



การควบคุมระดับน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกแบบ 2 เงื่อนไข

จิรวัดน์ บุญประเสริฐ เชิดพงษ์ ตีเลิศไพบูลย์* และ สุรัชย์ จันทร์ฉาย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-7498-9703 อีเมล: chirdpond@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.03.012

รับเมื่อ 26 กรกฎาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 25 ตุลาคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 31 มีนาคม 2560

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ระบบการควบคุมระดับน้ำในบ่อกรองน้ำของกระบวนการผลิตน้ำประปาขนาดใหญ่เดิมนั้นใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าอัตราขยายแบบคงที่ แต่เนื่องด้วยในกระบวนการผลิตนั้นมีการลดหรือเพิ่มกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลา การล้างบ่อกรองและปริมาณอนุภาคสารแขวนลอยที่มากับน้ำดิบที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณน้ำดิบที่เข้าบ่อกรองเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาไม่แน่นอน ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID แบบคงที่จึงไม่สามารถตอบสนองต่อระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้นได้ จึงเป็นสาเหตุให้วาล์วปีกผีเสื้อขนาดใหญ่ที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำออกเพื่อรักษาระดับน้ำในบ่อกรองมีการทำงานบ่อยครั้งส่งผลให้มอเตอร์และชุดเฟืองของวาล์วปีกผีเสื้อมีอายุการใช้งานที่สั้นลง บทความนี้จึงนำเสนอตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกแบบ 2 เงื่อนไข วัตถุประสงค์เพื่อลดการทำงานของวาล์วปีกผีเสื้อไม่ทำงานบ่อยครั้งและสามารถรักษาระดับน้ำให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนดไว้ได้ถึงแม้ว่าระดับน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้นตลอดเวลา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกมีจำนวนครั้งในการเปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อที่น้อยกว่าและการตอบสนองต่อการรักษาระดับน้ำได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบ PID ที่ใช้ค่าอัตราขยายคงที่

คำสำคัญ: ฟัซซีลอจิก, การควบคุมระดับน้ำ, การกรองน้ำสำหรับผลิตน้ำประปา



Level Control in Water Treatment Process by 2–stage Fuzzy Logic Controller

Jirawat Boonprasert, Chirdpong Deelertpaiboon* and Surachai Chunchay

Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08–7498–9703, E–mail: chirdpongd@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.03.012

Received 25 July 2016; Accepted 25 October 2016; Published online: 31 March 2017

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Normally, the water level control for filter tank of a large water treatment uses the PID controller with fixed gain. Due to the increase or decrease in production process in each period, the washing filter tank, and the amount of particle suspensions of different input raw water, the flow rate of raw water into the filter tank changes nonlinearly. As a result, the static gain of the PID controller cannot respond well. This causes a large butterfly outlet valve to work frequently while trying to maintain the water level in the filter tanks. Hence, the motor and gear set of butterfly valve's lifespan are shorten. This research presents the 2–state fuzzy logic controller. The aim is to reduce the working of butterfly valve, and to maintain water levels in the specified range. The experimental result reveals that the proposed 2–stage fuzzy logic controller reduces the opening and closing of the butterfly valve considerably and has a better response to the water level maintaining than the PID controller with fixed gain.

Keywords: Fuzzy Logic, Water Level Control, Water Filtration for Water Treatment Production

1. บทนำ

ในขบวนการผลิตน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคและบริโภคสำหรับเมืองขนาดใหญ่จะนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาผ่านขบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำจนสามารถนำไปจ่ายให้กับบ้านเรือนประชาชนได้ ในขั้นตอนหนึ่งของขบวนการผลิตจะเป็นขั้นตอนของการกรองเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำดิบโดยให้น้ำไหลผ่านวัสดุกรองในอัตราไหลที่เหมาะสมโดยใช้อัตราแบบปิกผีเสื้อขนาดใหญ่ในการควบคุมปริมาณน้ำไหลออกเพื่อรักษาระดับน้ำในบ่อกรองให้คงที่ตามค่าที่ได้กำหนดไว้ การรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับขอบเขตที่กำหนดไว้เป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการกรอง ปัจจุบันการควบคุมระดับน้ำจะใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าอัตราขยาย (Gain) แบบคงที่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นมีการลดหรือเพิ่มกำลังการผลิตน้ำในแต่ละช่วงเวลาตามความต้องการ มีการล้างบ่อกรอง และประเภทสิ่งปนเปื้อนในน้ำดิบแต่ละครั้งที่แตกต่างกัน ทำให้การใช้อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID แบบคงที่จึงไม่ใช่ทางเลือกที่เหมาะสม เพราะจะไม่สามารถรักษาระดับน้ำให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ได้นาน ส่งผลทำให้มอเตอร์และชุดเฟืองที่ใช้สำหรับควบคุมการเปิดปิดของวาล์วปิกผีเสื้อขนาดใหญ่ทำงานบ่อยครั้งขึ้น ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์และชุดเฟืองสั้นลง

