



โครงการคอมพิวเตอร์  
เรื่อง เครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนของคุณภาพของน้ำ  
เพื่อรักษาสภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

โดย

นายพศวัต อัสวสุคนธ์

นายเอ็มเมอริก สุภาสุทธิ์

นายจักรรินทร์ พรหมสี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา โครงการวิทยาศาสตร์  
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย  
ภาคเรียนที่ 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 256



โครงการคอมพิวเตอร์  
เรื่อง เครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนของคุณภาพของน้ำ  
เพื่อรักษาสภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

โดย

นายพศวัต อัสวสุคนธ์

นายเอ็มเมอริก สุภาสุทธิ์

นายจักรรินทร์ พรหมสี

ครูที่ปรึกษา

นาย นวมินทร์ วงศ์ไชย

ว่าที่ร้อยตรี สาธิต ธรรมขันทา

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา โครงการวิทยาศาสตร์

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย

ภาคเรียนที่ 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 256

## บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำเพื่อรักษาสภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยการทดสอบ 1) ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณภาพของน้ำ 2) ประสิทธิภาพของโปรแกรมในการวิเคราะห์และทำนายคุณภาพของน้ำ 3) ประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง โดยจะทดสอบด้วยวิธีการทางสถิติ และการนำไปใช้งานจริง ซึ่งจะมีวิธีดำเนินงาน 7 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 หาสาเหตุของปัญหาน้ำเสีย โดยการตรวจสอบคุณภาพน้ำในตำแหน่งต่างๆของแหล่งน้ำและสอบถามบุคคลที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องและวิธีการแก้ไข ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์และออกแบบการทำงานของเครื่อง ขั้นตอนที่ 4 เขียนโปรแกรมของปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้สำหรับการทำนายข้อมูล ขั้นตอนที่ 5 ประกอบตัวเครื่องและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ขั้นตอนที่ 6 เขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่อง ขั้นตอนที่ 7 ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของโปรแกรม

จากการศึกษาพบว่า 1) ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณภาพของน้ำนั้น สามารถนำไปใช้งานจริงได้ โดยในส่วนของเซ็นเซอร์วัดค่าต่างๆ สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำ การทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไม่พบปัญหาใดๆ เมื่อนำไปใช้งานจริง 2) ประสิทธิภาพของโปรแกรมในการวิเคราะห์และทำนายคุณภาพของน้ำ สามารถไปใช้ในทำนายอนาคตได้จริง โดยเมื่อเทียบกับข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อน พบว่าโปรแกรม มีความแม่นยำ 98.66% เมื่อความผิดพลาดข้อมูลอยู่ที่  $\pm 5\%$  และ 96.69% เมื่อความผิดพลาดข้อมูลอยู่ที่  $\pm 15\%$  และ เมื่อความผิดพลาดข้อมูลอยู่ที่  $\pm 25\%$  และ 98.21% เมื่อนำไปใช้งานจริง 3) ประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง สามารถแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องได้จริง โดยเครื่องสามารถส่งข้อความได้อย่างแม่นยำ โดยไม่มีความผิดพลาดใดๆ จึงสรุปได้ว่าเครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำสามารถนำไปใช้งานจริงได้

คำสำคัญ : ปัญญาประดิษฐ์ , บ่อบำบัดน้ำเสีย , จุลินทรีย์

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องนี้ประกอบด้วย การดำเนินการหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การศึกษาหาข้อมูล การทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง การจัดทำโครงการเป็นรูปเล่ม จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตลอดระยะเวลาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำ ในด้านต่างๆ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณทุกท่านทุกคนอย่างยิ่ง ณ โอกาสนี้ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ นาย นวมิตร วงศ์ไชย และ ว่าที่ร้อยตรี สาธิต ธรรมขันทา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ที่ให้คำแนะนำ คอยดูแลการทำงานต่างๆ และสละเวลาอันมีค่าในการช่วยให้คำปรึกษา ทั้งการทำโปสเตอร์ รูปเล่ม พร้อมทั้งเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ นาง นวลสวาท จอมใจ อาจารย์กลุ่มสาระภาษาอังกฤษ ผู้ที่ให้คำแนะนำในการทำโปสเตอร์และบทคัดย่อเป็นภาษาอังกฤษเพื่อที่จะเตรียมนำเสนอผลงาน

ขอขอบพระคุณ นาย สมคิด ทิพย์มูล เจ้าหน้าที่และผู้เชี่ยวชาญประจำบำบัดน้ำเสียของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย เชียงราย ผู้เป็นที่ปรึกษาและผู้สำรวจปัญหาระบบบำบัดน้ำเสียในโรงเรียน

ขอขอบพระคุณ นาย บุญชู คำยา กำนันประจำบ้านป่ายางมน ผู้ที่ให้คำปรึกษาการไหลเวียนของน้ำในชุมชนและเป็นผู้วางแผนการแก้ไขปัญหาน้ำเสียบริเวณพื้นที่ของชุมชนซึ่งตั้งอยู่รอบบริเวณโรงเรียน

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้ความสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจในการศึกษาโครงการตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของการศึกษา	2
สมมติฐาน	2
ตัวแปรที่ศึกษา	2
นิยามเชิงปฏิบัติการ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง	23
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	38

