Journal of Industrial Technology and Innovation 3(1) (2024) 251687

เครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว

Water Turbidity Test Apparatus by Using an Embedded System

ณัฐพงษ์ เกษวงษา[1], กิตติวัฒน์ จีบแก้ว[2] และ ก้องภพ ชาอามาตย์[2,*]

Natthapong Kedwongsa[1], Kittiwath Jeebkaew[2] and Kongphope Chaarmart[2,*]

[1]สาขาวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม

129 หมู่ 7 ถนนศรีสงคราม-ท่าดอกแก้ว ตำบลศรีสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม ไทย 48150

[2]สาขาวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

680 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ไทย 47000

[1]Program of Electrical Engineering, College of Industrial Technology, Sri Songkram, Nakhon Phanom University 129 Moo 7, Sri Songkram-Tha Dokkaew Road, Sri Songkram Sub-District, Sri Songkram District, Nakhon Phanom Province, Thailand, 48150

[2]Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Road, That Choeng Chum Sub-District, Mueang District, Sakon Nakhon, Thailand, 47000

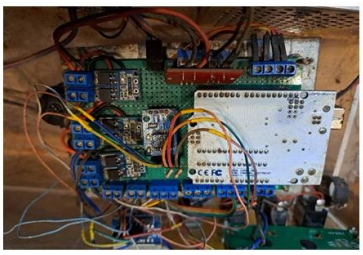
*Corresponding author: kongphope@snru.ac.th

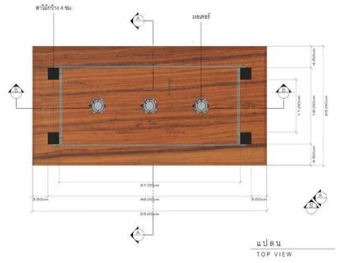
https://doi.org/10.55674/snrujiti.v3i1.251687

Received: 2023-11-10 Revised: 2023-12-06 Accepted: 2023-12-18 Available online: 2024-01-24

บทคัดย่อ

การออกแบบเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำที่มีประสิทธิภาพด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว และนำเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำใช้งานจริงในพื้นที่อำเภอศรีสงคราม ตำบลศรีสงคราม จังหวัดนครพนม โดยทดสอบ 2 รอบ ๆ ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 50 นาทีต่อรอบ





ด้วยวิธี Jar Test จากการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนน้ำด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว พบว่าการทำงานของเครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำแบบเดิมที่ต้องมีคนคอยเฝ้าดูการทำงานของเครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำทุกขั้นตอน ระบบใหม่ที่ออกแบบ

จะเป็นการควบคุมด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว ซึ่งเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติ อีกทั้งมีขั้นตอนการใช้งานอย่างง่ายเหมาะสำหรับผู้ที่ยังไม่เชี่ยวชาญในการทำ Jar Test

คำสำคัญ: เครื่องทดสอบการตะกอนของน้ำ, จาร์เทส, ระบบสมองกลแบบฝังตัว

Abstract

The objective of designing a water turbidity testing machine is to create an efficient device for testing the turbidity of water. This testing apparatus was developed to be used in the Srisongkram District, Srisongkram Sub-District, Nakhon Phanom Province. The testing process involves two rounds of testing, with each round consisting of two tests, each lasting for 50 seconds, using the Jar Test method. Through experimentation, it was found that the performance of the water turbidity testing machine with the Embedded-based system was significantly more efficient than the traditional manual testing apparatus. The previous manual system required constant monitoring at each step of the testing process, whereas the new system, controlled by the Embedded system, automated the process, eliminating the need for manual intervention. Additionally, the new testing apparatus is user-friendly, making it suitable for individuals who are not experts in Jar Testing. Overall, the developed water turbidity testing machine effectively fulfills the research objectives.

Keywords: Water precipitation tester, Jar-Test, Embedded system

© 2023 Faculty of Industrial Technology reserved

1. บทนำ

ในปัจจุบัน, กระบวนการผลิตน้ำประปามีความสำคัญมากสำหรับชุมชน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่นำน้ำที่ยังไม่ได้รับการบำบัดแปลงเป็นน้ำประปาที่สะอาดและปลอดภัยในการบริโภค กระบวนการผลิตน้ำประปานั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของแหล่งน้ำ แหล่งน้ำผิวดินมักถูกใช้เป็นแหล่งน้ำในการผลิตน้ำประปา แต่ปัญหาที่พบบ่อยในแหล่งน้ำผิวดินคือ การปนเปื้อนของสารอินทรีย์และความขุ่นของน้ำ สาเหตุของปัญหาเหล่านี้มาจากสภาพแวดล้อมหรือสภาพฤดูกาลที่ส่งผลให้คุณภาพของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ความขุ่นของน้ำหรือการเจือจางของสารอินทรีย์ในน้ำ การเปลี่ยนแปลงในสภาพขององค์ประกอบของน้ำมีผลต่อปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัดน้ำและส่งผลต่อคุณภาพของน้ำที่ผลิตออกมาไม่ตรงตามมาตรฐานน้ำประปา