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ได้ถูกคิดค้นโดย Lofti A. Zadeh [1], [2] ซึ่งเป็นแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน ไม่เที่ยงตรง มีความคลุมเครือไม่ชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป ฟัซซีลอจิกถูกพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย เช่น การประยุกต์ใช้กับการควบคุมระดับของเหลวโดยการจำลองระบบการเปิดปิดวาล์วเพื่อควบคุมระดับน้ำในถังเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ PID ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสามารถควบคุมระดับน้ำได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบ PID อย่างชัดเจน สามารถลดการเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) มีช่วงเวลาเข้าที่ (Settling Time) น้อยและมีเวลาในการตอบสนองที่ดี [3] หรือเป็นการประยุกต์ใช้กับการควบคุมอุณหภูมิ

โดยการสร้างแบบจำลองการควบคุมอุณหภูมิอย่างง่ายและมีราคาถูกโดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าฟัซซีลอจิกสามารถตอบสนองต่อการควบคุมอุณหภูมิตามค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ได้ดี [4], [5] หรือจะเป็นการประยุกต์ใช้งานกับการควบคุมอัตราการไหล [6], [7] การควบคุมลูกตุ้มแบบกลับหัว [8] และการประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ภายในบ้านต่างๆ เช่น เครื่องซักผ้า [9] เป็นต้น

บทความนี้จะนำเสนอวิธีการควบคุมระดับน้ำในบ่อกรองโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกในการควบคุมการเปิดปิดวาล์วปิกผีเสื้อขนาดใหญ่ที่ควบคุมปริมาณน้ำไหลออกเพื่อรักษาระดับน้ำดิบในบ่อกรองให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนด เนื่องจากระดับน้ำดิบที่เข้าบ่อกรองเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและตามคุณภาพของน้ำดิบ ฟัซซีลอจิกจึงเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานในการควบคุมระดับน้ำในบ่อกรอง ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยลดการทำงานของมอเตอร์และชุดเฟืองของวาล์วปิกผีเสื้อทำให้ยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์และชุดเฟือง

2. โครงสร้างของระบบกรองน้ำ

ในระบบการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนนั้น น้ำดิบจากคลองประปาจะถูกสูบเข้าไปสู่กระบวนการผลิตน้ำประปาโดยสูบจากโรงสูบน้ำดิบส่งไปที่ถังตกตะกอน ในระหว่างทางจะมีการเติมสารเคมีและสารส้มก่อนเข้าถังตกตะกอนเพื่อปรับสภาพของน้ำดิบและช่วยในการตกตะกอนของน้ำดิบ น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนจะถูกส่งไปยังบ่อกรองทรายซึ่งทำหน้าที่กรองดักสิ่งปนเปื้อนหรืออนุภาคแขวนลอยที่หลงเหลือมาจากน้ำที่ออกมาจากถังตกตะกอนให้หมดไปแล้วจึงส่งไปยังขบวนการฆ่าเชื้อตอนสุดท้าย (Post Disinfection) เพื่อทำให้น้ำสะอาดปราศจากเชื้อโรคและนำไปเก็บยังถังเก็บน้ำใสก่อนสูบส่งจ่ายให้กับบ้านเรือนประชาชน

2.1 โครงสร้างบ่อกรอง

บ่อกรองทรายนี้นี้เป็นประเภทกรองเร็ว (Rapid Filter) แบบระบบเปิด (Gravity) โครงสร้างของบ่อกรองมีลักษณะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

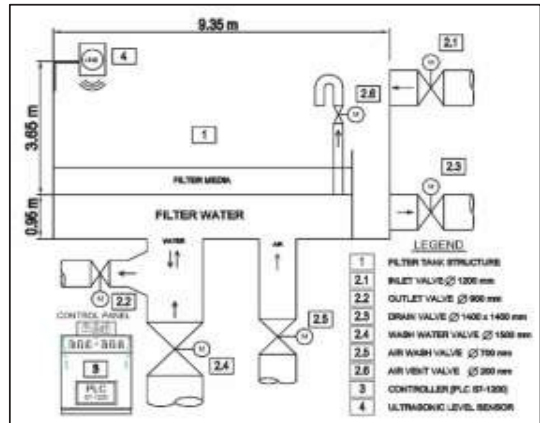
ขนาดกว้าง 9.35 เมตร ยาว 27.4 เมตร สูง 4.6 เมตร โดยมีภาพตัดขวางแสดงได้ดังรูปที่ 1 ภายในจะมีส่วนของชั้นกรองน้ำ (Filter Media) ซึ่งประกอบไปด้วยถ่านหิน (Anthracite) และทรายที่มีความหนา 0.8 เมตร และ 0.4 เมตร ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยส่วนของชั้นกรองไปจนถึงปากบ่อสูง 3.65 เมตร และส่วนของน้ำที่กรองแล้วสูง 0.95 เมตร บนแผ่นคอนกรีต (Filter Slab) ได้ชั้นทรายมีหัวกรอง (Nozzles) ติดอยู่จำนวน 10,980 หัว ไว้สำหรับให้น้ำไหลผ่านชั้นกรองลงไปด้านล่าง ส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำในบ่อกรองมีดังนี้

