

การตรวจจับการอุดตันของหัวน้ำหยดในระบบให้น้ำการเกษตรแบบใช้น้ำน้อย ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพรียอนกลับ

ภัทรพล นวประยูรเวช¹ ภาณุวิชญ์ ดวงศิริ¹ และเจษฎา สายใจ^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

* jedsada@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีตรวจจับการอุดตันของหัวน้ำหยดในระบบให้น้ำการเกษตรแบบใช้น้ำน้อยด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพรียอนกลับขนาด 3 ชั้น และ 20 โหนดในชั้นซ่อน การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำในท่อย่อยลำดับที่ 1 ของระบบน้ำหยดที่มี 4 ท่อย่อย ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถตรวจจับการอุดตันของหัวน้ำหยดได้หลายจุดในเวลาเดียวกัน และมีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 81.09 เมื่อทดสอบกับท่อย่อยทั้งหมดในระบบเดียวกัน

คำสำคัญ: หัวน้ำหยด การอุดตัน แบบจำลองคณิตศาสตร์ โครงข่ายประสาทเทียม

Clogging Detection of Water Dripper in the Micro Irrigation System using Back Propagation Artificial Neural Network

Pattarapol Navaprayoonvach¹, Panuvit Duangsiri¹, and Jedsada Saijai^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

* jedsada@eng.buu.ac.th

Abstract

Clogging detection of water dripper in the micro irrigation system is presented in this paper. Mathematical model, which is constructed from the back propagation artificial neural network (ANN), is used for the detection. The model has 3 layers with 20 hidden nodes and uses the water flow rate, which is measured from the first drip line of the 4-drip line, for the supervised learning. The experimental results show that the water drippers with clogging can be simultaneously detected with the average accuracy of 81.09%.

Keywords: water dripper, clogging, mathematical model, artificial neural network

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับพืชเนื่องจากเป็นตัวกลางนำสารอาหาร ควบคุมการคายน้ำและปฏิกิริยาเคมีในเซลล์พืช ดังนั้นการให้น้ำแก่พืชส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ (วันชัย คุปวานิชพงษ์, 2555) ซึ่งระบบให้น้ำการเกษตรมีหลายแบบและการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณแหล่งน้ำ ชนิดของพืช ภูมิประเทศ (สุดสายสิน แก้วเรือง, 2553) ระบบให้น้ำแบบใช้น้ำน้อย (Micro Irrigation System) เป็นอีกระบบหนึ่งที่มีการใช้งานมากเนื่องจากสามารถประหยัดน้ำและควบคุมปริมาณน้ำและสารอาหารได้ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ (Sinha et al., 2017) สำหรับระบบให้น้ำแบบใช้น้ำน้อยด้วยหัวน้ำหยดมักเกิดปัญหาการอุดตันของหัวน้ำหยด (Clogging) ส่งผลให้ผลผลิตลดลงหรือเสียหาย (คณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์, 2543) ส่วนใหญ่เกษตรกรจะใช้แรงงานคนเพื่อหาความผิดปกติของหัวน้ำหยด เช่น ส่องด้วยสายตา การเปลี่ยนแปลงความดันจากมาตรวัด หรือฟังเสียงที่ผิดปกติ เป็นต้น ซึ่งต้องใช้เวลาและแรงงานค่อนข้างมากสำหรับระบบน้ำหยดในพื้นที่ขนาดใหญ่หรือระบบที่ใช้ท่อส่งน้ำแบบฝังใต้ดิน