การใช้วิธีการ Jar Test เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการทดสอบเพื่อหาปริมาณของสารเคมีรวมตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอน และเป็นขั้นตอนแรกที่จะเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาเพื่อเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการสร้างตะกอน การควบคุมค่า pH, ความขุ่น, และองค์ประกอบอื่น ๆ ในน้ำเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการนี้ การปรับปรุงและควบคุมตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อปริมาณของตะกอนและคุณภาพของน้ำที่ผลิต การลงทุนในกระบวนการผลิตน้ำประปาและประสิทธิภาพของการผลิตน้ำประปาเป็นสิ่งสำคัญ การใช้สารเคมีบางชนิดทำให้มีปริมาณตะกอนมากขึ้น ซึ่งเป็นอุปสรรคในกระบวนการกำจัดตะกอน หรือเพิ่มการใช้พื้นที่ในการบำบัดอีกเพิ่มขึ้น โดยนฤชา ฤชุพันธุ์ และคณะ [1] ได้รายงานการก่อเม็ดตะกอนโดยสารส้ม การก่อเม็ดตะกอนโดยสารส้มเป็นการศึกษากระบวนการกำจัดความขุ่น โดยการสร้างเม็ดตะกอนให้เกิดขึ้นในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนเพื่อทำหน้าที่ดักจับอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจากถังกวนเร็วด้วยวิธีการไหลแบบไหลขึ้น ทำการวิจัยโดยใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลินให้มีความขุ่น 50 NTU และใช้ความเร็วใบพัดในพังกวนเร็วเท่ากับ
100 รอบ/นาที ตัวแปรควบคุมที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 5, 10, 20, 30 มก./ล. ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 มก./ล. ความเร็วของน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 30, 40 ซม./นาที ความเร็วของใบพัดกวนน้ำในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน 5, 10, 15 รอบ/นาที การวิจัยพบว่า ค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารส้มหรือความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มขึ้น โดยระบบจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 3 ชั่วโมง สำหรับความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมากขึ้นหรือพิจารณาที่ระดับของชั้นเม็ดตะกอนต่ำลง อีกทั้ง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม นายพรรคพงษ์ ศรีประเสริฐ และคณะ [2] เรื่อง เทคโนโลยีการบำบัดของเสียอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเพื่อการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรมสองประเภท คือ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการพิมพ์ซิลค์สกรีนและเศษแผ่นวงจรไฟฟ้าจากของเสียอิเล็กทรอนิกส์ ผลการศึกษาดังนี้ ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมจากการพิมพ์ซิลค์สกรีนด้วยการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชั่นร่วมกับกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่นโดยน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการพิมพ์ซิลค์สกรีนมีลักษณะเบื้องต้น คือ มีกลิ่นฉุนของตัวทำละลาย มีความขุ่นและปนเปื้อนสีย้อม ค่าของ COD ทั้งหมด 3776 มก./ลิตร การดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่น 526 nm คือ 1.012 และค่าความขุ่น 1000 NTU (เจือจาง 5 เท่า ด้วยน้ำกลั่น) ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการสร้างตะกอนทางเคมี คือการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนด้วยความเข้มข้น 0.4 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD (Chemical Oxygen Demand) สี และความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 90.70 78.66 และ 90.20 จากนั้นน้ำเสียจะถูกบำบัดต่อด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่นตามสภาวะที่เหมาะสม การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชั่นร่วมกับกระบวนการเฟนตันออกซิเดชั่น สามารถบำบัดน้ำเสียสีย้อมการพิมพ์ซิลค์สกรีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความขุ่นและของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดด้วยกลไกการสร้างและการรวมตะกอน สารอินทรีย์ละลายและสีแท้ถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดออกซิเดชั่น ธมลวรรณ ชูประจง [3] นำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ช่วยสร้างตะกอนและลดการใช้ปริมาณสารส้ม ในกระบวนการผลิตน้ำประปาทั่วไปใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารส้มเป็นสารจับตะกอน ก่อให้เกิดปริมาณตะกอนเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้นำตะกอนสดจากถังตกตะกอนแบบ Solids Comtact Clarier และ ตกตะกอนแห้งจากบ่อกักตะกอน (Lagoon) ในกระบวนการผลิตน้ำประปากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นสารช่วยจับตะกอน (Coagulant) โดยศึกษาด้วยวิธี Jar Test เมื่อใช้ตะกอนร่วมกับสารส้ม ซึ่งเป็นสารจับตะกอนจะช่วยลดปริมาณสารส้มที่ใช้ (Coagulant) และลดค่าใช้จ่ายของสารเคมีได้ ตะกอนดังกล่าวจะเพิ่มมวลของแข็งแขวนลอยและความขุ่นของน้ำดิบ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งน้ำดิบมีค่าความขุ่นต่ำ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้สารส้มมาใช้เป็นสารจับตะกอนเพียงอย่างเดียวที่ค่าความขุ่น 19.1, 46.1, 47.4, 53.0 และ 87.9 NTU ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมมีค่าที่ 35.5, 66.5, 70, 69 และ 55 mg/l ตามลำดับประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่าที่ 92.04%, 97.59% Pivokonský, M. และคณะ (2022) [4] ได้รวบรวมเป็นคู่มืออย่างละเอียดเกี่ยวกับการทดลองแบบจาร์เทส โดยถูกอธิบายและพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพ เช่น ค่า pH ปริมาณสารช่วยชะล้างตะกอน ความเข้มของการเจือจางสารละลาย และเวลาในการเจือจาง ซึ่งมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ [4]