2.1.1 วาล์ว

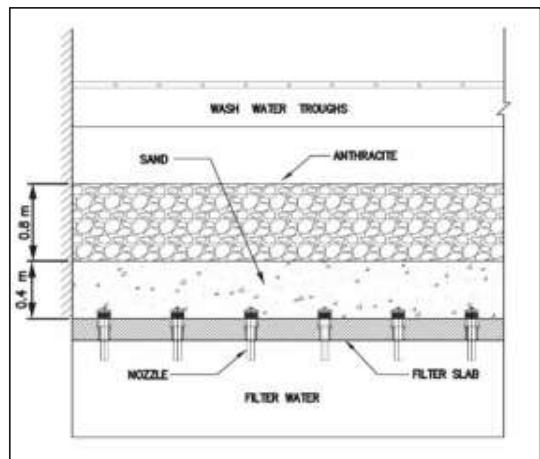
ในระบบการกรองจะมีการทำงานอยู่สองอย่างคือการกรอง (Filtering) และการล้างบ่อแบบย้อนกลับ (Backwashing) ซึ่งการทำงานทั้งสองอย่างจะมีวาล์วเป็นองค์ประกอบหลัก โดยในหนึ่งบ่อกรองจะประกอบไปด้วยวาล์วไฟฟ้า (Motorized Valve) ทั้งหมด 6 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 1 ดังนี้ วาล์วน้ำเข้า (Inlet Valve) วาล์วน้ำออก (Outlet Valve) วาล์วน้ำล้างบ่อ (Wash Water Valve) วาล์วระบายน้ำล้างบ่อ (Drain Valve) วาล์วระบายน้ำล้างบ่อ (Air Water Valve) และวาล์วระบายลมล้างบ่อ (Air Vent Valve) โดยวาล์วระบายน้ำล้างบ่อเป็นวาล์วประเภทประตูน้ำบานเลื่อน และส่วนวาล์วอีก 5 ตัวที่เหลือเป็นวาล์วประเภทปีกผีเสื้อ วาล์วน้ำเข้าและวาล์วน้ำออกจะใช้สำหรับการกรองและส่วนวาล์วอีก 4 ตัวจะใช้สำหรับการล้างบ่อกรองย้อนกลับ

2.1.2 แผงควบคุมไฟฟ้า

ในการควบคุมการเปิดปิดวาล์วไฟฟ้าทั้ง 6 ตัว จะเป็นการควบคุมผ่านแผงควบคุมไฟฟ้า (Control Panel) การควบคุมสามารถควบคุมได้ทั้งแบบควบคุมด้วยมือและแบบอัตโนมัติ สำหรับการควบคุมการรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้แบบอัตโนมัตินั้นจะถูกควบคุมผ่านตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable Logic Control) ยี่ห้อ Siemens รุ่น S7-1200 โดยเป็นการควบคุมการเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อควบคุมปริมาณน้ำออกเพื่อรักษาระดับน้ำที่อยู่บนชั้นกรองให้อยู่ในระดับขอบเขตที่กำหนดไว้ แสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ภาพตัดขวางของโครงสร้างระบบกรองน้ำ



รูปที่ 2 ภาพตัดขวางของบ่อกรองน้ำ



รูปที่ 3 แผงควบคุมไฟฟ้าและตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้

2.1.3 เครื่องมือวัดระดับน้ำ

ในการควบคุมระดับน้ำในบ่อกรองให้อยู่ในระดับขอบเขตที่กำหนดได้นั้นจะต้องอาศัยเครื่องมือวัดในการวัดระดับน้ำในบ่อกรองแล้วส่งสัญญาณป้อนกลับไปที่ตัวควบคุมเพื่อใช้ในการประมวลผลเพื่อเปิดปิดวาล์วน้ำออก ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก ยี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น FMU90 การติดตั้งจะติดตั้งบนขอบของบ่อกรอง แสดงได้ดังรูปที่ 1 ระดับในการวัดอยู่ที่ 3.3 เมตร และเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการอ้างอิงระดับน้ำที่ต้องการ ค่าระดับน้ำที่ส่งไปที่ตัวควบคุมจะถูกแปลงจากค่าระดับน้ำจริง 0–3.3 เมตร เป็น 0–100%