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แบบสัมภาษณ์กำนันหมู่ 2	19
ตารางที่ 3.2 แบบบันทึกข้อมูลน้ำที่ 1 จากทางเข้าของน้ำ สะพานก่อนถึงบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง บริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานหลังจากบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานก่อนเข้าสู่สระน้ำ และทางออกของน้ำ	20
ตารางที่ 3.3 แบบบันทึกข้อมูลน้ำที่ 2 จากทางเข้าของน้ำ สะพานก่อนถึงบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง บริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานหลังจากบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานก่อนเข้าสู่สระน้ำ และทางออกของน้ำ	20
ตารางที่ 3.4 แบบสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียน	20
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสัมภาษณ์กำนันหมู่ 2	23
ตารางที่ 4.2 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS) ที่วัดจากเซ็นเซอร์ทั้งหมด 5 ครั้ง ในบริเวณต่างๆของแหล่งน้ำ	24
ตารางที่ 4.3 ระดับคุณภาพน้ำและความบริสุทธิ์ของน้ำในบริเวณต่างๆที่เก็บข้อมูล	24
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียน	25
ตารางที่ 4.5 ความแม่นยำของโปรแกรมเมื่อข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ $\pm 15\%$ และ $\pm 25\%$	36

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 น้ำเสียในคลองชลประทาน	5
ภาพที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์	5
ภาพที่ 3 เครื่องเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์	6
ภาพที่ 4 การระบายส่วนเกินออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย	7
ภาพที่ 5 NodeMCU ESP 8266	8
ภาพที่ 6 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายนอกและความชื้นของอากาศ	6
ภาพที่ 7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	11
ภาพที่ 8 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด – ด่าง	13
ภาพที่ 9 เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	13
ภาพที่ 10 โปรแกรม Arduino IDE	14
ภาพที่ 11 โปรแกรม Google sheet	14
ภาพที่ 12 แอปพลิเคชันไลน์	15

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญ

น้ำในชุมชนส่งกลิ่นเหม็น มีคราบไขมันและมีตะกอนที่ละลายในน้ำมาก คณะผู้จัดทำจึงได้ไปหาสาเหตุที่ทำให้ให้น้ำเน่าเสีย โดยเริ่มจากหาทางเข้า-ออกของน้ำในชุมชน เมื่อไปสัมภาษณ์ นายบุญชู คำยา กำนัน หมู่ 2 พบว่า น้ำที่ไหลเข้ามาในชุมชนเป็นน้ำจากชุมชนอื่น และ ไหลออกไปยังเขื่อนแม่น้ำกก เมื่อทราบดังนั้นแล้ว คณะผู้จัดทำจึงไปตรวจสอบคุณภาพของน้ำในบริเวณต่างๆ ตั้งแต่ทางเข้าของน้ำ จนถึงทางออกของน้ำในชุมชน

จากการตรวจสอบพบว่า น้ำที่เข้ามาในชุมชน มีของแข็งที่ละลายในน้ำเฉลี่ย 134.4 ppm/L และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางที่เคลื่อนที่ แต่เมื่อถึงบริเวณจุดจุดหนึ่ง พบว่ามีของแข็งที่ละลายในน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 218.6 ppm/L ซึ่งเพิ่มขึ้นจากทางเข้าของน้ำถึง 84.2 ppm/L แต่เมื่อตรวจสอบบริเวณอื่น กลับไม่พบความผิดปกติเลย คณะผู้จัดทำจึงได้ไปศึกษาเพิ่มเติม แล้วพบว่าบริเวณนั้นเป็นบริเวณระบายน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน

จากการสัมภาษณ์ นายสมคิด ทิพย์มูล เจ้าหน้าที่ดูแลการบำบัดน้ำเสียของชุมชน สามารถสรุปได้ว่า ชุมชนใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน ซึ่งใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด บ่อบำบัดทั้งหมดจึงเป็นบ่อแบบเติมอากาศ โดยระบบบำบัดน้ำเสียจะประกอบด้วยห้าบ่อคือ บ่อแรกใช้สำหรับพักน้ำจากโรงครัวก่อนที่จะส่งน้ำไปยังบ่อที่สองซึ่งเป็นบ่อสำหรับเติมอากาศก่อนที่จะส่งไปยัง บ่อที่สามและบ่อที่สี่ โดยทั้งสองบ่อจะได้รับจุลินทรีย์จากบ่อที่สอง ซึ่งจุลินทรีย์จะทำให้เศษอาหารในน้ำตกตะกอนลงด้านใต้ของบ่อ แล้วจึงนำน้ำที่เหลือเข้าสู่กระบวนการเติมอีกเรื่อยๆ จนได้น้ำใสที่สามารถปล่อยสู่ธรรมชาติได้ แต่ปัญหาที่พบในตอนนี้คือจุลินทรีย์ในบ่อที่สองมีจำนวนน้อยเกินไป จึงทำให้บ่อที่สามและบ่อที่สี่มีจุลินทรีย์มีไม่เพียงพอ ทำให้การบำบัดน้ำเสียไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ผู้รับผิดชอบต้องหมั่นมาเติมจุลินทรีย์บ่อยๆ โดยไม่ทราบเลยว่าสภาพแวดล้อมหรือปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการตกตะกอนเป็นอย่างไร ทำให้น้ำปล่อยสู่ธรรมชาติบางครั้งยังเป็นน้ำที่มีเศษอาหารอยู่