จากที่ได้กล่าวด้านบน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพโดยใช้ระบบสมองกลแบบฝังตัว เพื่อทดสอบน้ำประปาและหาวิธีการปรับปรุงและควบคุมตัวแปรต่างๆ เพื่อให้การผลิตน้ำประปามีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยพิจารณาค่า pH, ความขุ่นและองค์ประกอบของน้ำอย่างเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว

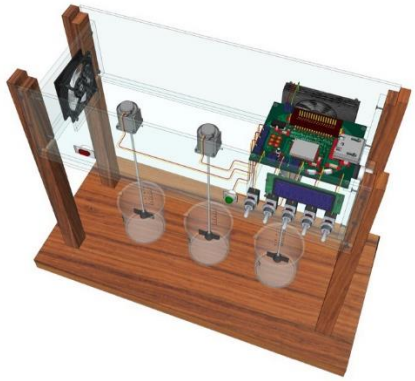
2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบตะกอนของน้ำ โดยควบคุมด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว

2.3 ขอบเขตพื้นที่ในการทดสอบที่ตำบลศรีสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม

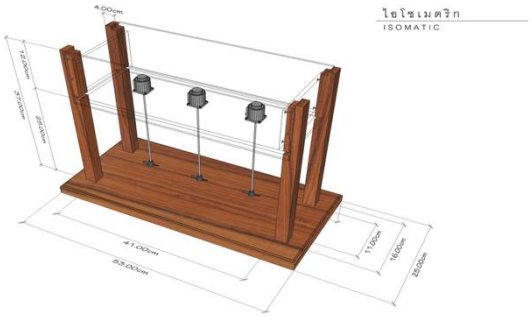
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ออกแบบโครงสร้าง

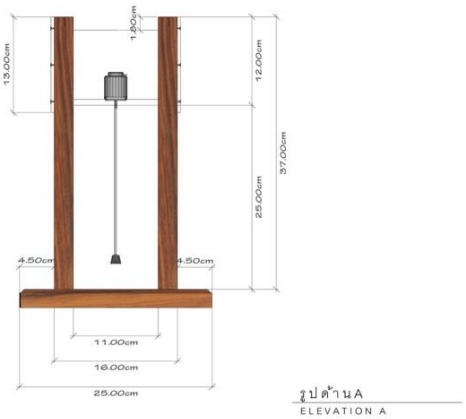
โครงสร้างเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัวได้แสดงไว้ตามภาพที่ 1(ก-จ)



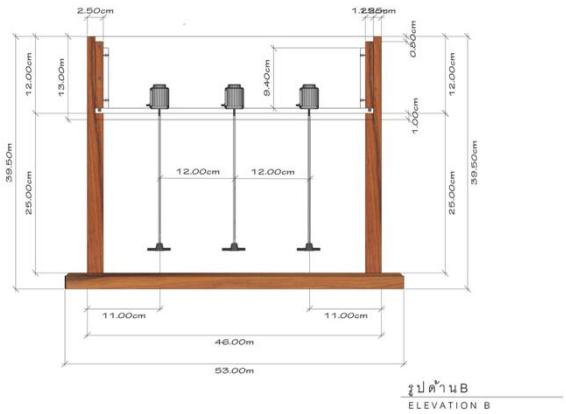
(ก) จำลองเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ ชนิด 3 ใบพัด