3. การออกแบบระบบควบคุม

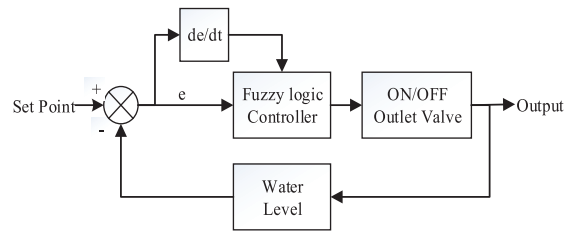
ในระบบกรองน้ำได้มีการกำหนดให้ควบคุมระดับน้ำในบ่อกรองให้อยู่ในระดับขอบเขตที่กำหนดไว้โดยใช้การควบคุมการเปิดหรือปิดวาล์วน้ำออก ซึ่งการประมวลผล การเปิดปิดวาล์วน้ำออกนั้นได้ออกแบบให้ใช้ค่าความผิดพลาดของระดับน้ำและค่าอนุพันธ์ความผิดพลาดของระดับน้ำเป็นองค์ประกอบของการประมวลผล

ระบบควบคุมระดับน้ำได้ถูกออกแบบดังรูปที่ 4 โดยค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเครื่องวัดระดับน้ำอัลตราโซนิก จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่กำหนดไว้ที่ $85\% \pm 2\%$ ค่าความแตกต่างของระดับน้ำจริงกับค่าที่กำหนดไว้เรียกว่าค่าความผิดพลาด (e) พร้อมกับอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (de/dt) จะเป็นค่าอินพุตที่ถูกส่งไปยังตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ซึ่งจะประมวลผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อเพื่อควบคุมปริมาณน้ำออกให้สัมพันธ์กับระดับน้ำในบ่อกรอง

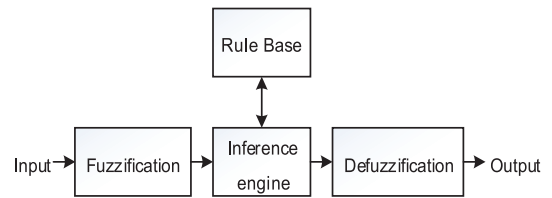
3.1 การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก จะมีส่วนประกอบ 4 ส่วน ได้แก่ การทำฟัซซีฟิเคชัน ฐานกฎ กลไกการอนุมาน และการทำดีฟัซซีฟิเคชัน ดังรูปที่ 5

อินพุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกมี 2 อินพุตคือค่าความผิดพลาดและอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาดโดยคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนเอาต์พุต



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมฟัซซีลอจิก

ของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อ

$$e = PV - SP \quad (1)$$

$$de/dt = \frac{Error_{NEW} - Error_{OLD}}{t} \quad (2)$$

เมื่อ e = ค่าความผิดพลาด

PV = ค่าระดับน้ำปัจจุบัน

SP = ค่าระดับน้ำที่กำหนด

de/dt = อนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด

$Error_{NEW}$ = ค่าผิดพลาดปัจจุบัน

$Error_{OLD}$ = ค่าผิดพลาดเก่า

t = เวลา

ในบทความนี้นำเสนอตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกแบบ 2 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรกใช้สำหรับควบคุมระดับน้ำในช่วงเริ่มต้นกรองน้ำเท่านั้น เพื่อให้ระดับน้ำเข้าสู่ค่าที่กำหนดได้เร็วขึ้นและลดการเกิดการฟุ้งเกินของระดับน้ำส่วนเงื่อนไขที่สองใช้สำหรับควบคุมระดับน้ำในช่วงเวลาที่ระดับน้ำเข้าสู่ค่าขอบเขตที่กำหนดไว้ เพื่อรักษาระดับน้ำให้อยู่ในช่วงดังกล่าวให้นานที่สุด ทำให้ลดการเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อ

3.1.1 เงื่อนไขแรกสำหรับควบคุมระดับน้ำในช่วงเริ่มต้นกรองน้ำ

1) ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันสมาชิกของค่าความผิดพลาด และอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาดรวมทั้งเปอร์เซ็นต์เปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อมีลักษณะดังรูปที่ 6-8 ตามลำดับ โดยการกำหนดรูปร่างเซตของฟังก์ชันสมาชิกค่าความผิดพลาด และอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาดนั้นใช้รูปทรงสามเหลี่ยมร่วมกับสี่เหลี่ยมคางหมู ทั้งนี้รูปทรงทั้งสองง่ายต่อการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิก ส่วนรูปร่างเซตของฟังก์ชันสมาชิกเปอร์เซ็นต์เปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อก็คล้ายกับฟังก์ชันสมาชิกของทั้งสองดังที่ได้กล่าวมาแต่ในเซตของ NC (No Change) เป็นรูปแบบเส้นตรงตั้งฉากเดี่ยวที่ตำแหน่ง 0 ของแกน X เมื่อคำนวณหาค่าจุดศูนย์ถ่วงของการทำดีฟัซซีเซตของ NC จะเท่ากับ 0 นั้นหมายถึงเอาต์พุตไม่มีการเปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อ

