

ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา Chlorine Gas Depleted Alarm System for Water Supply Process

ปิยวดี ปลื้มฤดี* และ ผกามาศ ผจญแก้ว
Piyawadee Pluemrudee* and Pakamas Pachonklaew

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
9/9 หมู่ 9 ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 10120
*piyawadee222@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาที่เหมาะสมและสอดคล้องต่อความต้องการของผู้ใช้งาน และเลือกใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับสถานะการจ่ายแก๊สคลอรีน 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาที่พัฒนาขึ้น 3) เปรียบเทียบค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาก่อนและหลังการติดตั้งระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา การดำเนินการวิจัยได้ทำการออกแบบระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้ ESP8266 มาเป็นตัวประมวลผล ประเมินคุณสมบัติเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม และนำมาทดลองใช้โดยเก็บข้อมูลค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาก่อนและหลังการใช้งานเป็นระยะเวลา 4 เดือน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ T-test dependent จากนั้นมีการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผลการวิจัยพบว่า อินฟราเรดเซ็นเซอร์เหมาะสมในการตรวจจับสถานะการจ่ายแก๊สคลอรีนหมด ระบบฯ สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะคลอรีนหมดไปยังแอปพลิเคชันไลน์ได้อย่างถูกต้อง ค่าเฉลี่ยของค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาหลังติดตั้งระบบฯ เท่ากับ 1.2495 ppm (S.D. = 0.16811) ซึ่งมีค่าสูงกว่าและราบเรียบกว่าก่อนติดตั้งระบบฯ ที่มีค่าเท่ากับ 1.1258 ppm (S.D. = 0.23631) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ส่วนผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมด พบว่า ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.60) โดยพึงพอใจด้านความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน การสอดคล้องต่อความต้องการของผู้ปฏิบัติงาน ระบบช่วยลดภาระงานในการตรวจสอบปริมาณแก๊สคลอรีนให้กับผู้ปฏิบัติงาน และสามารถแก้ปัญหาแก๊สคลอรีนเหลวหมดได้ทันทีตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมด, ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา, กระบวนการผลิตน้ำประปา, อินฟราเรดเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ, แอปพลิเคชันไลน์

Abstract

The objectives of this research were 1) to develop a chlorine gas depleted alarm system for water supply process that meet the operators' need and selected the suitable sensor to detect the chlorine gas supply status, 2) to evaluate the effectiveness of the chlorine gas depleted alarm system for water supply process, 3) to compare the residual chlorine value in the tap water before and after installing the chlorine gas depleted alarm system for the tap water production process and 4) to assess the satisfaction of users of the chlorine gas alarm system for the water supply production process. The research was conducted by designing the chlorine gas depletion alarm system using ESP8266 as a processor and various types of sensor were evaluated their properties to be used in the system. The chlorine gas depleted alarm system was installed and sent the alert message of the depleted chlorine status through the Line application. The residual chlorine values in tap water were collected before and after use for four months. Data were analyzed by T-test dependent statistics. Then the satisfactory of operators who used the system was also

evaluated. The results found that infrared sensor was suitable for detect the depletion of chlorine gas and the chlorine gas depleted alarm system sent the alert message through Line application correctly. The average residual chlorine value in the tap water after installing the system was 1.2495 ppm. (SD = 0.16811) which were higher and smoother than before installing the system that was 1.1258 ppm (SD = 0.23631 with the significant level of 0.001. The operators' satisfaction assessment showed that they had the highest satisfaction on the system at the average of 4.60 points with the system safety for the user, its compliance with operator needs, workload reduction for monitoring chlorine gas and immediately solving the problem of chlorine gas depletion, respectively.

Keywords: Chlorine gas depletion alarm system, residual chlorine value in tap water, water production process, object detection infrared sensor, line application

1. บทนำ

การผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค โดยส่วนมากจะถูกออกแบบให้ใช้แหล่งน้ำผิวดินในการผลิต เพราะสามารถรองรับความต้องการใช้น้ำประปาของชุมชน เมืองที่มีปริมาณมากได้เรียกการผลิตน้ำประปาแบบ Conventional แต่น้ำผิวดินที่นำมาผลิตน้ำประปามักมีความขุ่นสูงและมีสารอินทรีย์ รวมไปถึงเชื้อโรคปนมาในน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เป็นไปตาม [1] มาตรฐานน้ำประปา คือ ค่าความขุ่นน้ำประปาจะต้องไม่เกิน 4 NTU ความเป็นกรด-ด่างต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 6.5 – 8.5 และค่าคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำประปาจะต้องไม่น้อยกว่า 0.2 ppm อ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา กปภ. พ.ศ. 2559 ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO 2011) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำประปาจะมีการควบคุมคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มั่นใจว่าประชาชนได้รับน้ำประปาสะอาดและปลอดภัย ปราศจากเชื้อโรคและแบคทีเรีย [2] การเติมคลอรีนลงในน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เติมคลอรีนลงในน้ำดิบ เพื่อหยุดการเจริญเติบโตของวัชพืชจำพวกสาหร่ายรวมถึงสิ่งมีชีวิตที่ปนมาในน้ำดิบ โดยปริมาณการเติมคลอรีนในน้ำดิบจะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบในช่วงต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ช่วงฤดูร้อนจะเป็นช่วงที่เกิดสาหร่ายมาก จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มการเติมคลอรีน เป็นต้น และเติมคลอรีนอีกครั้งเพื่อฆ่าเชื้อโรคหลังจากผ่านขั้นตอนการกรองหรือก่อนส่งจ่ายน้ำประปาให้แก่ประชาชน ทั้งนี้ ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาไม่ควรเกิน 2.0 ppm เพราะอาจทำให้รู้สึกถึงกลิ่นฉุนหรือส่งผลให้เกิดความระคายเคืองต่อผู้ใช้งาน และค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาจะต้องไม่น้อยกว่า 0.2 ppm เพื่อยังคงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา [3] กระบวนการผลิตน้ำประปา ของสถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิवास

ในสังกัดของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาปทุมธานีมีสารเคมีที่ใช้จำนวน 2 ชนิด ประกอบด้วย 1.สารพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly Aluminium Chloride) หรือสารแพคเป็นสารที่ทำให้เกิดการตกตะกอน ลักษณะของสารจะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน ก่อนนำไปใช้จำเป็นต้องผสมกับน้ำสะอาดตามอัตราส่วนที่เหมาะสมเสียก่อนจากนั้นเติมใส่ลงในน้ำดิบเพื่อให้ตะกอนขนาดเล็ก ๆ เกิดการรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ 2.แก๊สคลอรีน (Chlorine Gas) เป็นสารที่ใช้ฆ่าเชื้อโรค มีสถานะเป็นแก๊สบรรจุในถังขนาด 100 กิโลกรัม ควบคุมอัตราการจ่ายด้วยอุปกรณ์โรตาริเตอร์ ก่อนผสมกับน้ำสะอาดและเติมลงในน้ำดิบและน้ำประปา [4] และเพื่อให้มีการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องเติมคลอรีนด้วยความสม่ำเสมอ หากพบว่าแก๊สคลอรีนใกล้จะหมดถัง เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานประจำสถานีหรือเรียกว่าพนักงานผลิตน้ำจะต้องเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบโดยดูจากลูกกลอยของโรตาริเตอร์ด้วยสายตาเท่านั้น แต่หากมีระบบแจ้งเตือนเมื่อแก๊สคลอรีนหมดถัง ก็จะช่วยลดภาระงานในการตรวจสอบได้อย่างมาก เพราะพนักงานผลิตน้ำ นอกจากมีหน้าที่เตรียมสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้ว ยังจะต้องตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำตลอดกระบวนการผลิต เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน พร้อมกับต้องบำรุงรักษาเครื่องจักรในระบบผลิตให้สามารถใช้งานได้อย่างเป็นปกติ

การนำเทคโนโลยีการส่งสัญญาณมาใช้แจ้งเตือนในปัจจุบันมีมากมาย ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาหรือลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้อย่างทันทั่วทั้งที่ เช่น [5] ระบบแจ้งเตือนเหตุอัคคีภัยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้รับรู้เหตุการณ์ได้ทันที เช่นการแจ้งเตือนภัยทำให้เรารับรู้เหตุการณ์ได้อย่างทันที ก่อนที่ไฟจะลุกลามจนควบคุมไม่ได้ หรืออาจส่งผลต่อชีวิตและทรัพย์สิน

อินฟราเรดเซ็นเซอร์ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบสำหรับการตรวจจับวัตถุค่อนข้างมาก เพราะมีความแม่นยำ [6] แสงอินฟราเรด เป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับ เนื่องจากไม่มีปัญหาการรบกวนสัญญาณจากแสงอื่น เป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน และมีความน่าเชื่อถือของสัญญาณ

และการให้ระบบฯ มีการส่งข้อความแจ้งเตือนไปทางแอปพลิเคชันไลน์ เป็นการส่งสัญญาณเตือนผู้ปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี [7] เพราะในปัจจุบันมีการใช้งานแอปพลิเคชันไลน์กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้หากต้องการกำหนดการสนทนาหรือการแจ้งข่าวไปยังสมาชิกก็สามารถกำหนดกลุ่มเฉพาะขึ้นมาได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

2.3 เพื่อประเมินคุณภาพน้ำประปาก่อนส่งจ่ายให้แก่ประชาชน เปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