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบวิเคราะห์และแจ้งเตือนในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะเก็บข้อมูลในบ่อที่สองซึ่งจะใช้เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรดด่างของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของอากาศ และ แก๊สในอากาศ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ว่าสภาพแวดล้อมส่งผลต่อจุลินทรีย์อย่างไร เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์หรือไม่ โดยจะแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk และ Line เพื่อที่เจ้าหน้าที่จะสามารถเตรียมตัวได้ทัน ก่อนที่จุลินทรีย์ในบ่อบำบัดจะไม่เพียงพอ ซึ่งจะส่งผลให้แหล่งน้ำในชุมชนสะอาดยิ่งขึ้น



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดปริมาณของคราบไขมันและตะกอนที่ละลายในน้ำ
2. เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์และแจ้งเตือนข้อมูลคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบวิเคราะห์และแจ้งเตือนข้อมูลคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย
5. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

## ขอบเขตการศึกษา

ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการย่อยสลายอาหารของจุลินทรีย์ที่เรานำมาศึกษา ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรดเบส

## สมมติฐาน

ระบบวิเคราะห์และแจ้งเตือนข้อมูลคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียให้กับผู้ดูแลได้ ก่อนที่จุลินทรีย์จะน้อยเกินไป

## ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น ฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลข้อมูลของระบบวิเคราะห์และแจ้งเตือนข้อมูลคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อแสดงข้อมูลให้แก่ผู้ดูแล

ตัวแปรตาม ปริมาณของคราบไขมันและตะกอนที่ละลายในน้ำ

ตัวแปรควบคุม ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล อุปกรณ์ในการตรวจสอบ

## นิยามศัพท์เฉพาะ

ชุมชน คือ ชุมชนภายในบริเวณโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัยเชียงราย

จุลินทรีย์ คือ จุลินทรีย์ที่ใช้อยู่ในเศษอาหารอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียระบบเลี้ยงตะกอน

บ่อเติมอากาศ คือ บ่อที่เติมแก๊สออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียระบบเลี้ยงตะกอน

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพัฒนาระบบแจ้งเตือนและตรวจสอบคุณภาพของน้ำเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### หลักการทำงานหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### ผลกระทบจากน้ำเสีย

น้ำเป็นแหล่งกำเนิดของสัตว์น้ำและพืชหลากหลายชนิด นอกจากนั้นน้ำยังมีประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม มีประโยชน์สำหรับครัวเรือน ในการดื่มกิน ใช้ประกอบอาหาร หรือใช้ชำระล้างร่างกายและสิ่งสกปรกต่างๆ และน้ำยังทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์แก่สิ่งมีชีวิต

คุณสมบัติของน้ำที่เป็นประโยชน์สำหรับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตมากที่สุดก็คือ น้ำบริสุทธิ์ สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสารพิษเจือปน แต่เมื่อน้ำมีการเจือปนของน้ำเสียที่มาแหล่งบำบัดน้ำเสียและอุตสาหกรรมต่างๆ ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นมีดังนี้

- กระทบต่อวงจรชีวิตของสัตว์น้ำ เช่น น้ำเสียที่เกิดจากสารพิษอาจทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตตายทันที ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง อาจทำลายพืชและสัตว์น้ำเล็กๆ ที่เป็นอาหารของปลา ทำให้ความอุดมสมบูรณ์หรือแหล่งอาหารของสัตว์น้ำลดลง
- เป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อโรค เช่น อหิวาตกโรค บิด และท้องเสีย
- มีผลกระทบต่อการเพาะปลูก เพราะน้ำเสียที่มีความเป็นกรดและด่างไม่เหมาะสำหรับทำการเกษตร
- มีผลต่อกระทบต่อทัศนียภาพ เพราะความสวยงามของแหล่งน้ำสามารถใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือจัดกิจกรรมทางน้ำเพื่อความบันเทิงได้
- ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ เช่น มีกลิ่นเหม็นจากน้ำเน่าเสีย



ภาพที่ 1 น้ำเสียในคลองชลประทาน

## ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์หรือระบบเลี้ยงตะกอน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ หรือระบบเลี้ยงตะกอน (AS) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยสิ่งมีชีวิตได้แก่ พวกจุลินทรีย์ในการกิน ทำลาย ย่อยสลายดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมลสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีแบบใช้ออกซิเจนเรียกว่า AEROBIC TREATMENT เกิดเป็นปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้

มลสารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ - - - - > จุลินทรีย์ตัวใหม่ + คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + พลังงาน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์หรือระบบเลี้ยงตะกอน ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักที่สำคัญ คือ ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน



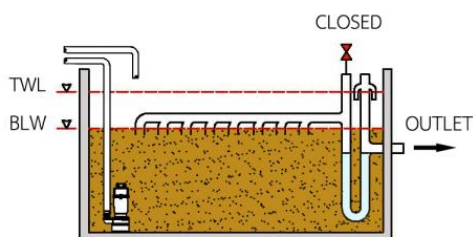
ภาพที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์

## 2.1 ถังเติมอากาศ (Aeration tank)

ถังเติมอากาศเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการเลี้ยงตะกอน โดยเป็นตัวควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้บำบัดน้ำเสีย ซึ่งมลสารส่วนใหญ่จะถูกบำบัดในถังนี้ น้ำเสียจะถูกส่งมาเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีตะกอนจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก ภายในถังจะมีสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน เช่น มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ อาหาร ฯลฯ ในปริมาณที่พอเหมาะ ตะกอนจุลินทรีย์จะทำการลดค่ามลสารอินทรีย์ในรูปต่างๆ ด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น