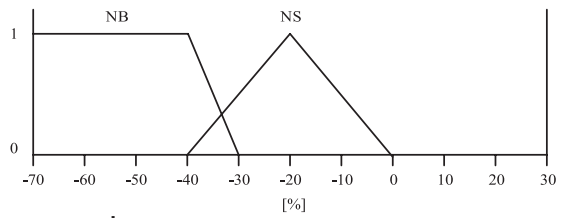
โดยตัวแปรที่กำหนดในรูปมีความหมายดังนี้

Input	Output
NB = Negative Big	CB = Close Big
NS = Negative Small	CS = Close Small
ZO = Zero	NC = No Change
PS = Positive Small	OS = Open Small
PB = Positive Big	OB = Open Big

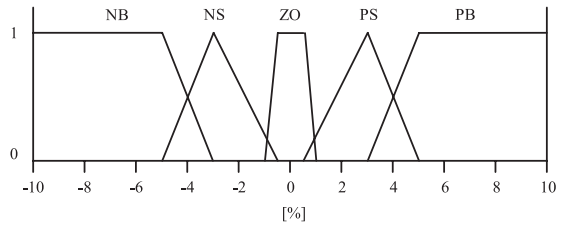
2) ฐานกฎ

แนวคิดในการออกแบบฐานกฎนั้นได้พิจารณาจากค่าของระดับน้ำหากระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับขอบเขตที่กำหนดไว้ให้ทำการปิดวาล์วลดลงเพื่อให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันหากระดับน้ำสูงเกินระดับขอบเขตที่กำหนดไว้ให้ทำการเปิดวาล์วเพิ่มขึ้นเพื่อให้ระดับน้ำลดลง ซึ่งระดับในการเปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อมากน้อยนั้นพิจารณาจากค่าความผิดพลาดของระดับน้ำประกอบกับค่าอนุพันธ์ความผิดพลาดของระดับน้ำ

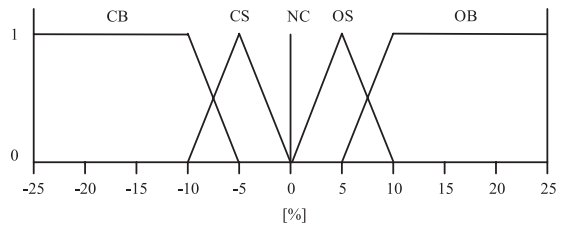
ฐานกฎที่ใช้ในการควบคุมสำหรับเงื่อนไขแรกนั้นจะใช้ค่าความผิดพลาดแค่ 2 ตัวแปรเท่านั้น เนื่องจากในตอนเริ่มต้น น้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้เสมอ



รูปที่ 6 ฟังก์ชันสมาชิกของค่าความผิดพลาด



รูปที่ 7 ฟังก์ชันสมาชิกของอนุพันธ์ค่าความผิดพลาด



รูปที่ 8 ฟังก์ชันสมาชิกของเปอร์เซ็นต์เปิดปิดวาล์ว

		(% Valve)				
		(de/dt)				
		NB	NS	ZO	PS	PB
(e)	NB	CB	CB	CS	NC	NC
	NS	CB	CS	CS	NC	OB

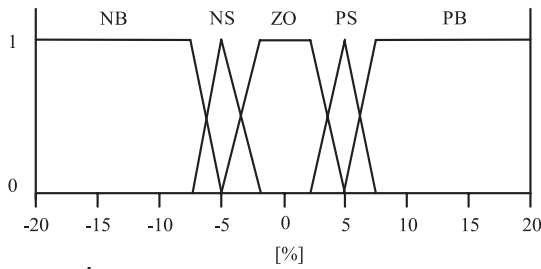
รูปที่ 9 ฐานกฎเมทริกซ์ สำหรับเงื่อนไขที่ 1

ทำให้ค่าความผิดพลาดเป็นค่าติดลบ ฐานกฎที่ใช้จึงแสดงในรูปแบบเมทริกซ์ ขนาด 2x5 ดังรูปที่ 9

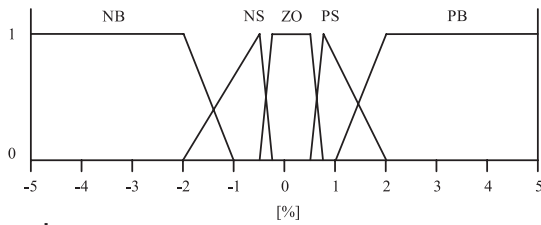
3.1.2 เงื่อนไขที่สองสำหรับควบคุมระดับน้ำในช่วงของค่าขอบเขตที่กำหนดไว้