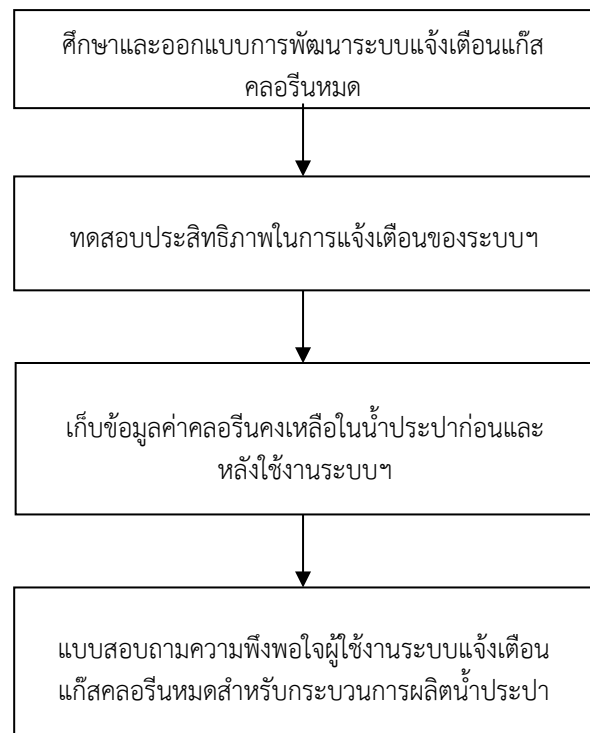
2.4 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

3. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา ภายในสถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิवास ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบฯ ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานจริง โดยสามารถส่งข้อความเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์อย่างถูกต้อง ทำการทดสอบใช้งานและเก็บข้อมูลค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาก่อนใช้และหลังใช้งานระบบฯ เป็นระยะเวลา 4 เดือน

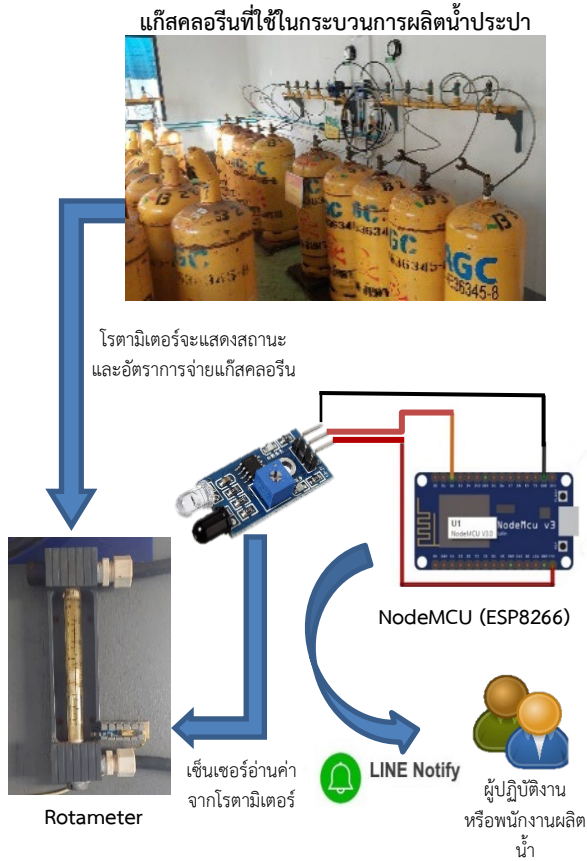
4. วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา ที่สถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิवास ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัย รวมไปถึงการรวบรวมข้อมูลแสดงในรูปที่ 1 ดังต่อไปนี้

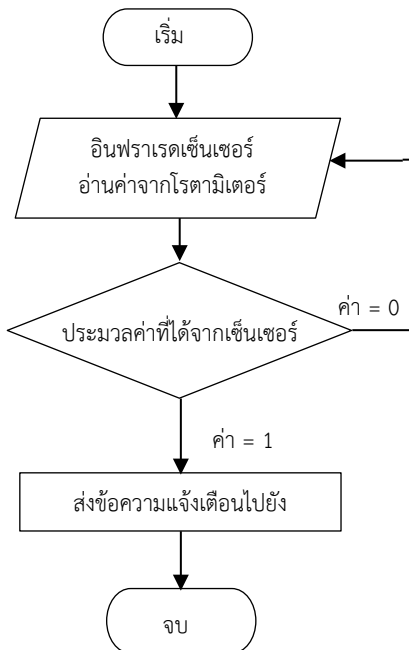


รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 การออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา (รูปที่ 2) ทำการศึกษาและเลือกใช้เซ็นเซอร์โดยประเมินจากความปลอดภัยของผู้ใช้งานระบบฯ ราคาของวัสดุ ค่าความแม่นยำของเซ็นเซอร์ และการนำประยุกต์ใช้งานที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ผู้วิจัยได้เลือกอินฟราเรดเซ็นเซอร์มาเป็นตัวตรวจจับสถานะลูกลอยภายในหลอดแก้วของโรตารีเตอร์ที่เป็นตัวปรับอัตราจ่ายสำหรับแก๊สคลอรีน แทนการตรวจสอบสถานะด้วยสายตาของพนักงานผลิต จากนั้นเขียนคำสั่งของระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดด้วยโปรแกรม Arduino IDE และใช้ NodMCU ESP-8266 เป็นตัวประมวลผล หากอินฟราเรดเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าลูกลอยของโรตารีเตอร์ตกลงถึงจุดต่ำสุดให้ทำการส่งสัญญาณดิจิตอลไปยังตัวประมวลผลว่าขณะนี้สถานะแก๊สคลอรีนภายในถึงหมด จากนั้นระบบทำการส่งการแจ้งเตือนด้วยข้อความไปที่แอปพลิเคชันไลน์ของผู้ปฏิบัติงานหรือพนักงานผลิตน้ำเพื่อบำบัดการแก้ไขที่ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือนแก๊ส
คลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิต
น้ำประปา