### 2.1.1 การเปิดเครื่องเติมอากาศ

เนื่องจากออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งสำหรับแบคทีเรียที่ใช้ในการกำจัดความสกปรกในน้ำเสีย ซึ่งจะต้องเปิดใช้งานตลอดเวลา 24 ชั่วโมง แต่ก็ให้มีการปิดเครื่องเติมอากาศได้บ้างเพื่อเป็นการพักเครื่อง แต่ควรสลับกันปิด ไม่ควรปิดพร้อมกันทีเดียวทั้งหมด และในกรณีที่ไม่มีการผลิตก็ให้เปิดเครื่องเติมอากาศเพียงบางส่วนได้



ภาพที่ 3 เครื่องเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์

## 2.2 ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)

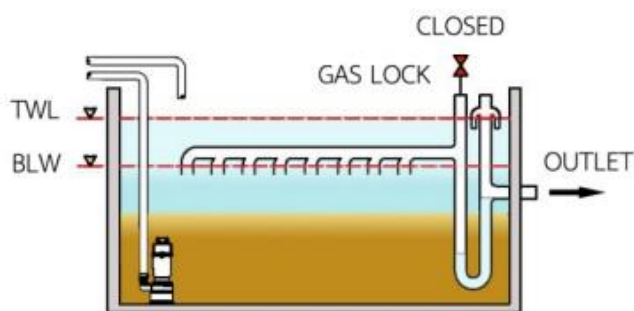
น้ำเสีย หรือน้ำตะกอน (MLSS) จากถังเติมอากาศจะถูกส่งต่อมายังถังตกตะกอน ซึ่งมักจะเรียกว่า ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้ว โดยถังตกตะกอนนี้จะต้องมีความเร็วในการไหลของน้ำต่ำ จนกระทั่งตะกอนจุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้เองตามแรงดึงดูดของโลก ตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งรวมตัวเป็นก้อนสามารถตกตะกอนได้นั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น อัตราส่วนของปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ อาหารเสริม (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก) ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น ดังที่กล่าวมาข้างแล้วจากถังเติมอากาศ

### 2.2.1 การหมุนเวียนตะกอนกลับ

บ่อเติมอากาศจะต้องมีปริมาณเซลล์จุลินทรีย์มากเพียงพอ จึงจะสามารถกำจัดความสกปรกในน้ำเสียได้ทัน ต้องมีการสูบตะกอนที่ระบายจากกันถังตกตะกอนกลับมาเติมอากาศใหม่ เพื่อให้มีปริมาณแบคทีเรียอยู่ในระบบได้มากเพียงพอที่กำจัดความสกปรกในน้ำเสียได้

### 2.2.2 การระบายตะกอนส่วนเกินออกจากระบบ

เมื่อระบบบำบัดน้ำเสียถูกใช้งานไประยะหนึ่ง ปริมาณเซลล์ในถังเติมอากาศจะสะสมขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นข้อดีในแง่ ทำให้มีปริมาณแบคทีเรียที่จะกำจัดความสกปรกในน้ำเสียได้มากอย่างไรก็ตามเมื่อถึงจุดหนึ่งซึ่งปริมาณเซลล์จะมีมากจนกระทั่งมีปัญหาไม่สามารถตกตะกอนแยกน้ำใสได้ทันเมื่อถึงจุดนี้จำเป็นต้องระบายตะกอนออกจากระบบโดยใช้เครื่องสูบตะกอนกลับ สูบตะกอนไปยังลานตากตะกอน



ภาพที่ 4 การระบายส่วนเกินออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

## ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

อัตราการเจริญหรือการทวีจำนวนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดในอาหารจะเพิ่มขึ้น หรือลดลง ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยหลายประการเช่น ความชื้น อุณหภูมิรังสี สาร สภาพกรด-เบส เป็นต้น

### 3.1 ความชื้น

ความชื้นหรือน้ำจำเป็นอย่างยิ่งต่อปฏิกิริยาชีวเคมีทั้งการสังเคราะห์และการทำลายสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ บริเวณที่มีน้ำปนอยู่มากจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดีกว่ามีน้ำปนอยู่น้อย จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความ

ต้องการน้ำแตกต่างกัน แบคทีเรียส่วนใหญ่ต้องการน้ำในการเจริญมากกว่ายีสต์และยีสต์ก็ต้องการน้ำในการเจริญมากกว่ารา ซึ่งต้องการน้ำค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่น้ำในอาหารจะอยู่ในสภาพของสารละลาย ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลาย หรือปริมาณของตัวถูกละลาย จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยสารละลายที่เข้มข้นมากจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้มากกว่าสารละลายเจือจาง ชนิดของตัวถูกละลาย ก็มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย เช่น การใช้โซเดียมคลอไรด์จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ก็กว่าใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น

### 3.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญมากต่อการเจริญและการปรับตัวของจุลินทรีย์ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ สำหรับจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในคน สัตว์ หรือพืช เช่น *Salmonella typhosa*, *Streptococcus pneumonia*, *E.coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Shigella dysenteriae*, *Staphylococcus aureus* จะเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์อื่นบางชนิดเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 0 หรือ 0 - 25 องศาเซลเซียส บางชนิดเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 40-55 องศาเซลเซียส ถ้าหากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้จุลินทรีย์ และ ถ้าไม่เหมาะสมจุลินทรีย์อาจตายได้