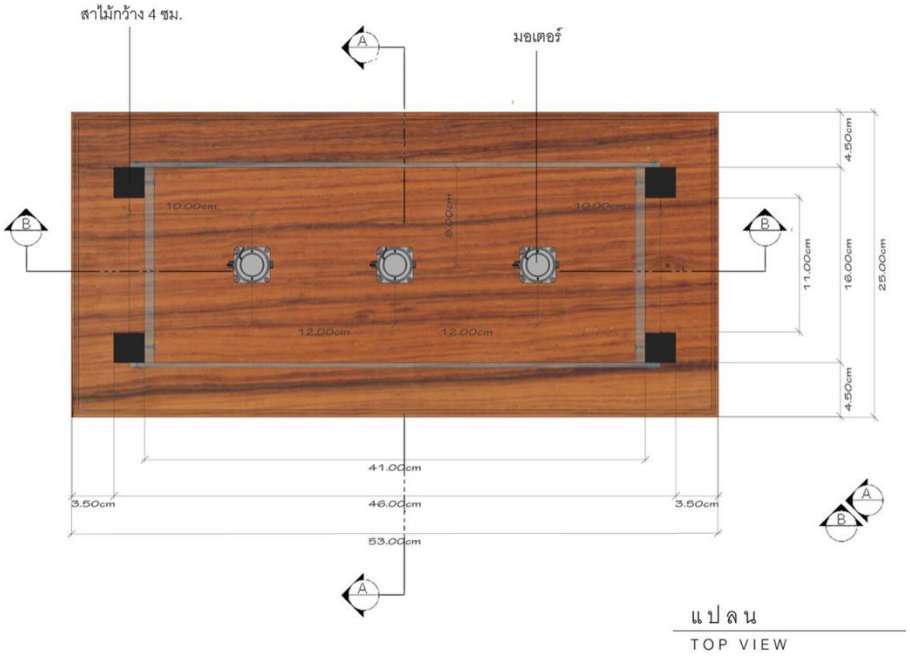
(ข) โครงสร้างเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ



(ค) รูปตัดด้าน A เครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ



(ง) รูปตัดด้าน B เครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ

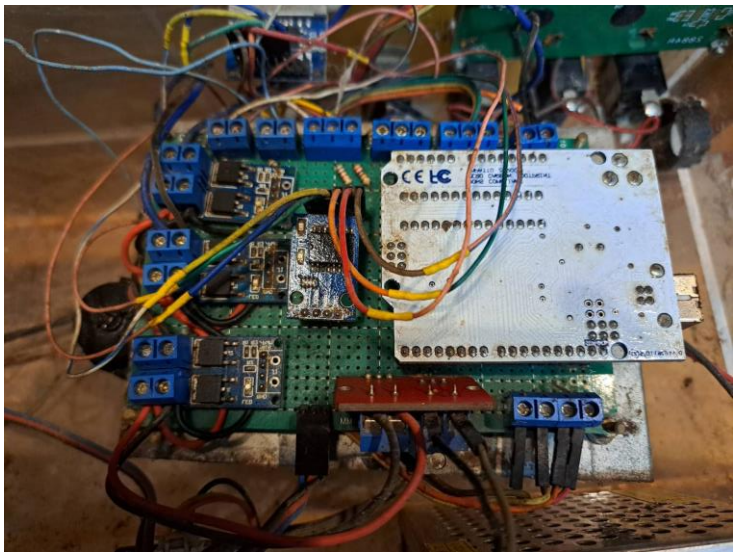


(จ) แปลน เครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ

ภาพที่ 1 (ก-จ) แสดงการออกแบบโครงสร้างเครื่องทดสอบการตกตะกอนของน้ำ

3.2 การออกแบบระบบสมองกลแบบฝังตัวและระยะตรวจวัด

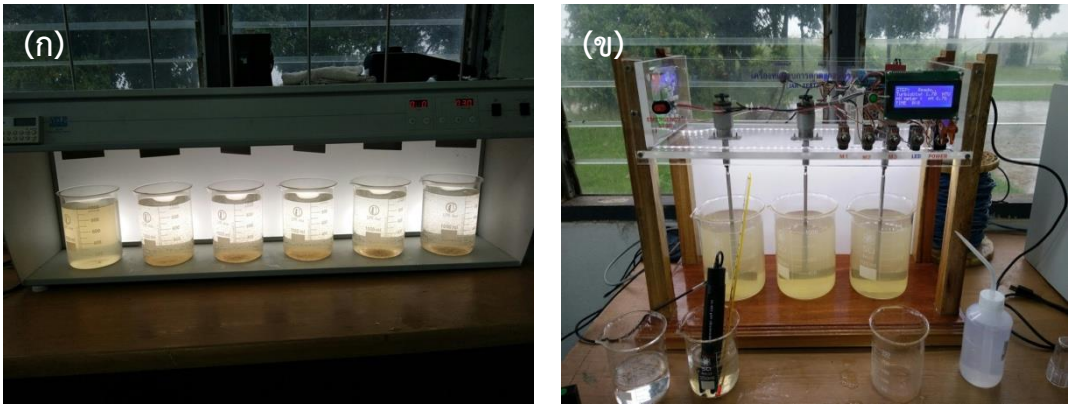
เครื่องทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถปรับค่าสารเคมีและความเข้มข้นของตะกอนอัตโนมัติ โดยอิงจากผลการทดสอบ ซึ่งเทคโนโลยีสมองกลแบบฝังตัวมีความสำคัญเพื่อให้กระบวนการการตกตะกอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียร



ภาพที่ 2 ระบบสมองกลแบบฝังตัว

3.3 การทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาปริมาณสารเคมีเพื่อจะเติมเข้าสู่กระบวนการผลิต ให้ได้คุณภาพน้ำที่ได้มาตรฐาน และเพื่อลดการใช้สารส้ม

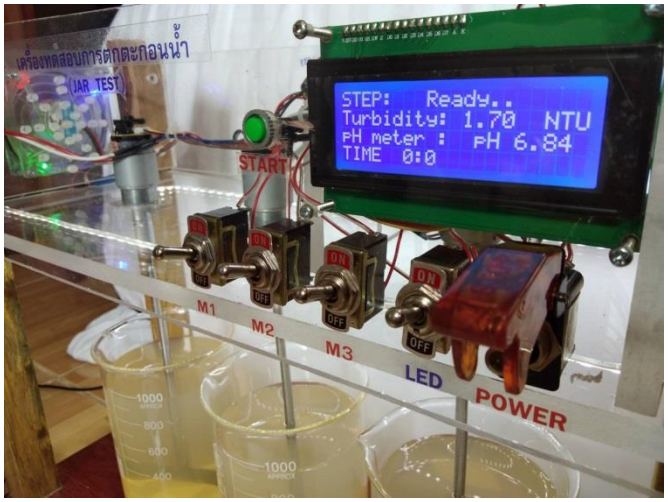


ภาพที่ 3 (ก) เครื่องทดสอบแบบเดิม ชนิด 6 ใบพัด (ข) เครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำที่ออกแบบ

3.4 ขั้นตอนการทำงาน

1) ตรวจวัดค่า pH ความขุ่น และของน้ำดิบแล้ว บันทึกผลลงใบแบบฟอร์มหาปริมาณสารส้มในการตวงน้ำดิบ 1 ลิตร ด้วยกระบอกตวงเทลงในบีกเกอร์ จำนวน 3 ใบ

2) วัดค่า pH,ความขุ่นของน้ำดิบ โดยการ จุ่ม PH Sensor Arduino Analog pH Meter ลงในบีกเกอร์ทั้ง 3 ใบ โดยจุ่มทีละใบ แล้วอ่านค่า pH พร้อมบันทึกค่า pH ลงในแบบฟอร์ม



ภาพที่ 4 วัดค่า pH น้ำดิบก่อนทำการทดสอบ

3) ทำการทดสอบการตกตะกอนปรับ pH น้ำดิบ เติมสารละลายสารส้ม ในปริมาณต่างๆ ลงในบีกเกอร์ทั้ง 3 ใบ กวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

ภาพที่ 5 เติมสารละลายสารส้ม 1%

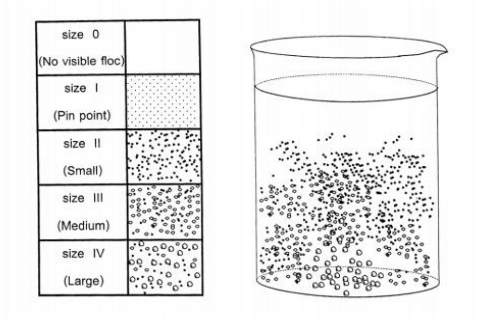
จากภาพ 5 เติมปริมาณสารละลาย สารส้ม 1% ปริมาณที่ต่างกันเลือกลงในบีกเกอร์ทั้ง 3 ใบ ที่ทำให้ pH น้ำดิบอยู่ในช่วง 6.80 – 7.40 หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมตวงน้ำดิบ 1 ลิตร ด้วยกระบอกตวง เทลงใน บีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร จำนวน 3 ใบ แล้ววางในทดสอบการตกตะกอน เริ่มกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 7.30 นาที

4) กวนต่อไปอีก ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 75 รอบต่อนาที นาน 7.30 นาที

5) กวนต่อไปอีก ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 50 รอบต่อนาที นาน 7.30 นาที

6) ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 25 รอบต่อนาที นาน 5 นาที