รูปที่ 3 การทำงานของระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมด
สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

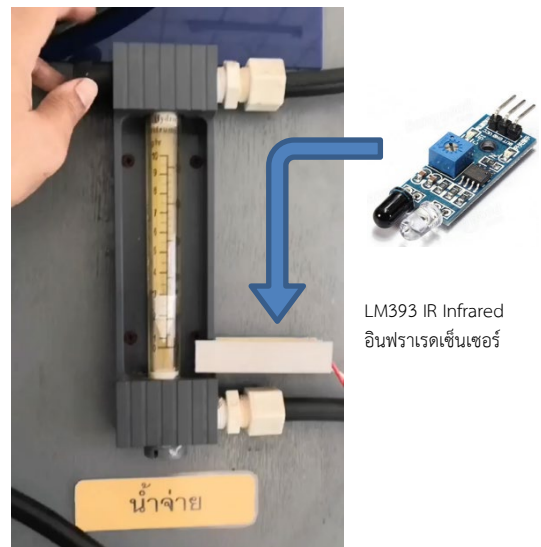
4.2 การประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์ระบบฯ เมื่อทำการออกแบบระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับการกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้วผู้วิจัยทำการเขียนคำสั่งระบบด้วย Arduino IDE ดังรูปที่ 4 และทำการอัปโหลดลงตัวประมวลผล ESP8266 เชื่อมต่ออินฟราเรดเซ็นเซอร์ LM393 IR เข้ากับตัวประมวลผล จากนั้นทำการติดตั้งอินฟราเรดเซ็นเซอร์กับอุปกรณ์โรตารีที่เป็นตัวสำหรับปรับจ่ายแก๊สคลอรีน ดังรูปที่ 5

```

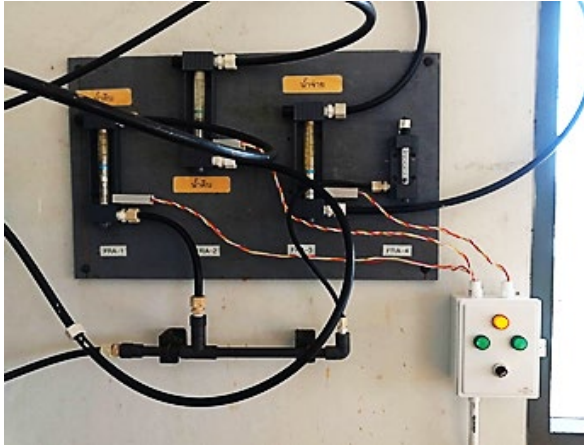
1 void Line_Notify(String message) ;
2
3 #include <ESP8266WiFi.h>
4 // Config connect WiFi
5 const char* ssid      = "FWAL23";
6 const char* password  = "99999999999";
7
8 // Line config
9 #define LINE_TOKEN     "S74RDETYfEa730QzPKllyqVApY8PHgnbU1zA9"
10 #define SW D1
11 #define SW D2
12 #define output D3
13 #define output D4
14 WiFiClient client;
15 String message = "%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B
16
17 void setup() {
18     pinMode(SW, INPUT_PULLUP );
19
20
21     Serial.begin(9600);
22     Serial.println("Starting...");
23
24

```

รูปที่ 4 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งของระบบ Arduino IDE



รูปที่ 5 อุปกรณ์โรตารีที่ติดตั้งอินฟราเรดเซ็นเซอร์



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการแจ้งเตือน ของระบบฯ หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา ดังรูปที่ 6 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบฯ โดยการปิด-เปิดจ่ายแก๊สคลอรีนแทนสถานะแก๊สคลอรีนหมดถึง เพื่อดูผลการทำงานของเซ็นเซอร์และตัวประมวลผลส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์

4.4 การเปรียบเทียบคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาก่อนและหลังใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยการนำข้อมูลคุณภาพน้ำประปาตามแบบฟอร์ม FM-PT-WQ-02 ซึ่งมีการเก็บข้อมูลวันละ 3 เวลา ดังรูปที่ 7 คือเวลา 8.00, 16.00 และ 22.00 น. โดยใช้ข้อมูลค่าคลอรีนคงเหลือในระบบผลิตน้ำประปาตามกรอบสีแดง ดังรูปที่ 8 จำนวน 372 ค่าระยะเวลาการเก็บข้อมูล 4 เดือน แบ่งเป็น ก่อนใช้งานระบบฯ 186 ค่าและหลังใช้งานระบบฯ 186 ค่า และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมาน (t-test dependent)