### 3.3 รังสี

รังสีเป็นพลังงานที่สามารถถ่ายทอดผ่านจากที่หนึ่ง ยังอีกที่หนึ่ง และมีอำนาจทะลุผ่านสิ่งต่างๆ ได้ แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี และความเข้มของรังสี จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ได้รับผลกระทบหรือถูกทำลายได้ด้วยรังสี คือ แบคทีเรีย เช่น รังสีเอกซ์ (X-ray) รังสีแกมมา (Gamma Ray) เมื่อฉายรังสีกลุ่มนี้ทะลุผ่านเซลล์ จะทำให้สารต่างๆ ที่ อยู่ในสภาพไอออน (Ion) ในเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง และเซลล์ถูกทำลาย ในงานอุตสาหกรรม อาหารที่ส่งออกไปขายต่างประเทศบางชนิด นิยมใช้รังสีแกมมาในการทำลายจุลินทรีย์ รังสีอีกชนิด

หนึ่งที่มีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ คือ รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เป็นรังสีที่พบได้ใน แสงแดด รังสีนี้ความถี่สูงกว่าแสงสีม่วงน้ำเงิน สามารถทำลายแบคทีเรียได้ จึงมีการประดิษฐ์หลอดรังสี อัลตราไวโอเลตเพื่อใช้ทำลายแบคทีเรีย ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในวงการแพทย์ใช้ทำลายแบคทีเรียในห้อง ผ่าตัดและอุปกรณ์แพทย์

### 3.4 สารอาหาร

สารอาหารจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญและการเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ แต่จะต้องมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในอาหารเหล่านั้น ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) ฟอสฟอรัส (P) และกรดอะมิโนกับเบสกลุ่มพิวรีน (Purine) และไพริมิดีน (Pyrimidine) ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างเซลล์ใหม่ ซ่อมแซมเซลล์ที่สึกหรอ สังเคราะห์สารพันธุกรรมส่วนที่เหลือเป็นสื่อสารอื่น ๆ อีกเล็กน้อย

### 3.5 สภาพกรด-เบส หรือค่าพีเอช (pH)

สภาพกรด-เบสซึ่งระบุได้ด้วยค่า pH ในอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันและมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ราว ส่วนมากจะเจริญได้ในช่วงที่มีค่า pH กว้างกว่ายีสต์และแบคทีเรียหลายชนิดเจริญได้ดีในสภาพที่มีค่า pH ค่อนข้างต่ำหรือเป็นกรดสูง ซึ่งยีสต์และแบคทีเรียจะไม่เจริญ ยีสต์ที่นิยมใช้ในการหมักส่วนมากเจริญได้ดีในที่ที่มีค่า pH 4 - 4.5 แต่จะไม่เจริญในสภาพที่เป็นเบสหรือค่า pH สูง และแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในสภาพที่ใกล้เคียงกลางหรือเป็นกลาง แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดจะเจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรด ส่วนแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ สำหรับย่อยโปรตีนได้ จะเจริญได้ดีในช่วงที่มีค่า pH สูงหรือมีสภาพเป็นเบส

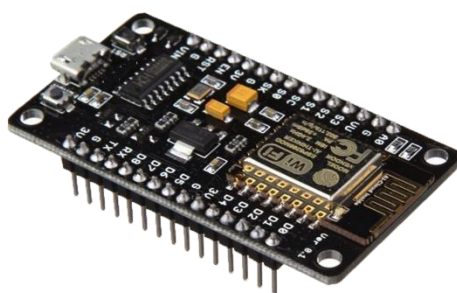
สภาพกรด-เบสในอาหารยังมีผลต่อการอยู่รอดของจุลินทรีย์ต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน การทำแห้ง ฯลฯ ถ้าค่า pH ต่ำเกินไปเก็บรักษาหรือถนอมอาหารเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดจะแข่งขันกันเพื่อให้อยู่รอด อัตราการเจริญของจุลินทรีย์จะช้าลง หรือถ้ามี ค่า pH ไม่เหมาะสมต่อการเจริญ จุลินทรีย์บางชนิดอาจเจริญได้ แล้วอาจทำให้ค่า pH ในอาหารเปลี่ยนไปและเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อื่นๆ ได้

### 3.6 ปริมาณก๊าซ

ก๊าซที่มีความสำคัญต่อการเจริญและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ที่เหลือเป็นก๊าซอื่นอีกเล็กน้อย จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการ ชนิดและปริมาณของก๊าซแตกต่างกัน เช่น แบคทีเรียสกุล *Rhizobium* ที่อาศัยอยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว กับ *Azotobacter* ที่ดำรงชีพแบบอิสระในดิน จะตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้สร้างอาหารได้ จุลินทรีย์บางชนิดใช้คาร์บอนไดออกไซด์สร้างอาหารโดยการสังเคราะห์ด้วยแสง บางชนิดต้องการออกซิเจนจากอากาศเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจภายในเซลล์ เช่น *Clostridium perfringens* ที่พบในขนมหวาน ขนมไส้ครีม ฯลฯ และ

*Staphylococcus aureus* พบในเนื้อสัตว์แช่เย็น เนยแข็ง มันฝรั่ง ฯลฯ ทั้งสองชนิดนี้ทำให้อาหารเป็นพิษ ซึ่งจะมีอาการ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องร่วง แต่บางชนิดไม่ ต้องการออกซิเจนเพราะสามารถสลายสารที่มีออกซิเจนเป็น องค์ประกอบทางเคมีให้เป็นออกซิเจนได้ เช่น *Clostridium botulinum* ที่สร้างสารพิษชื่อ โบทูลิน (Botulin) ซึ่งเป็นพิษ ต่อระบบประสาท มักพบในอาหารกระป๋องที่หมดอายุ เป็นต้น