ภาพที่ 1 การอุดตันของหัวน้ำหยด

ที่มา: <https://edenbythebay.blogspot.com/2013/05/raised-bed-revamp.html>

ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่เสนอวิธีตรวจจับความผิดปกติของท่อส่งน้ำเป็นจำนวนมาก เช่น วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) โดยการจดจำและแยกแยะรูปแบบการรั่วของท่อจากข้อมูลแรงดันและอัตราการไหล ณ จุดต่าง ๆ (Candelieri, A. et al., 2014) วิธีการแปลงฟูริเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Furrier Transform: FFT) โดยการวิเคราะห์แรงดันและอัตราการไหลในสถานะชั่วคราวเพื่อตรวจจับและระบุจุดรั่วในท่อส่งน้ำเดี่ยวซึ่งมีจุดจ่ายน้ำหลายจุด (Lee, S.J. et al., 2012) วิธีการใช้สัญญาณลักษณะเฉพาะของการรั่ว (Leak signal signature) ทำให้สามารถตรวจจับและระบุตำแหน่งจุดรั่วได้ แต่จะทำได้เพียงหนึ่งจุด ณ เวลาใด ๆ (Casillas, M.V. et al., 2015) วิธีการแปลงเวฟเลท (Wavelet transform) ซึ่งสามารถตรวจจับและระบุตำแหน่งรั่วได้สองจุดในเวลาเดียวกัน (E. A. Claudia Deniss et al., 2012)

จากงานวิจัยที่ผ่านมายังขาดการศึกษาเกี่ยวกับวิธีตรวจจับการอุดตันของหัวน้ำหยดในระบบให้น้ำการเกษตร โครงการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและเสนอวิธีตรวจจับด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่สามารถตรวจจับการอุดตันได้หลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน

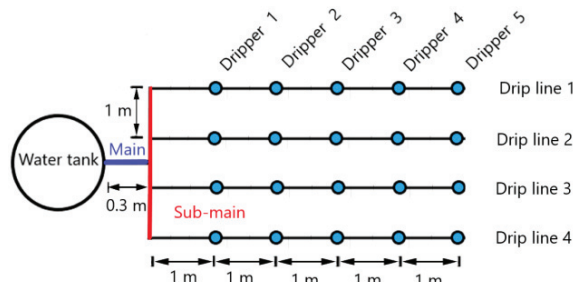
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างวิธีตรวจจับการอุดตันของหัวน้ำหยดด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถตรวจจับการอุดตันได้หลายตำแหน่งในเวลาเดียวกัน โดยมีขอบเขตเพื่อตรวจจับการอุดตันในระบบให้น้ำการเกษตรแบบท่อแขนงจำนวน 4 ท่อย่อย แต่ละท่อย่อยมีความยาว 5 เมตร มีหัวน้ำหยดจำนวน 5 จุด ห่างกันจุดละ 1 เมตร บนท่อย่อยแต่ละท่อ

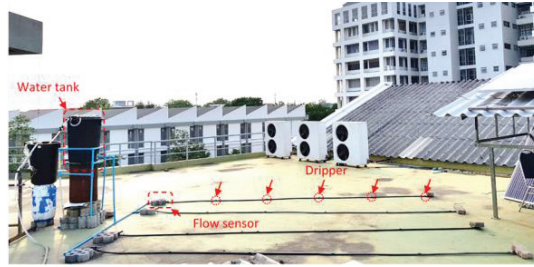
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสร้างระบบให้น้ำการเกษตร

ระบบให้น้ำการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยถังจ่ายน้ำ ท่อหลัก ท่อรอง และท่อย่อยจำนวน 4 ท่อ แต่ละท่อย่อยมีหัวน้ำหยดจำนวน 5 จุด แต่ละจุดห่างกัน 1 เมตร แบบผังและโครงสร้างระบบให้น้ำการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ตามลำดับ



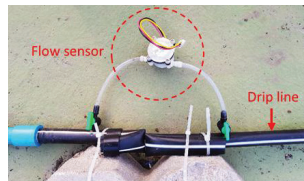
ภาพที่ 2 แบบผังระบบให้น้ำการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัย



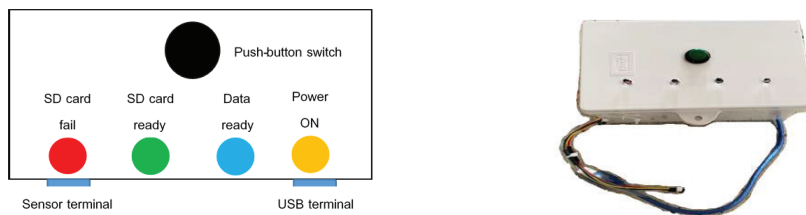
ภาพที่ 3 โครงสร้างระบบให้น้ำการเกษตรที่ใช้ในงานวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราการไหลที่ท่อย่อยแล้วใช้กล่องบันทึกข้อมูลเก็บอัตราการไหลที่เกิดขึ้นลงในการ์ดหน่วยความจำ ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 โดยกำหนดให้หัวน้ำหยดมีสถานะได้ 2 แบบ คือปกติ และอุดตัน ดังนั้นจะได้จำนวนข้อมูลอัตราการไหลเท่ากับ $2^5 = 32$ ชุด ในแต่ละท่อย่อย และใช้ข้อมูลจากท่อย่อยลำดับที่ 1 ในการสร้างแบบจำลอง