1) ฟังก์ชันสมาชิก

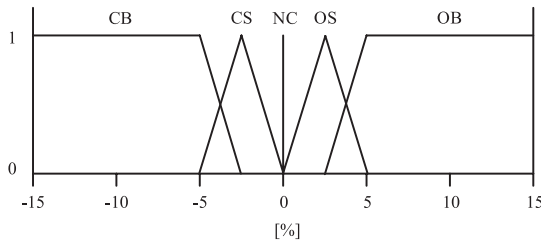
ฟังก์ชันสมาชิกของค่าความผิดพลาด และอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาดรวมทั้งเปอร์เซ็นต์เปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อมีลักษณะดังรูปที่ 10-12 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ฟังก์ชันสมาชิกของค่าความผิดพลาด



รูปที่ 11 ฟังก์ชันสมาชิกของอนุพันธ์ค่าความผิดพลาด



รูปที่ 12 ฟังก์ชันสมาชิกของเปอร์เซ็นต์เปิดปิดวาล์ว

2) ฐานกฎ

ฐานกฎในระบบได้มีกำหนดค่าตัวแปรของค่าความผิดพลาด 5 ตัวแปร และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด 5 ตัวแปร ผลลัพธ์ของฐานกฎจึงแสดงในรูปแบบเมทริกซ์ 5×5 ดังรูปที่ 13

3.1.3 ดีฟัซซิฟิเคชัน

ขั้นตอนการดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการคำนวณค่าเอาต์พุตของฟัซซีลอจิก โดยค่าที่ทำการดีฟัซซิฟิเคชันนั้นจะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์เปิดปิดวาล์วปิกมีเสื่อสำหรับน้ำออก ใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity, COG) ดังสมการที่ 3 ซึ่งการคำนวณหาจุดศูนย์กลางนั้นสามารถทำได้ง่าย

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (3)$$

		(% Valve)				
		(de/dt)				
		NB	NS	ZO	PS	PB
(e)	NB	CB	CB	CB	NC	NC
	NS	CB	CS	CS	NC	OS
	ZO	CS	CS	NC	OS	OS
	PS	CS	NC	OS	OS	OB
	PB	NC	NC	OB	OB	OB

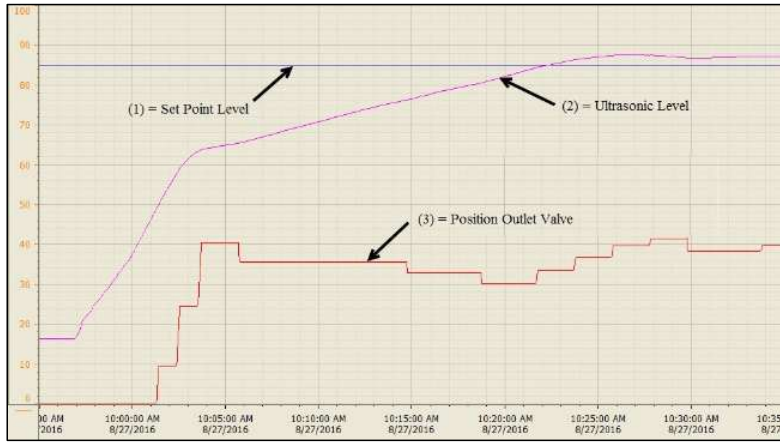
รูปที่ 13 ฐานกฎเมทริกซ์ สำหรับเงื่อนไขที่ 2