7) ขณะที่ทำการทดสอบน้ำให้สังเกตขนาดของตะกอนที่เกิดขึ้น (Flocculation Size) เมื่อสิ้นสุดช่วงการกวน โดยเปรียบเทียบขนาดการรวมตัวของตะกอน (Flocculation) และบันทึกขนาดของการรวมตัวกันของตะกอนลงในแบบฟอร์ม



ภาพที่ 6 การรวมตัวของตะกอนขนาดต่าง ๆ [5]

8) หยุดเครื่องทดสอบการตกตะกอนแล้ว ให้นำใบพัดออกจากบีกเกอร์ด้วยความระมัดระวังและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

9) ใช้สายยางดูดน้ำส่วนใส ของแต่ละบีกเกอร์ประมาณ 200 มล. ลงในบีกเกอร์อีกใบหนึ่ง เพื่อนำน้ำมาวัดค่า pH และความขุ่น เขียนกราฟระหว่างปริมาณสารส้มกับ ความขุ่นลงในแบบฟอร์ม เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเลือกปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม (Optimum Dose) คือ เลือกปริมาณสารเคมี ที่น้อยที่สุด ซึ่งทำให้การตกตะกอนได้ดีที่สุด หรือเลือกการเติมสารเคมีที่ทำให้ น้ำส่วนใสมีความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU และ/หรือ pH อยู่ในช่วง 6.50 - 8.50 เป็นต้น ในกรณีที่น้ำดิบมีค่า Mn > 0.1 มก./ล. ให้ตรวจวัดค่า Mn ในตัวอย่างที่เป็น Optimum Dose และบันทึกผลลงในแบบฟอร์ม นำผลจากการทำทดสอบคำนวณเพื่อหาอัตราจ่ายสารเคมี [6]

$$\text{อัตราการจ่ายสารเคมี} = \frac{\text{ผลของจาร์เทส } (\text{มก.}/\text{ล.}) \times \text{อัตราการจ่ายสารเคมี } (\text{มล.}/\text{วินาที})}{10 \times \text{ความเข้มข้นของสารเคมีที่เตรียม } (\text{เปอร์เซ็นต์ \%})}$$

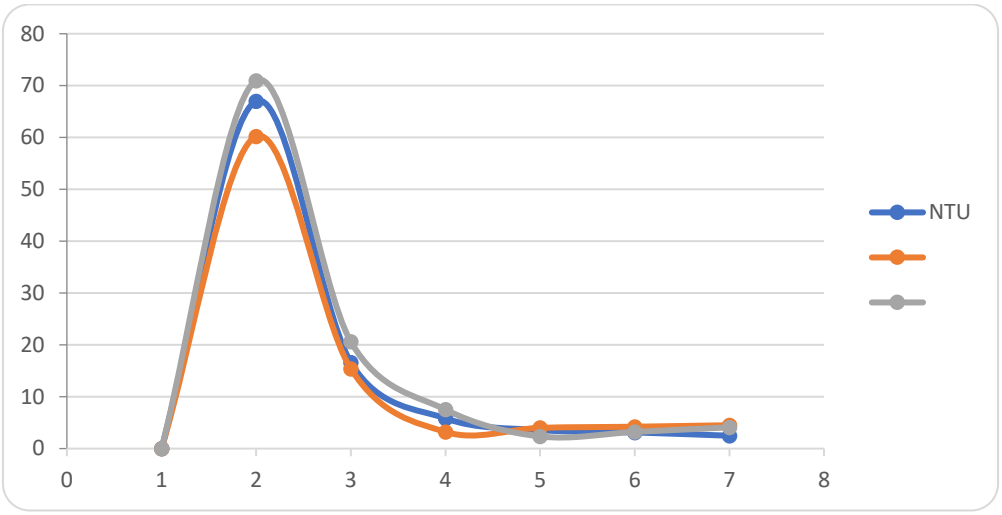
นำผลที่ได้จากการทดลอง ไปควบคุมการจ่ายสารเคมีโดยให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน +/- 5% แล้วทำการทดลองจาร์เทสซ้ำอีกครั้ง ในกรณีน้ำส่วนใสมีความขุ่นมากกว่า 5 NTU และ/หรือ pH ไม่อยู่ในช่วง 6.50 – 8.50 แล้วบันทึกผลที่ได้จากการทำจาร์เทสและการคำนวณลงในแบบฟอร์ม

4. ผลการวิจัย

เครื่องทดสอบการตกตะกอนด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัว ชนิด 3 ใบพัด มีผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานดังต่อไปนี้