ภาพที่ 4 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราการไหล



ภาพที่ 5 โครงสร้างของกล่องเก็บข้อมูล

3.3 การแปลงข้อมูลเป็นโดเมนความถี่

นำข้อมูลโดเมนเวลาที่เก็บได้มาแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่โดยใช้การแปลงฟูรีเยสำหรับสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform: DFT) ดังสมการที่ (1)

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \left[\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right] \quad (1)$$

โดยที่ N หมายถึงจำนวนสัญญาณโดเมนเวลาที่ใช้ในการแปลงฟูรีเย, X_k หมายถึงขนาดของสัญญาณลำดับที่ $k \in \{0, 1, \dots, N-1\}$, และ x_n หมายถึงสัญญาณโดเมนเวลาแบบสุ่มลำดับที่ $n \in \{0, 1, \dots, N-1\}$

การแปลงฟูรีเยสำหรับสัญญาณไม่ต่อเนื่องในงานวิจัยนี้ใช้วิธีคำนวณการแปลงฟูรีเยอย่างรวดเร็ว (Fast Fourier transform: FFT) เพื่อช่วยลดเวลาในการคำนวณ

3.4 การแสดงผลสถานะของหัวน้ำหยด

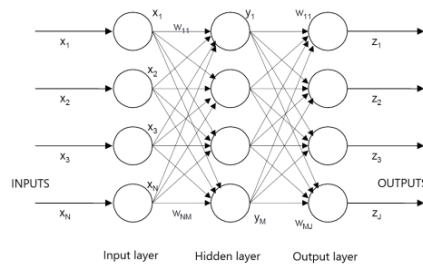
การแสดงผลสถานะของหัวน้ำหยดกำหนดดังตารางที่ 1 โดยที่ 0 แทนสถานะปกติ และ 1 แทนสถานะอุดตัน

ตารางที่ 1 การแสดงผลสถานะของหัวน้ำหยดในแต่ละท่อย่อย

ที่	สถานะ	ตำแหน่งหัวน้ำหยด				
		1	2	3	4	5
1	ไม่มีจุดอุดตัน	0	0	0	0	0
2	อุดตันจุดที่ 1	1	0	0	0	0
3	อุดตันจุดที่ 2	0	1	0	0	0
4	อุดตันจุดที่ 1 และ 2	1	1	0	0	0
5	อุดตันจุดที่ 3	0	0	1	0	0
6	อุดตันจุดที่ 1 และ 3	1	0	1	0	0
7	อุดตันจุดที่ 2 และ 3	0	1	1	0	0
8	อุดตันจุดที่ 1 2 และ 3	1	1	1	0	0
9	อุดตันจุดที่ 4	0	0	0	1	0
10	อุดตันจุดที่ 1 และ 4	1	0	0	1	0
11	อุดตันจุดที่ 2 และ 4	0	1	0	1	0
12	อุดตันจุดที่ 1 2 และ 4	1	1	0	1	0
13	อุดตันจุดที่ 3 และ 4	0	0	1	1	0
14	อุดตันจุดที่ 1 3 และ 4	1	0	1	1	0
15	อุดตันจุดที่ 2 3 และ 4	0	1	1	1	0
16	อุดตันจุดที่ 1 2 3 และ 4	1	1	1	1	0
17	อุดตันจุดที่ 5	0	0	0	0	1
18	อุดตันจุดที่ 1 และ 5	1	0	0	0	1
19	อุดตันจุดที่ 2 และ 5	0	1	0	0	1
20	อุดตันจุดที่ 1 2 และ 5	1	1	0	0	1
21	อุดตันจุดที่ 3 และ 5	0	0	1	0	1
22	อุดตันจุดที่ 1 3 และ 5	1	0	1	0	1
23	อุดตันจุดที่ 2 3 และ 5	0	1	1	0	1
24	อุดตันจุดที่ 1 2 3 และ 5	1	1	1	0	1
25	อุดตันจุดที่ 4 และ 5	0	0	0	1	1
26	อุดตันจุดที่ 1 4 และ 5	1	0	0	1	1
27	อุดตันจุดที่ 2 4 และ 5	0	1	0	1	1
28	อุดตันจุดที่ 1 2 4 และ 5	1	1	0	1	1
29	อุดตันจุดที่ 3 4 และ 5	0	0	1	1	1
30	อุดตันจุดที่ 1 3 4 และ 5	1	0	1	1	1
31	อุดตันจุดที่ 2 3 4 และ 5	0	1	1	1	1
32	อุดตันทั้งหมด	1	1	1	1	1