รายงานผลการปฏิบัติงาน สรุปคุณภาพน้ำ													
การประมวลผลทางสถิติรายวัน จังหวัดปทุมธานี													
วัน/ปี	เวลา	น้ำดิบ				โรงกรองน้ำ				น้ำประปา			
		ความขุ่น NTU	DO mg/l	Cond μs/cm	PH	ความขุ่น NTU	Res Chlor mg/l	ความขุ่น NTU	PH	ความขุ่น NTU	Res Chlor mg/l	สี (Pt-Co)	โคลิฟอร์ม 1 ครั้ง/วัน
	08.00 น.	24.2	2.97	301.87	7.18	7.21	2.22	1.14	0.71	7.25	1.52	1	ไม่พบ
	16.00 น.	23.8	3.19	389.25	7.20	7.23	2.63	1.09	0.77	7.26	1.46	1	
	22.00 น.	20.2	3.04	366.92	7.19	7.20	2.87	1.11	0.65	7.22	1.50	1	
มาตรฐาน		-	>4	-	5 - 9	6.5-8.5	<10	-	<4	6.5 - 8.5	0.6-2.5	<15	ไม่พบ

รูปที่ 7 แบบฟอร์ม FM-PT-WQ-02 สำหรับเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำประปาประจำวัน

น้ำประปา				
ความขุ่น NTU	PH	Res Chlor mg/l	สี (Pt-Co)	โคลิฟอร์ม 1 ครั้ง/วัน
0.71	7.25	1.52	1	ไม่พบ
0.77	7.26	1.46	1	
0.65	7.22	1.50	1	
<4	6.5 - 8.5	0.6-2.5	<15	ไม่พบ

รูปที่ 8 ค่าคลอรีนคงเหลือในระบบผลิตน้ำประปา

4.5 ประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยให้ผู้ใช้งานจริงที่สถานีผลิตน้ำตอบแบบสอบถาม หัวข้อในการสอบถามมี 3 หัวข้อ ได้แก่ 1) ความพึงพอใจด้านการออกแบบ 2) ความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพการใช้งาน และ 3) ด้านคุณภาพของระบบ และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากแบบสอบถาม

5. ผลการวิจัย

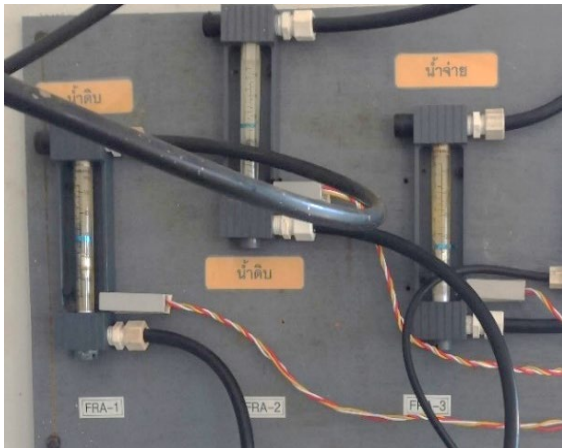
5.1 การออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยผู้วิจัยศึกษาเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบฯ ตามตารางที่ 1 โดยพบว่าอินฟราเรดเซ็นเซอร์มีความเหมาะสมในเรื่องของความปลอดภัยนำมาประยุกต์ใช้งาน หลักการทำงานไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำ และราคาเหมาะสำหรับการนำมาทดลองและพัฒนา

ตารางที่ 1 แสดงตารางเปรียบเทียบเซ็นเซอร์

Sensor	การเลือกเซ็นเซอร์			
	ความปลอดภัย	ราคา	ความแม่นยำ	การประยุกต์ใช้งาน
1. ฟลักซ์มิเตอร์เซ็นเซอร์	✓	✓	✗	✓
2. โพลดเซลล์	✓	✗	✓	✗
3. ตัวแปลงค่าแรงดัน	✗	✗	✓	✓
4. อินฟราเรดเซ็นเซอร์	✓	✓	✓	✓

ทำการทดสอบอินฟราเรดเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้กับระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา

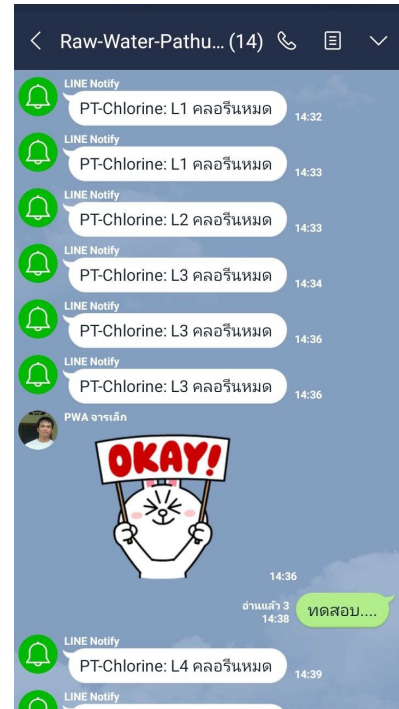
โดยการติดอินฟราเรดเซ็นเซอร์ ไว้บริเวณหลอดแก้วของอุปกรณ์โรตารีหรือตัววัดอัตราการจ่ายแก๊สคลอรีนของสถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิราช ณ อาคารโรงจ่ายสารเคมี ดังรูปที่ 9 จากนั้นทำการทดสอบใสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน พบว่าอินฟราเรดเซ็นเซอร์สามารถอ่านค่าของลูกกลอยโรตารีที่มีสีขาว ซึ่งได้แก่วัดอัตราการชุดที่ 1,3,4 และ 5 อินฟราเรดเซ็นเซอร์สามารถทำงานในสภาพแสงสว่าง เช่น แสงแดด หรือแสงสว่างจากไฟนีออนที่อยู่ภายในอาคารโรงจ่ายสารเคมี