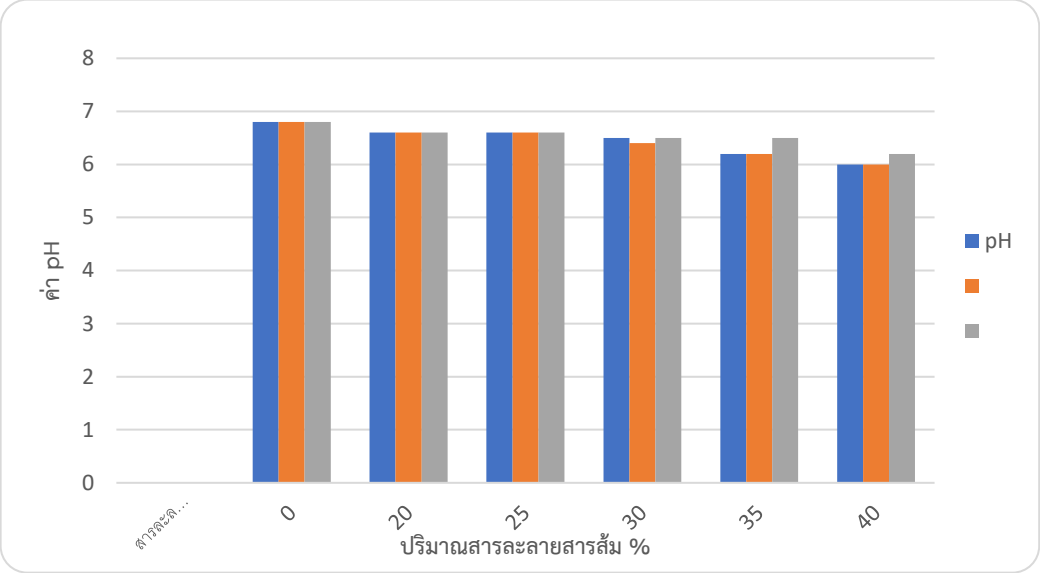
4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทดสอบการตกตะกอน

4.1.1 ผลการทดสอบการทำงานของระยะเวลาประมาณ 50 นาที ต่อรอบการทดสอบ โดยทดสอบเป็นจำนวน 3 ครั้ง



ภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารละลายสารส้มกับค่าความขุ่น (NTU)

จากภาพที่ 7 เมื่อเติมปริมาณสารละลายสารส้มที่ต่างกันจะทำให้ความขุ่นของน้ำมีความใสมากขึ้น แต่ถ้าเติมปริมาณสารละลายสารส้มมากเกินไปจะทำให้น้ำไม่ใส และไม่ผ่านมาตรฐานน้ำดื่มได้



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบระหว่างสารละลายสารส้มกับความเป็น กรด ด่าง

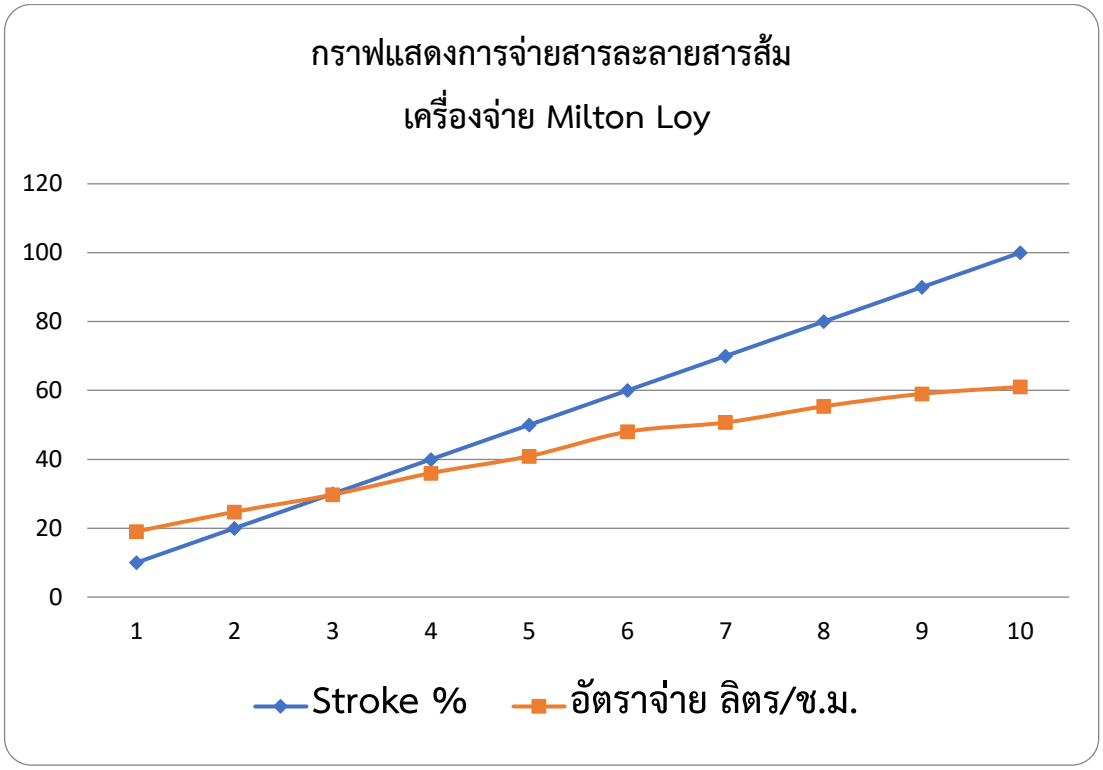
จากภาพที่ 8 จากค่า pH จากการทำการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมปริมาณสารละลายสารส้มมากขึ้น จะทำให้คุณภาพน้ำเป็นกรดมากขึ้น เกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม ให้ความเป็น กรด ด่าง pH ที่ 6.5 – 7.5