3.5 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network: ANN) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างจากการเรียนรู้ข้อมูลที่มีอยู่เดิมแล้วนำไปทำนายผลที่จะเกิดขึ้นจากข้อมูลใหม่ โดยภาพที่ 6 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้น



ภาพที่ 6 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้น

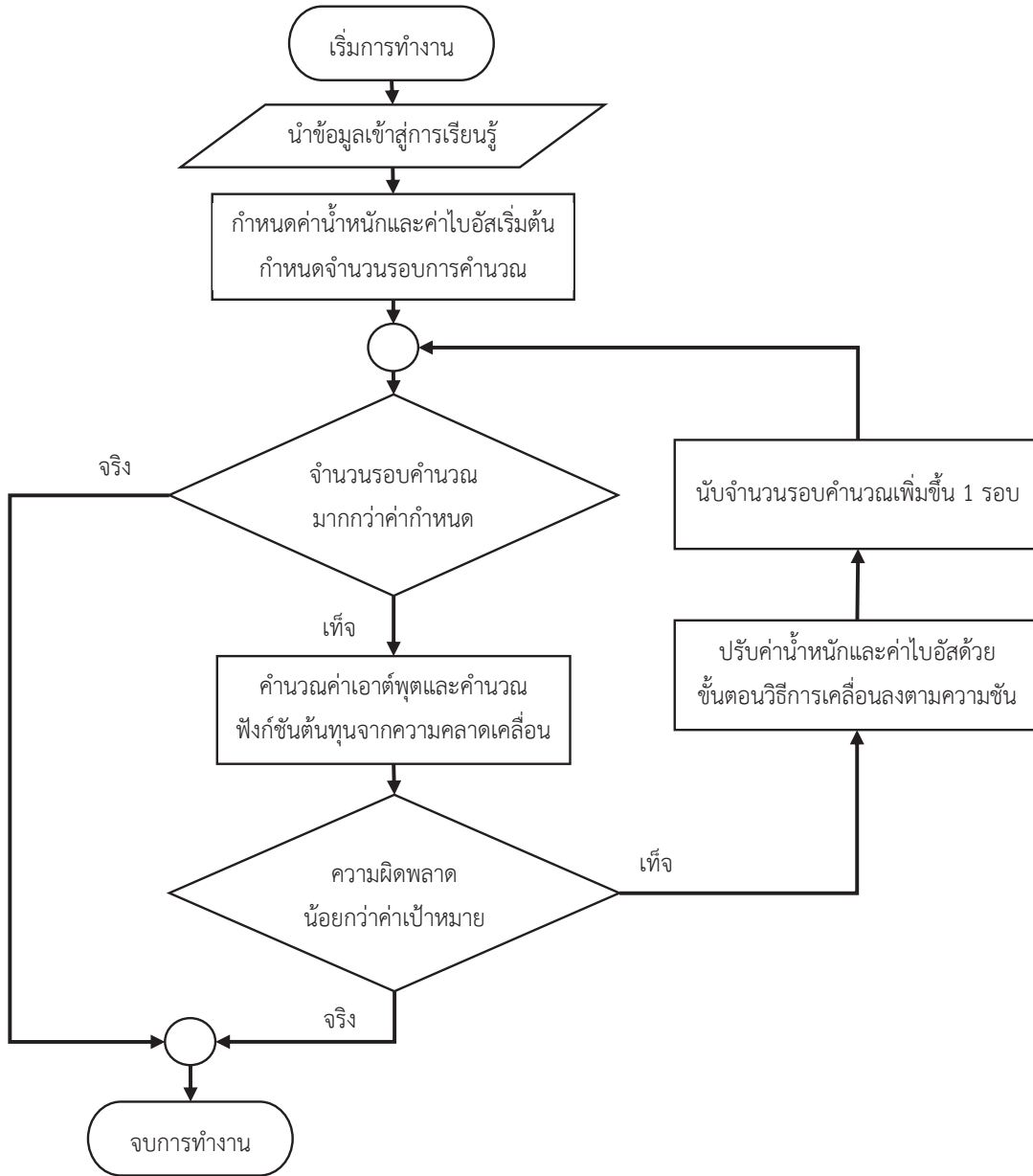
ที่มา: Kriesel, D. (2007). A Brief Introduction to Neural Networks (ZETA2-EN).