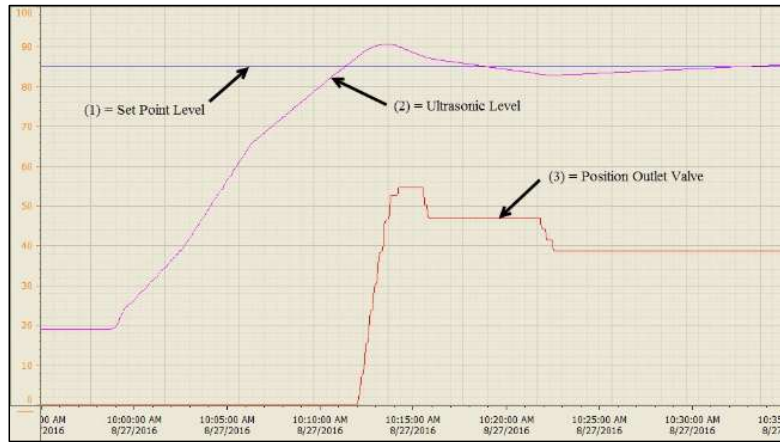
รูปที่ 14 ภาพบ่อกรองจริง

4. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 14 เป็นภาพบ่อกรองน้ำจริงที่ใช้ในการทดลอง โดยภายในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่วาล์วปิกมีเสื่อทำงานสำหรับกระบวนการกรองน้ำระหว่างการควบคุมระดับน้ำแบบ PID ที่มีการกำหนดค่าอัตราขยายแบบคงที่ซึ่งเป็นการควบคุมแบบเดิมกับการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกที่ได้นำเสนอในบทความนี้ กระบวนการกรองน้ำนี้จะใช้เวลา 48 ชั่วโมงหรือ 2 วันก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการล้างบ่อกรองย้อนกลับเพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยต่างๆ ที่ติดอยู่บนชั้นกรองออกไป ผู้วิจัยได้ทำการทดลองทั้งสองแบบพร้อมๆ กัน โดยเลือกบ่อที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 15 กราฟระดับน้ำและการเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อของตัวควบคุมแบบ PID ช่วงเริ่มต้นกรองน้ำ



รูปที่ 16 กราฟระดับน้ำและการเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกช่วงเริ่มต้นกรองน้ำ

ผลการทดลองของตัวควบคุมแบบ PID ที่มีอัตราขยายคงที่ ($K_p = 15, K_i = 50, K_d = 5$) กับตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 15–18 ตามลำดับ โดย (1) = Set Point Level คือระดับน้ำที่กำหนดไว้ที่ $85\% \pm 2\%$, (2) = Ultrasonic Level คือระดับน้ำจริงที่วัดได้จากเครื่องวัดระดับน้ำอัลตราโซนิกและ (3) = Position Outlet Valve คือตำแหน่งการทำงานของวาล์วปีกผีเสื้อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

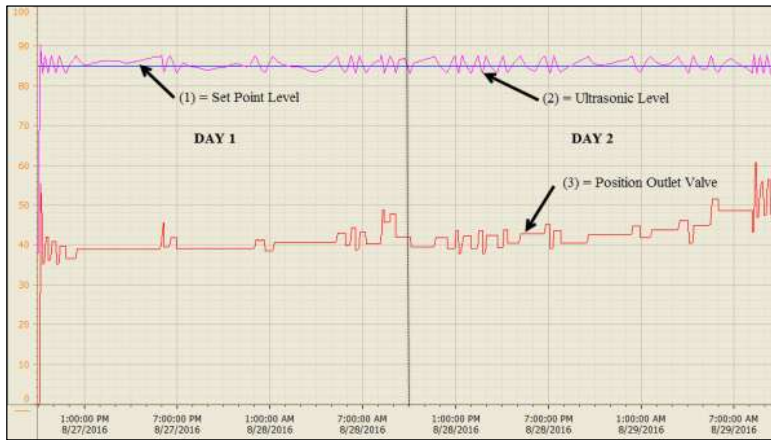
จากกราฟรูปที่ 15 การใช้ตัวควบคุมแบบ PID จะทำให้เกิดการพุ่งเกินของระดับน้ำไปที่ระดับ 92% ของระดับน้ำ ณ ตอนเริ่มต้น คิดเป็น 5.74% ของระดับน้ำที่ 87% ของระดับน้ำซึ่งคำนวณจากสมการที่ 4

$$\%Overshoot = \left(\frac{M_p - SP}{SP} \right) \times 100 \quad (4)$$

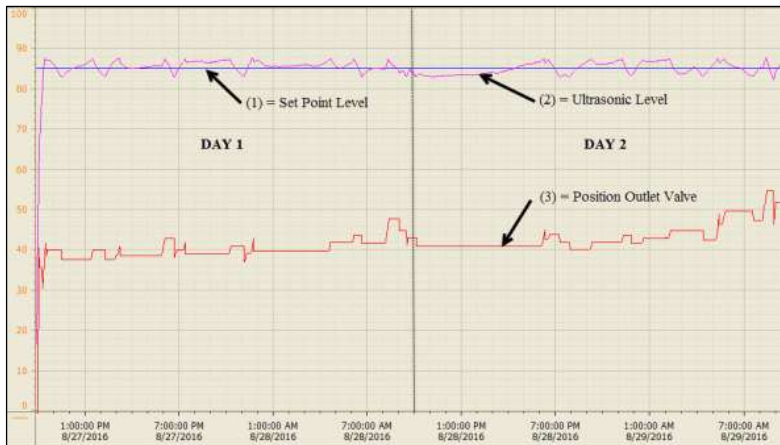
เมื่อ M_p = ค่าระดับน้ำสูงสุด

SP = ค่าระดับน้ำที่กำหนด

เมื่อระดับน้ำเข้าสู่ช่วงสภาวะอยู่ตัว (Steady State) ก็สามารถรักษาระดับน้ำในขอบเขตที่กำหนดไว้ได้ดี แต่ไม่สามารถคงค่าของระดับน้ำนั้นไว้ได้นาน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในระหว่างกระบวนการกรองน้ำนั้น ปริมาณน้ำเข้าของแต่ละบ่อกรองจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตน้ำในแต่ละช่วงเวลาการล้างบ่อกรองและประเภทของสิ่งปนเปื้อนในน้ำดิบที่แตกต่างกัน ทำให้วาล์วปีกผีเสื้อมีการเปิดปิดมากถึง 124 ครั้ง คิดเป็นค่าเฉลี่ย