## NodeMCU ESP 8266



ภาพที่ 5 NodeMCU ESP 8266

บอร์ดคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะการทำงานตามคำสั่งภาษา C คล้าย บอร์ด Arduino แต่มีลักษณะที่พิเศษกว่าตรงที่ สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ โดยการเขียนโปรแกรมสามารถใช้ Arduino IDE ได้เช่นเดียวกันกับ บอร์ด Arduino

ตัวบอร์ดของ ประกอบไปด้วย ESP8266 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ WiFi ได้พร้อมอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น พอร์ต micro USB สำหรับจ่ายไฟ/อัปโหลดโปรแกรม, ชิพ สำหรับอัปโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB, ชิพแปลงแรงดันไฟฟ้า และขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก



## DHT22 Digital Humidity and Temperature Sensor

เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิแบบดิจิทัล มีความสามารถในการตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ โดย ตัวเซ็นเซอร์ไม่กินน้ำ ซึ่งสามารถให้ค่าวัดค่าได้ 3 แบบคือ

1. Humidity (ความชื้นสัมบูรณ์) โดยค่าที่ได้เป็นความชื้นสัมบูรณ์ ตั้งแต่ความชื้น 0 ถึง 100 %RH  
แม่นยำ +/- 2 ถึง 5 %RH

2. Temperature (อุณหภูมิ) สามารถวัดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 °C

3. Heat index (ดัชนีความร้อน) เป็นดัชนีการวัดค่าความร้อนที่แท้จริงที่เราสัมผัสเนื่องมาจากผลของความชื้น ในสภาวะความอุณหภูมิสูงและความชื้นในอากาศสูงร่างกายของคนเราจะรู้สึกร้อนกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ โดยใช้เวลาในการวัด 2 วิ ต่อ 1 รอบ



ภาพที่ 6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายนอกและความชื้นของอากาศ

## Sensor DS18B20

เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ ตั้งแต่ -55 °C ถึง 125 °C ด้วยความแม่นยำ +/-5% สามารถนำเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน IoT ต่างๆ หรือนงานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดอุณหภูมิได้ คล้ายๆ กับ DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Sensor

ตัวเซนเซอร์จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบไอซี และรูปแบบหัวเซ็นเซอร์แบบกันน้ำ ทำให้สามารถใช้วัดอุณหภูมิในของเหลวได้ การใช้งานจะใช้ขา DQ เพียงขาเดียวในการรับ/ส่งข้อมูล ซึ่งเวลาใช้งานต้องต่อตัวต้านทาน



ภาพที่ 7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

$4.7k\Omega$  ไว้ที่ขา DQ กับ VCC โดยการวัดอุณหภูมิจะใช้หลักการ the conversion of A-to-D และผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ขนาด 2 ไบต์

### pH Sensor arduino Analog pH Meter

เซ็นเซอร์ วัดความเป็น กรด-เบส ของสารละลาย โดยสามารถวัดได้ในช่วง 0 ถึง 14pH ส่งข้อมูลเป็นแบบ Analog ใช้ไฟเลี้ยง 5V การใช้งานสามารถจุ่มเซ็นเซอร์แช่น้ำได้ตลอดเวลา

หัววัดค่า pH เป็นแบบแก้ว ซึ่งประกอบด้วยอิเล็กโทรดสองขั้วอิเล็กโทรดเซ็นเซอร์และอิเล็กโทรดอ้างอิง อิเล็กโทรดเหล่านี้อยู่ในรูปของหลอดแก้วซึ่งประกอบด้วยบัฟเฟอร์ pH 7 และอีกส่วนหนึ่งมีสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์อิ่มตัว หลอดอิเล็กโทรดของเซ็นเซอร์ประกอบด้วยเมมเบรนที่สามารถซึมผ่านได้ ซึ่งเคลือบด้วยซิลิกาและเกลือของโลหะ ลวดเงินเคลือบซิลเวอร์คลอไรด์จะถูกเชื่อมต่อในบัฟเฟอร์ pH 7 ในกระเปาะลวดเงินอีกเส้นหนึ่ง ที่เคลือบซิลเวอร์คลอไรด์จุ่มลงในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์อิ่มตัวในอิเล็กโทรดอ้างอิง เมื่อวางเซ็นเซอร์ลงในสารละลาย เพื่อวัดค่า pH ไฮโดรเจนไอออนจะสะสมอยู่รอบ ๆ หลอดไฟและแทนที่ไอออนโลหะจากหลอดไฟการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ที่ลวดเงินจับไว้แรงดันไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้านี้วัดโดยเครื่องวัดค่า pH โดยจะถูกแปลงเป็นข้อมูล



ภาพที่ 8 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด - ด่าง

### Analog Dissolved Oxygen Sensor

เซนเซอร์สามารถวัดค่า DO ในช่วง 0 ถึง 20mg/L สามารถวัดได้ในช่วงความดัน 0 ถึง 50PSI โดยจะต้องเปลี่ยนฝาเมมเบรน ใน 1 ถึง 2 เดือน ในน้ำโคลน และ 4 ถึง 5 เดือน ในน้ำสะอาด และเติมสารละลายยเคืออนละครั้ง