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมโหนดที่ j ในชั้นที่ k สามารถอธิบายด้วยสมการที่ 2

$$y_j^k = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}^k x_i^k + b_j^k\right) \quad (2)$$

โดยที่ x_i^k หมายถึงค่าอินพุตโหนดที่ i ของชั้นที่ k , w_{ij}^k หมายถึงค่าน้ำหนักระหว่างโหนดที่ i กับ j , b_j^k หมายถึงค่าไบอัสโหนดที่ j ของชั้นที่ k , y_j^k หมายถึงค่าเอาต์พุตโหนดที่ j ของชั้นที่ k , และ $f()$ หมายถึงฟังก์ชันกระตุ้น

ในบทความวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation ANN) ที่มี 3 ชั้นย่อย และ 20 โหนดในชั้นย่อย โดยแบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วน คือข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training) 80% ข้อมูลสำหรับเลือกแบบจำลอง (Validation) 10% ข้อมูลสำหรับวัดความแม่นยำ (Testing) 10% และใช้ภาษาไพทอน (Python) ในการเขียนโปรแกรม วิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังผังโปรแกรม (Flowchart) ในภาพที่ 7

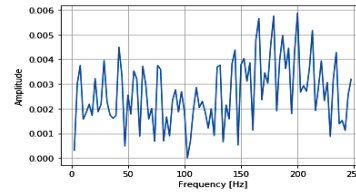
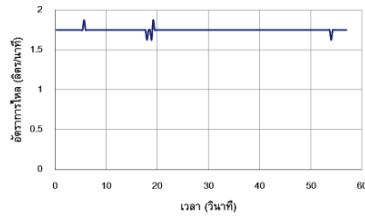


ภาพที่ 7 ผังโปรแกรมการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

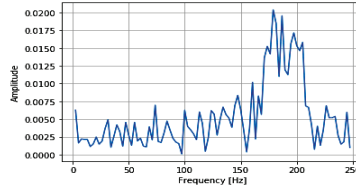
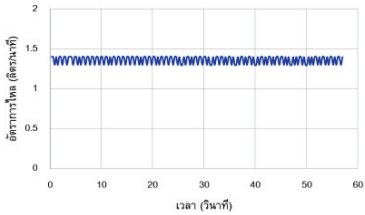
4. ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลอัตราการไหลที่เก็บได้ในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

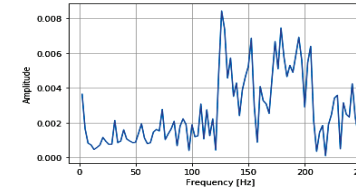
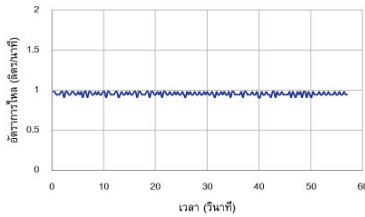
ตัวอย่างอัตราการไหลในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่จากการแปลงฟูริเยร์แสดงดังภาพที่ 8



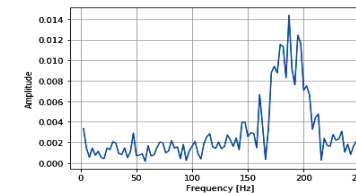
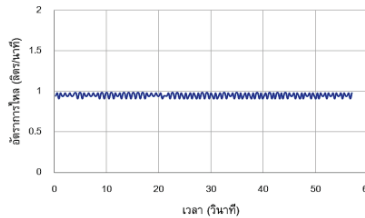
(ก) ไม่มีจุดอดตัน



