าชุดข้อมูลทั้ง 4 ชุด มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ 0.331% เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE) มีค่า 0.138% แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูงมาก

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาฝึกฝนมีจำนวนจำกัด จึงส่งผลให้ชุดทดสอบมีเพียง 4 ชุด หากข้อมูลมีจำนวนมาก และแปรเปลี่ยนค่าความคลุมเครือของตัวแปรนำเข้าให้มากกว่านี้ ก็จะทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

สรุปผล

การพัฒนาแบบจำลองความดันตกด้วยระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำสูงในการทำนายค่าความดันตก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAPE) เพียง 0.138% ซึ่งถือว่ามีความน่าเชื่อถือมาก แบบจำลองดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับวิศวกรในการออกแบบระบบท่อประปาที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยลดการสูญเสียน้ำ ประหยัดพลังงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเมืองสีเขียว

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์และศักยภาพในการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรม เพื่อพัฒนาระบบที่มีความซับซ้อนและแม่นยำสูง ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และการมีส่วนร่วมในการรักษาสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อเนื่อง มีดังนี้ 1) ควรมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงลึกและข้อมูลจากสภาพการใช้งานจริงในระบบท่อประปาเพิ่มเติม เพื่อนำมาใช้ในการฝึกฝนและพัฒนาแบบจำลองให้มีความแม่นยำและครอบคลุมสถานการณ์ต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น 2) ควรมีการนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบและประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงของระบบท่อประปาในอาคารต่างๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและรับฟังข้อคิดเห็นจากผู้ใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

[1] วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์. 2556. การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่ 19). วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์., กรุงเทพฯ.

[2] Babanezhad, M., Behroyan, I., Nakhjiri, A.T., Marjani, A. and Shirazian, S., 2021. Performance and application analysis of ANFIS artificial intelligence for pressure prediction of nanofluid convective flow in a heated pipe. Scientific Reports 11 (1). Doi: 10.1038/s41598-020-79628-w.

[3] Bar, N., Bandyopadhyay, T.K., Biswas, M.N. and Das, S.K., 2010. Prediction of pressure drop using artificial neural network for non-newtonian liquid flow through piping components. Journal of Petroleum Science and Engineering 71, 187–194. doi:10.1016/j.petrol.2010.02.001

[4] Chen, R., Li, T. and Li, Y., 2024. Analyzing the impact of COVID-19 on consumption behaviors through recession and recovery patterns. Scientific Reports 14 (1). Doi: 10.1038/s41598-024-51215-3.

[5] Di Mauro, A., Santonastaso, G.F., Venticinque, S. and Di Nardo, A., 2021. Impact of COVID-19 emergency on residential water end-use consumption measured with a high-resolution IoT system. Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society 70, 1248–1256. doi:10.2166/aqua.2021.088.

[6] Galowin, L.S. and Cole, D.P., 2010. Hunter fixture unit probability/uncertainty. The CIB W062 36th International Symposium Water Supply and Drainage for Buildings.

[7] Hafsa, N., Rushd, S., Alzoubi, H. and Al-Faiad, M., 2024. Accurate prediction of pressure losses using machine learning for the pipeline transportation of emulsions. Heliyon 10 (1). Doi:10.1016/j.heliyon.2023.e23591.

[8] Şamandar, A., 2011. A model of adaptive neural-based fuzzy inference system (ANFIS) for prediction of friction coefficient in open channel flow. Scientific Research and Essays 6, 1020–1027. Doi: 10.5897/SRE10.558.

[9] Shirazi, A.Z., Tofighi, M. and Ganjefar, S. and Mahdavi, S.J.S., 2014. An optimized Adaptive-Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) for reliable prediction of entrance length in pipes. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering 3 (9). https://www.researchgate.net/publication/265849167.

[10] Wahaibi, A. Al, Ganat, T., Al-Rawahi, N., Abdalla, M. and Motaei, E., 2024. A novel method for accurate pressure drop prediction in horizontal and near horizontal pipes using adaptive neuro fuzzy inference system based model. Journal of Pipeline Science and Engineering. Doi:10.1016/j.jpse.2024.100182.

[11] Wei, L., Zhang, Y., Ji, L., Ye, L., Zhu, X. and Fu, J., 2022. Pressure drop prediction of crude oil pipeline based on PSO-BP neural network. Energies 15 (16). Doi: 10.3390/en15165880.