รูปที่ 9 ติดอินฟราเรดเซ็นเซอร์ที่อุปกรณ์โรตารี

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบฯ

ทดสอบการทำงานของชุดคำสั่งที่ได้อัปโหลดลงในตัวประมวลผล ESP8266 โดยการปิดและเปิดจ่ายแก๊สคลอรีนแทนสถานะแก๊สคลอรีนหมดถึง จำนวน 10 ครั้ง สภาพแวดล้อมในการทดลอง: อุณหภูมิ 28 °C, แสงธรรมชาติ(แดดจ้า) พบว่าเมื่อลูกกลอยของโรตารีตกสู่กันหลอดแก้วแสดงถึงสถานะคลอรีนหมด อินฟราเรดเซ็นเซอร์ตรวจเจอสถานะแก๊สคลอรีนหมด ตัวประมวลผลรับค่าและส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ดังแสดงในรูปที่ 10 ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 2



รูปที่ 10 ข้อความแจ้งเตือนที่ส่งไปยังแอปพลิเคชันไลน์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์

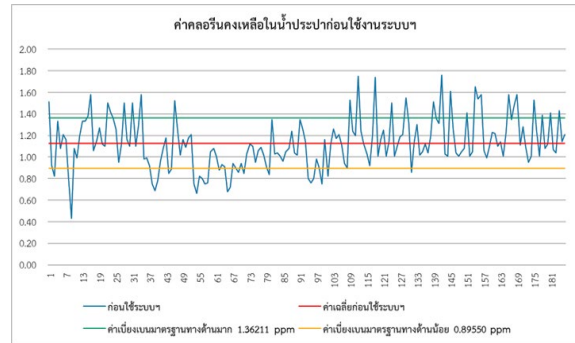
ทดสอบครั้งที่	Sensor 1 Line	sensor 3 Line	sensor 4 Line	sensor 5 Line
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓

5.3 การประเมินคุณภาพน้ำประปาเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมด การประเมินคุณภาพน้ำประปาเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา ตามตารางที่ 3 โดยนำข้อมูลค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาก่อนใช้งานระบบฯ ตามแบบฟอร์ม

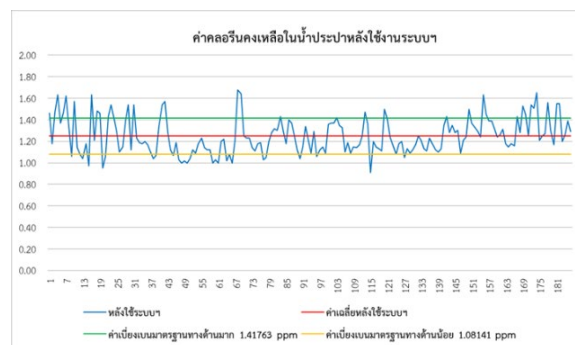
FM-PT-WQ-02 ของสถานีผลิตน้ำวัดชัย-สิทธิาวาส ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2562 – 1 พฤศจิกายน 2562 วันละ 3 ค่าจำนวนทั้งสิ้น 186 ค่า มาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนใช้งานระบบฯ เท่ากับ 1.1258 ppm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.23631 ppm ดังกราฟที่ 1 และนำข้อมูลค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาหลังใช้งานระบบฯ ตามแบบฟอร์มข้างต้น ตั้งแต่วันที่ 9 พฤศจิกายน 2562 – 9 มกราคม 2563 วันละ 3 ค่าจำนวนทั้งสิ้น 186 ค่า มาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปาหลังใช้งานระบบฯ เท่ากับ 1.2495 ppm และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.16811 ppm ดังกราฟที่ 2 และ จากนั้นเปรียบเทียบค่าโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (t-test dependent) ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 พบว่าค่าคลอรีนคงเหลือใน น้ำประปาหลังการใช้งานระบบฯ มีค่าราบเรียบ หรือมีเสถียรภาพสูงกว่าก่อนการใช้งานระบบฯ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 แต่ก็ยังมีปัจจัยด้านพฤติกรรมของพนักงานผลิตหลังจากระบบมีการแจ้งเตือนคลอรีนหมดรวมด้วย โดยพนักงานผลิตได้ทำการตรวจสอบและเปลี่ยนถังคลอรีนทันทีหลังจากได้รับข้อความแจ้งเตือนในแอปพลิเคชันไลน์