(ข) อดตันจุดที่ 1



(ค) อดตันจุดที่ 1 และ 2



(ง) อดตันจุดที่ 1 และ 3

ภาพที่ 8 ตัวอย่างอัตราการไหลในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ที่สถานะต่าง ๆ ของหัวน้ำหยด

ในภาพที่ 8(ก) พบว่าอัตราการไหลเฉลี่ยในโดเมนเวลามีค่าสูงสุดเมื่อไม่มีการอดตันของหัวน้ำหยด แต่ในภาพที่ 8(ข) และ 8(ค) นั้นอัตราการไหลเฉลี่ยมีค่าลดลงเนื่องจากการอดตันที่หัวน้ำหยด โดยมีค่าแปรผันตรงกับจำนวนหัวน้ำหยดที่อดตัน ดังนั้นหากจำนวนหัวน้ำหยดที่อดตันมีค่าเท่ากันแต่ตำแหน่งไม่เหมือนกัน พบว่าจะมีอัตราการไหลเฉลี่ยใกล้เคียงกันแต่มีลักษณะของสัญญาณต่างกันซึ่งสังเกตได้ยากในโดเมนเวลา แต่เมื่อวิเคราะห์อัตราการไหลในโดเมนความถี่สำหรับกรณีที่มีจำนวนหัวน้ำหยดที่อดตันมีค่าเท่ากันแต่ตำแหน่งไม่เหมือนกันพบว่ามีความถี่ที่แตกต่างกันและสังเกตได้ชัดเจนกว่าในโดเมนเวลาดังแสดงในภาพที่ 8(ค) และ 8(ง) จึงเหมาะสำหรับการนำไปสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียม

4.2 ความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการทดสอบกับท่อย่อยที่ 1 และ 2 ท่อย่อยที่ 3 และ 4 แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมกับท่อย่อยที่ 1 และ 2

สถานะจริงของหัวน้ำหยด					สถานะของหัวน้ำหยดจากการคาดหมายของโครงข่ายประสาทเทียม													
					ท่อย่อยที่ 1						ท่อย่อยที่ 2							
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	แม่นยำ	1	2	3	4	5	แม่นยำ		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	1	80%		
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	100%	1	0	0	0	0	100%		
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	100%	0	1	0	0	0	100%		
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	100%	0	0	1	0	0	100%		
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	100%	0	0	0	1	0	100%		
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	100%	0	0	0	0	1	100%		
1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	100%	1	1	0	0	0	100%		
1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	100%	1	0	1	0	0	100%		
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	100%	0	0	0	1	0	80%		
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	100%	1	0	0	0	1	100%		
0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	100%	0	1	1	0	0	100%		
0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	100%	0	1	0	1	0	100%		
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	100%	0	1	0	0	1	100%		
0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	100%	0	0	1	1	0	100%		
0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	100%	0	0	1	0	1	100%		
0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	100%	0	0	0	1	1	100%		
1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	100%	1	1	1	0	0	100%		
1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	80%	1	1	0	0	0	80%		
1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	100%	0	1	0	0	1	100%		
1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	100%	1	0	1	1	0	100%		
1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	100%	1	0	1	0	0	80%		
1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	100%	1	0	0	1	1	100%		
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	100%	0	1	1	1	0	100%		
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	100%	0	1	1	0	0	80%		
0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	100%	0	1	0	0	1	80%		
0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	100%	0	0	0	1	1	80%		
1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	100%	1	0	0	0	0	40%		
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	80%	0	1	1	0	1	80%		
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	100%	0	0	0	1	0	40%		
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	80%	0	0	0	0	1	40%		
0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	80%	0	1	0	1	0	60%		
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	80%	1	1	0	1	1	80%		
										แม่นยำเฉลี่ย							แม่นยำเฉลี่ย	86.88%