รูปที่ 17 กราฟระดับน้ำและการเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อของตัวควบคุมแบบ PID



รูปที่ 18 กราฟระดับน้ำและการเปิดปิดของวาล์วปีกผีเสื้อของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

62 ครั้งต่อหนึ่งวัน ดังกราฟรูปที่ 17

แต่จากกราฟรูปที่ 16 ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก การควบคุมระดับน้ำในช่วงเริ่มต้นจะไม่มีเกิดการฟุ้งเกินของระดับน้ำ ส่วนในช่วงการรักษาระดับน้ำในขอบเขตที่กำหนดไว้ั้นระดับน้ำสามารถรักษาระดับอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ได้นานกว่าแบบ PID ถึงแม้จะเจอปัญหาเรื่องปริมาณน้ำเข้าที่เพิ่มหรือลดแบบไม่คงที่ ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกก็ยังทำงานได้ดีกว่าแบบ PID ทำให้วาล์วปีกผีเสื้อมีการทำงานทั้งสิ้นเพียงแค่ 72 ครั้ง คิดเป็นค่าเฉลี่ย 36 ครั้งต่อวัน ดังกราฟรูปที่ 18

5. สรุป

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสามารถลดการทำงานของวาล์วปีกผีเสื้อได้เกือบ 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ PID ที่มีการกำหนดค่าอัตราขยายคงที่แบบของเดิม และระดับน้ำสามารถรักษาระดับให้อยู่ในขอบเขตของค่าที่กำหนดไว้ได้ดีและมีผลตอบสนองที่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่เข้าบ่อกรองที่เป็นผลกระทบของการลดหรือเพิ่มกำลังการผลิตน้ำในแต่ละช่วงเวลา การล้างบ่อกรองและประเภทสิ่งปนเปื้อนในน้ำดิบ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของฟัซซีลอจิกที่สามารถตอบสนองต่อระบบที่มีเปลี่ยนแปลง

แบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการควบคุมระดับน้ำในบ่อกรองสำหรับระบบการผลิตน้ำประปาขนาดใหญ่ สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์และชุดเฟืองที่ใช้ควบคุมการเปิดปิดวาล์วปีกผีเสื้อขนาดใหญ่ได้ดีและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมื่อวัดและอิเล็กทรอนิกส์ที่สนับสนุนข้อมูลในการทำวิจัย ขอขอบคุณ หจก.สามประสิทธิ์ ผู้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และการประสานครหลวง ผู้เอื้อเฟื้อสถานที่โรงผลิตน้ำในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนที่มีส่วนร่วมให้งานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] L.A.Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, pp.338–353, 1965.
- [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets and systems," *International Journal of General Systems*, vol.17, pp.129–138,1990.
- [3] Dharamniwas, A. Ahmad, V. Redhu, and U. Gupta, "Liquid level control by using fuzzy logic controller," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 4, pp. 537–549, July 2012.
- [4] P. Sinhala, D. N. Shah, and B. Patel, "Temperature

control using fuzzy logic," *International Journal of Instrumentation and Control System*, vol. 4, no. 1, pp.1–10, 2014.

- [5] N.A. Isizoh, O. S. Okide, E.A. Anazia, and D.C. Ogu, "Temperature control system using fuzzy logic technique," *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 3, pp. 27–31, 2012.
- [6] V.Abhijith, M. A. Richard, R. Ravi, S. D. Ashok, and B. Ashok, "Fuzzy logic based fuel flow control system in a dual-fuel diesel engine," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, pp. 96–100, January 2015.
- [7] T. Thae, E. Aung, M. M. Maung, and H. M. Tun, "Design and development of fuzzy logic controller for liquid flow control," *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 208–218, 2014.
- [8] A. Jain, D. Tayal, and N. Sehgal, "Control of non-linear inverted pendulum using fuzzy logic controller," *International Journal of Computer Applications*, vol.69, no.27, pp. 7–11, May 2013.
- [9] M. Demetgul, O. Ulkir, and T. Waqar, "Washing machine using fuzzy logic," *Automation, Control and Intelligent Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 27–32, 2014.