ตารางที่ 3 ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนและหลังใช้งานระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมด

รายการข้อมูล	ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา (ppm)			
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนใช้งาน	1.76	0.43	1.125	0.237
2. ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา หลังใช้งาน	1.68	0.91	1.250	0.168



กราฟที่ 1 ค่าคลอรีนคงเหลือก่อนใช้งานระบบฯ



กราฟที่ 2 ค่าคลอรีนคงเหลือก่อนใช้งานระบบฯ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนและหลังใช้งานระบบฯ

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	Data1	1.1258	186	0.23631	0.01733
	Data2	1.2495	186	0.16811	0.01233

ตารางที่ 5 ค่าความสัมพันธ์ของค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนและหลังใช้งานระบบฯ

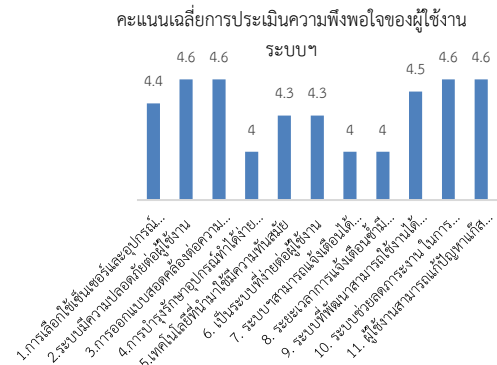
Paired Samples Correlation			
	N	Correlation	Sig.
Pair Data1 & data2	186	0.242	0.001

ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบฯ

ข้อความ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
1.การเลือกใช้เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ที่นำมาใช้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน	4.40	0.516	ดี
2.ระบบมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	4.60	0.516	ดี
3.การออกแบบสอดคล้องต่อความต้องการของผู้ใช้งาน	4.60	0.516	ดี
4.การบำรุงรักษาอุปกรณ์ทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน	4.00	0.516	ดี
5.เทคโนโลยีที่นำมาใช้มีความทันสมัย	4.30	0.483	ดี
6. เป็นระบบที่ง่ายต่อผู้ใช้งาน	4.30	0.483	ดี
7. ระบบสามารถแจ้งเตือนได้อย่างแม่นยำ	4.00	0.667	ดี
8. ระยะเวลาการแจ้งเตือนเข้ามีความเหมาะสม	4.00	0.667	ดี
9. ระบบที่พัฒนาสามารถใช้งานได้จริง	4.50	0.527	ดี
10. ระบบช่วยลดภาระงาน ในการตรวจสอบปริมาณแก๊สคลอรีนให้กับผู้ใช้งาน	4.60	0.516	ดี
11. ผู้ใช้งานสามารถแก้ปัญหาแก๊สคลอรีนทั้งหมดได้ทันที	4.60	0.516	ดี

5.4 การประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานระบบฯ ผู้วิจัยเลือกกลุ่มผู้ประเมินความความพึงพอใจด้วยวิธีการเลือกแบบจำเพาะเจาะจง โดยให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานประจำสถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิवास ในสังกัดการประปาส่วนภูมิภาคสาขาทุมาธานี หรือพนักงานผลิตน้ำ จำนวน 10 ท่าน เป็นผู้ประเมินระบบฯ ซึ่งแบบประเมินโดยมีทั้งหมด 11 ข้อ ตามตารางที่ 6 และข้อที่มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.60 คะแนน มีจำนวน 4 ข้อ ได้แก่ 1.ระบบมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน 2.การออกแบบสอดคล้องต่อความต้องการของผู้ใช้งาน 3.ระบบช่วยลดภาระงานในการตรวจสอบปริมาณแก๊สคลอรีนให้กับผู้ใช้งาน และ 4. ผู้ใช้งานสามารถแก้ปัญหาแก๊สคลอรีนทั้งหมดได้ทันที

พื้นที่สำหรับผลการวิเคราะห์คะแนนการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบฯ พบว่าภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 5 ข้อ คะแนนความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพในการใช้งานระบบฯ พบว่าภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 3 ข้อ และคะแนนความพึงพอใจด้านคุณภาพของระบบฯ พบว่าภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 3 ข้อ



กราฟที่ 3 กราฟแสดงคะแนนเฉลี่ยการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบฯเรียงลำดับตามคะแนน

6. อภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยการใช้อินฟราเรดเซ็นเซอร์ มาตรวจจับสถานะลูกลอยในอุปกรณ์โรตารีเมตรในกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิवास โดยมีการใช้งานโรตารีเมตรสำหรับจ่ายแก๊สคลอรีน จำนวน 5 ชุด พร้อมทั้งเชื่อมโยงการแจ้งเตือนด้วยข้อความส่งไปยังแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือของพนักงานผลิตให้ทราบสถานะแก๊สคลอรีนหมดถึง

การพัฒนาระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา ผู้วิจัยได้เลือกใช้อินฟราเรดเซ็นเซอร์ เนื่องจากมีความปลอดภัยในการใช้งาน นำมาประยุกต์ใช้งานง่าย ให้ความแม่นยำในการอ่านค่าจากการตรวจจับลูกลอยของโรตารีเมตร และราคาไม่สูง แต่อินฟราเรดเซ็นเซอร์ ไม่สามารถมาตรวจจับวัตถุที่เป็นสีดำได้ สังเกตได้จากไม่สามารถอ่านค่าจากลูกลอยโรตารีเมตรชุดที่ 2 ที่เป็นสีดำได้ เมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพอินฟราเรดเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับโรตารีเมตรชุดที่ 1,3,4 และ 5 ซึ่งลูกลอยภายในหลอดแก้วเป็นสีขาวสามารถอ่านค่าและส่งการแจ้งเตือนข้อความไปยังแอปพลิเคชันไลน์ได้

จากนั้นนำระบบฯ มาทดลองใช้โดยเปรียบเทียบค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนติดตั้งระบบฯ มีค่าเฉลี่ยที่ 1.125306 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.23631 ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนติดตั้งระบบฯ มีค่าเฉลี่ยที่ 1.24952 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.16811 ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา ก่อนและหลังการติดตั้งระบบฯ เติบโตเกินค่าคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา พบว่าค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา หลังการติดตั้งระบบฯ มีค่าราบเรียบหรือมีเสถียรภาพสูงกว่าก่อนการติดตั้งระบบฯ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 สำหรับความพึงพอใจของใช้งานระบบฯ หรือพนักงานผลิตที่ปฏิบัติงานที่สถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิราช การประปาส่วนภูมิภาค สาขาปทุมธานี ที่มีต่อระบบฯ เติบโตเกินค่าคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา นั้น พนักงานผลิตให้คะแนนมากที่สุด 4 หัวข้อ ได้แก่ 1) ระบบมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน 2) การออกแบบสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน ระบบช่วยลดภาระงาน 3) ในการตรวจสอบปริมาณแก๊สคลอรีนให้กับผู้ใช้งานสามารถแก้ปัญหาแก๊สคลอรีนหมด 4) ส่งผลให้คุณภาพน้ำประปาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยทั้ง 4 ข้อ มีค่าเฉลี่ยเท่ากันที่ 4.60 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.516

7. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1) ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นเพียงการเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าแก๊สคลอรีนหมดแล้ว หากมีการพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการแจ้งล่วงหน้าก่อนแก๊สคลอรีนหมดถึง เป็นระยะ ๆ เพื่อให้พนักงานสามารถเปลี่ยนถังได้ทันการก่อนหมดจริง อาจส่งผลต่อการปฏิบัติงานมากยิ่งขึ้น

2) ระบบแจ้งเตือนแก๊สคลอรีนหมดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา ทำขึ้นเพื่อลดการขาดช่วงการเติมคลอรีนลงในน้ำประปา เมื่อพนักงานผลิตได้รับข้อความแจ้งเตือน ควรไปเปลี่ยนถังคลอรีนใหม่ทันทีที่จะทำให้ค่าคลอรีนคงเหลือในน้ำประปามีความคงที่ ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนไปกับน้ำประปาอีกด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้จัดการการประปาส่วนภูมิภาค สาขาปทุมธานี หัวหน้างานผลิต และพนักงานผลิตที่สถานีผลิตน้ำวัดชัยสิทธิราช ที่ได้ให้ความกรุณาในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จนงานวิจัยนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนักศึกษา และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการวิจัยในครั้งนี้ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] การประปาส่วนภูมิภาค, 2562, **มาตรฐานน้ำประปา**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [https://www.pwa.co.th/download/pwastandard 50-1.pdf](https://www.pwa.co.th/download/pwastandard%2050-1.pdf), [15/01/2562].
- [2] ศูนย์ฝึกอบรมภูมิภาค 1 เชียงใหม่, 2562, **การฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://km-im.pwa.co.th/knowledge/water-distribution-process/>, [15/01/2562].
- [3] การประปาส่วนภูมิภาค, 2562, **คู่มือกระบวนการผลิตน้ำประปา ภาคทฤษฎี**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://pwa.co.th/ความรู้องค์กร>, [01/02/2564].
- [4] นวิภาพ พนมสันติ, ณัฐภูมิ สีดำ, และศราวุฒิ ใจตั้ง, 2561, **วิธีปฏิบัติงานการจ่ายแก๊สคลอรีน**, การประปาส่วนภูมิภาค สาขาปทุมธานี.
- [5] ยุธนา ดีเทียม และธรรบ อักษร, 2560, **ระบบแจ้งเตือนอัคคีภัยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่**, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- [6] พงษ์ศักดิ์ ขาญกระโทก, เอนก คุณขุนทด, เกรียงกมล มงคลเมือง และอดิสร พลเสนา, 2557, **เครื่องวัดความเร็วรอบด้วยอินฟราเรดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16F877**, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์.
- [7] ศักรินทร์ ต้นสุพงษ์, 2557, **ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับแอปพลิเคชันไลน์ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ**, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.