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมกับท่อย่อยที่ 3 และ 4

สถานะจริงของหัวน้ำหยด					สถานะของหัวน้ำหยดจากการคาดหมายของโครงข่ายประสาทเทียม													
					ท่อย่อยที่ 3						ท่อย่อยที่ 4							
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	แม่นยำ	1	2	3	4	5	แม่นยำ		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	0	100%		
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	100%	1	0	0	0	0	100%		
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	100%	0	1	0	0	0	100%		
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	100%	0	0	1	0	0	100%		
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	100%	0	0	0	1	0	100%		
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	100%	0	0	0	0	1	100%		
1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	100%	1	1	0	0	0	100%		
1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	100%	1	0	1	0	0	100%		
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	80%	1	0	0	1	0	100%		
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	80%	1	0	0	0	1	100%		
0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	100%	0	1	1	0	0	100%		
0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	80%	0	1	0	1	0	100%		
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	100%	0	1	0	0	1	100%		
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	60%	0	0	1	1	0	100%		
0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	100%	0	0	1	0	1	100%		
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	80%	0	0	0	1	0	80%		
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	40%	0	0	1	1	0	40%		
1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	40%	0	0	0	0	0	40%		
1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	40%	0	0	1	0	1	40%		
1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	60%	0	0	1	0	0	60%		
1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	60%	0	0	1	0	0	60%		
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	40%	0	0	0	0	1	60%		
0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	60%	0	1	0	0	0	60%		
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	60%	0	0	0	0	1	60%		
0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	40%	0	1	0	1	0	80%		
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	60%	0	0	0	1	1	80%		
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	20%	0	0	0	0	0	20%		
1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	20%	0	0	0	0	1	40%		
1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	20%	0	0	0	0	0	20%		
1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	40%	0	1	0	0	0	0%		
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	20%	0	0	0	0	0	20%		
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	80%	1	1	0	1	1	80%		
										แม่นยำเฉลี่ย							แม่นยำเฉลี่ย	73.12%

5. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในโดเมนเวลาในกรณีที่มีหัวน้ำหยดที่จุดต้นมีจำนวนเท่ากันแต่ตำแหน่งต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ แต่เมื่อแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่จะสามารถเห็นข้อแตกต่างได้มากยิ่งขึ้น เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมไปทดสอบหาจุดจุดต้นในท่อย่อยที่ 1 ซึ่งเป็นท่อย่อยที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 96.88% เมื่อนำไปตรวจสอบท่อย่อยที่ 2 3 และ 4 จะมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 86.88%, 67.50% และ 73.12% ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำทั้งระบบเท่ากับ 81.09% ซึ่งความแม่นยำมีค่าไม่คงที่อาจเกิดจากทิศการพุ่งออกน้ำจากหัวน้ำหยดและการวางตัวของท่อที่แตกต่างกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำหรับทุนอุดหนุนงานวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่และทรัพยากรต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง (References)

- คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ศาสตร์ (2543). เอกสารคำสอนวิชาหลักการกลศาสตร์. **ภาควิชาฟิสิกส์ศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**.
- วันชัย คุปวานิชพงษ์. (2555). การออกแบบระบบให้น้ำผ่านท่อในงานวิจัยเกษตรวิศวกรรม. **เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการจัดการความรู้ของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ประจำปี 2555**. ห้องประชุมใหญ่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรุงเทพฯ.
- สุดสายสิน แก้วเรือง. (2553). ระบบการให้น้ำแบบใช้น้ำน้อย. **ข่าวสารเกษตรศาสตร์**, 55(3), มิ.ย.-ก.ค. 2553, 24-37.
- Candelieri, A., Soldi, D., Conti, D. and Archetti, F. (2014). Analytical Leakages Localization in Water Distribution Networks through Spectral Clustering and Support Vector Machines. The Icewater Approach. **Procedia Engineering**, 89, 1080–1088.
- Casillas, M., Garza-Castañón, L., Puig, V., and Vargas-Martinez, A. (2015). Leak Signature Space: An Original Representation for Robust Leak Location in Water Distribution Networks. **Water**, 7(12), 1129–1148.
- Deniss, E. A. C., Eduardo, G. C. L., and Adriana, V.-M. (2012). Multi-leak detection with wavelet analysis in water distribution networks. **Proceeding of the 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)**, pp. 1155–1160.
- Idris, I. (2014). **Python data analysis**. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.
- Kriesel, D. (2007). **A Brief Introduction to Neural Networks (ZETA2-EN)**.
- Lee, S.J., Choi, G.B., Seo, J.C. Lee, J.M. and Lee, G. (2012). Fault Detection of Pipeline in Water Distribution Network System. **International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering**, 6(4), 490-495.
- Margolis, M. (2011). **Arduino cookbook**. Beijing: O'Reilly.