ตารางที่ 1 การจ่ายสารละลายสารส้ม ที่ปริมาณน้ำดิบ 60 ลบ.ม./ช.ม. สารส้ม 50 กิโลกรัม สถานีผลิตน้ำแม่ข่ายศรีสงคราม อ.ศรีสงคราม จ.นครพนม น้ำดิบ แม่น้ำสงคราม

Stroke %	อัตราจ่าย ลิตร/ช.ม.	ปริมาณเนื้อสารส้ม กรัม	ความเข้มข้นของสารละลาย %	เวลาที่จ่ายได้ ช.ม.
10	19.04	583.96	3.067	85.61
20	24.16	740.99	3.067	67.47
30	29.75	912.43	3.067	54.79
40	36.00	1104.12	3.067	45.28
50	40.91	1254.71	3.067	40.56
60	48.00	1472.16	3.067	33.96
70	50.70	1554.97	3.067	32.15
80	55.38	1698.50	3.067	29.43
90	59.01	1809.84	3.067	27.62

ตารางที่ 2 การจ่ายสารละลายสารส้ม ที่ปริมาณน้ำดิบ 60 ลบ.ม./ช.ม. สารส้ม 75 กิโลกรัม สถานีผลิตน้ำแม่ข่ายศรีสงคราม อ.ศรีสงคราม จ.นครพนม น้ำดิบ แม่น้ำสงคราม

Stroke %	อัตราจ่าย ลิตร/ช.ม.	ปริมาณเนื้อสารส้ม กรัม	ความเข้มข้นของสารละลาย %	เวลาที่จ่ายได้ ช.ม.
10	19.04	876.03	4.601	86.61
20	24.75	1111.80	4.601	67.47
30	29.75	1368.80	4.601	54.79
40	36.00	1656.36	4.601	45.23
50	40.91	1882.27	4.601	40.56
60	48.00	2208.48	4.601	33.56
70	50.70	2332.71	4.601	32.15
80	55.38	2548.03	4.601	29.43
90	59.01	2715.05	4.601	27.62
100	61.02	2807.53	4.601	26.71



ภาพที่ 11 อัตราการจ่ายสารส้ม ที่ปริมาณน้ำดิบ 60 ลบ.ม./ช.ม. สารส้ม 75 กิโลกรัม

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

เครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำด้วยระบบสมองกลแบบฝังตัวสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและสามารถตั้งการทกงานตามขั้นตอนการทดสอบการตกตะกอนของน้ำ โดยควบุมความเร็วรอบของใบพัดแบบอิสระ อีกทั้งมีระบบตัวตรวจวัดคุณภาพของน้ำ ช่วยให้หน่วยงานที่รับผิดชอบในการผลิตน้ำประปาลดการใช้บุคลากรและลดการผิดพลาดในการผลิตน้ำประปาได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] นฤชา ฤชุพันธุ์ (2534). **การก่อเม็ดตะกอนโดยสารส้ม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] พรรคพงษ์ ศรีประเสริฐ และ นันทณัฐ ศรีประเสริฐ. (2012). การกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม ผลิตเยื่อกระดาษโดยการสร้างและรวมตะกอน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 30(3).

[3] ธมลวรรณ ชูประจง. (2555). **การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปากลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นสารช่วยสร้างตะกอนและลดการใช้ปริมาณสารส้ม.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] Pivokonský, M., Novotná, K., Čermáková, L., and Petříček, R. (2022). **Jar Tests for Water Treatment Optimization: How to Perform Jar Tests–a handbook,** IWA Publishing.

[5] สกล ถุงทรัพย์. (2560). การทดลองจาร์เทสต์ (Jar Test). การประปาส่วนภูมิภาคสาขาวัฒนานคร : การประปาส่วนภูมิภาคเขต 1.