เซนเซอร์จะสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาที่เมมเบรน เมื่อ O<sub>2</sub> กระจายไปทั่วบริเวณเมมเบรนของเซนเซอร์ เมมเบรนจะให้ O<sub>2</sub> ทะลุผ่านได้ โดยป้องกันไม่ให้สิ่งอื่นผ่านเข้ามา เมื่อ O<sub>2</sub> ผ่านเมมเบรน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะไปยังอิเล็กโทรด ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับแคโทด (อิเล็กโทรดแพลตตินัม) ทำให้ได้รับอิเล็กตรอน ซึ่งก็คืออิเล็กตรอน ที่มอบให้กับโมเลกุล O<sub>2</sub> ที่สร้างแรงดันไฟฟ้าระหว่างแอโนด (อิเล็กโทรดซิลเวอร์คลอไรด์) และแคโทดภายใน เซนเซอร์ เมื่อเซนเซอร์ ตรวจพบกระแสไฟฟ้า มิเตอร์ที่ต่ออยู่สามารถแปลงค่าที่อ่านได้เป็นความเข้มข้นของ DO



ภาพที่ 9 เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

## Arduino IDE

โปรแกรม Arduino IDE เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมและสามารถทำการแปลงไฟล์ดังกล่าวเพื่อนำไปอัปโหลดลงยังบอร์ดต่างๆ โดยเราสามารถที่จะเลือกใช้โปรแกรมแบบ online IDE หรือ desktop IDE ในการเขียนโค้ด



ภาพที่ 10 โปรแกรม Arduino IDE

## Google sheet

เป็นแอปพลิเคชันในกลุ่มของ Google Drive ซึ่งเป็นนวัตกรรมของ Google มีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับ Microsoft Excel คือสามารถสร้าง Column, Row สามารถใส่ข้อมูลต่างๆ ลงไปใน Cell ได้ และคำนวณสูตรต่างๆ ได้ โดย google sheet สามารถทำงานแบบออนไลน์ได้ จึงทำให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถควบคุม google sheet ได้หลายทาง เช่น การส่งข้อมูลจากบอร์ด



ภาพที่ 11 โปรแกรม Google sheet

## Line

เป็นโปรแกรมแชทที่สามารถใช้งานได้ทั้งโทรศัพท์มือถือที่มีระบบปฏิบัติการ iOS, Android, Windows Phone ล่าสุดสามารถใช้งานได้บนคอมพิวเตอร์ PC และ Mac ได้แล้ว ด้วยความที่มีลูกเล่นมากมาย สามารถแชท ส่งรูป ส่งไอคอน ส่ง Sticker ตั้งค่าคุยกันเป็นกลุ่ม โดยที่ line มีฟีเจอร์สำหรับนักพัฒนาโปรแกรม ที่ทำให้สามารถตั้งค่าโปรแกรมการแจ้งเตือนได้



ภาพที่ 12 แอปพลิเคชันไลน์

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบไร้สายโดยใช้ซิกบี

งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคโนโลยีสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ซิกบี เพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุตามมาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4 ย่านความถี่ 2.4GHz โดยใช้บอร์ดอาณูโน้ควบคุมการทำงานของระบบและโมดูลรับส่งสัญญาณไร้สายแพร่กระจายสัญญาณจากตัวรับรู้ระดับอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างของน้ำจากแหล่งน้ำหนองหานอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร การทดลองวัดระดับน้ำมีค่าความสูงเฉลี่ย 2.89 เมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.12 อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 29.99 °C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.53 และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเฉลี่ย 7.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.14 ผลการทดลองแสดงให้เห็นระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ซิกบีสามารถตรวจวัดค่าต่างๆได้และระบบมีการทำงานไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง สะดวกและสามารถใช้งานได้จริง สอดคล้องกับค่าที่ต้องการตรวจ (สรารุณี บุญเกิดรัมย์ , 2560)

### ระบบแจ้งเตือนเหตุขัดข้องแบบอัตโนมัติสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบนี้เป็นระบบเฝ้าสังเกต ซึ่งจะวัดและแสดงค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้า ประกอบด้วย ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลัง ไฟฟ้า ทั้งทางด้านไฟตรงและไฟสลับของระบบรวมถึงค่าพารามิเตอร์ ที่จำเป็นสำหรับวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ เช่น ค่าความเข้มรังสีแสง อาทิตย์ (Solar Radiation) เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมด จะถูกเก็บเป็นฐานข้อมูล (Database) การหา สมรรถนะและประสิทธิภาพ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องนำข้อมูลเหล่านี้ไป ประมวลผลและวิเคราะห์โดยสมการมาตรฐาน นอกจากนี้ ข้อมูลยังใช้ประโยชน์ในการ วิเคราะห์สภาพ การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาว จะทำให้ช่วยเพิ่มระยะเวลาการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพให้กับระบบ ผลิตไฟฟ้าได้ อย่างเต็มที่ นั่นคือ เพิ่มสมรรถนะในการผลิต กระแสไฟฟ้าให้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถแจ้งเตือนโดยส่ง ข้อความให้กับผู้ดูแลระบบแบบทันทีทันใดหากมี การตรวจพบว่าระบบทำงานผิดปกติหรือขัดข้อง เช่น ระบบไม่จ่ายพลังงานในเวลากลางวัน อินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน ฯลฯ เป็นต้น (นภัทร วัฒนเทพินทร์ และ ไชยยันต์ บุญมี , 2555)

## การควบคุมและตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคนิคชีววิทยาโมเลกุล

จากผลการศึกษาความหลากหลายของแบคทีเรียจากน้ำเสียในระบบน้ำเสียโดยใช้เทคนิคทางชีววิทยาโมเลกุลโดยนำตัวอย่างแบคทีเรียที่เก็บจากน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบ่ง 2 ออกเป็นสองระบบคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (UASB) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนซึ่งของอุตสาหกรรมที่ 1 และ 2 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง และน้ำเสียจากบ่อแอน็อกซิกและบ่อแอโรบิกของอุตสาหกรรมที่ 3 ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่มีการบำบัดสารไนโตรเจน อย่างละ 3 ซ้ำ นำมาผสมรวมกัน แล้วนำมาสกัดดีเอ็นเอ พบว่าสามารถโคลนยีนส่วน 16S rRNA ของแบคทีเรียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (UASB) จำนวนทั้งสิ้น 116 โคลน และจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนจำนวนทั้งสิ้น 56 โคลน ซึ่งโคลนทั้งหมดนี้จะถูกนำไปหาลำดับเบสของดีเอ็นเอของยีนส่วน 16S rRNA และทำการจัดจำแนกชนิดของแบคทีเรียโดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank และทำการจัดกลุ่มต่อไป (ปิยะนุช เนียมทรัพย์ และคณะ , 2555)

## ชุดสถิติเซนเซอร์ตรวจจับน้ำโสโครกล้นแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดสถิติเซนเซอร์ตรวจจับน้ำโสโครกล้นแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ อีกทั้งยังมีการหาประสิทธิภาพของชุดสถิติเซนเซอร์อีกด้วย พบว่า ประสิทธิภาพชุดสถิติเซนเซอร์ตรวจจับน้ำโสโครกล้นแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ความเหมาะสม อยู่ในระดับมากที่สุด และด้านความเป็นไปได้อยู่ในระดับมาก จากการทดสอบการแจ้งเตือนและแสดงข้อความถูกต้องผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยจากการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้งสามารถทำงานได้จำนวน 8 ครั้ง ข้อความที่แจ้งเตือนมีความถูกต้อง จำนวน 8 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 80 ของจำนวนการทดสอบทั้งหมด และจากการทดสอบการรับการแจ้งเตือนข้อความจากชุดสถิติเซนเซอร์ตรวจจับน้ำโสโครกล้นแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ไปยังโทรศัพท์ จากการทดสอบทั้งหมด 40 ครั้งสามารถทำงานได้จำนวน 36 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 90 ของจำนวนการทดสอบทั้งหมด (สมควร เทียมมล , 2564)

## Ensemble data assimilation methods for improving river water quality forecasting accuracy

คุณภาพของน้ำเป็นหนึ่งในความท้าทายหลักที่สังคมเผชิญในศตวรรษที่ 21 การทำนายแบบ real-time ที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ เป็นวิธีการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ต่อต้านปัญหาคุณภาพของน้ำ ตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุรั่วไหลและบุปผาสาหร่ายที่เป็นอันตราย ในการพัฒนาความแม่นยำและความสามารถในการทำนายของคุณภาพน้ำของแม่น้ำ Yeongsan river ในเกาหลีใต้ การรวบรวมข้อมูลทั้งหมดสามวิธีที่แตกต่างกันได้ถูกตรวจสอบ

Ensemble Kalman Filter แบบดั้งเดิม (EnKF) และอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องสองตัว (Dud-EnKF และ EnKF-GS) ที่เสนอความเป็นไปได้ในการปรับปรุงเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับโมเดลที่ไม่เป็นเชิงเส้นหรือลดเวลาในการคำนวณ (สำคัญสำหรับการคาดการณ์ตามเวลาจริง) โดยให้เสียเวลาน้อยที่สุดเพื่อคาดการณ์สิ่งที่ได้ของวิธีนี้ การทดลองคู่การทดลองแบบคู่ โดยใช้การสังเกตการณ์สังเคราะห์ของสาหร่ายสามชนิดและความเข้มข้นของฟอสเฟต โดยมีขนาดกลุ่มที่ค่อนข้างเล็กแสดงให้เห็นว่าวิธีการ DA ทั้งสามวิธีปรับปรุงความแม่นยำและทักษะการคาดการณ์โดยมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยระหว่างวิธีการ พวกเขาทั้งหมดปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองที่ตำแหน่งปลายน้ำด้วยประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เนื่องจากสหสัมพันธ์ปลอม ความแม่นยำที่ตำแหน่งต้นน้ำจึงลดลงบ้าง การทดลองยังไม่พบแนวโน้มการพัฒนาที่ชัดเจน โดยเพิ่มมวลทั้งหมดจาก 8 เป็น 64 การทดลองในโลกแห่งความเป็นจริง เมื่อเปรียบเทียบการสังเกตที่แท้จริงของสาหร่ายสามชนิดและความเข้มข้นของฟอสเฟต พบว่ามีการปรับปรุงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองแฝด การปรับปรุงเพิ่มเติมของความถูกต้องของแบบจำลองอาจทำได้สำเร็จด้วยคำจำกัดความตัวแปรสถานะที่แตกต่างกัน การใช้การตั้งค่าแบบจำลองการก่อกวนและข้อผิดพลาดที่แตกต่างกัน และ/หรือการสอบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำที่กำหนดได้ดีขึ้น (Sibren et al., 2019)

### Microbial fuel cell sensors for water quality early warning systems: Fundamentals, signal resolution, optimization and future challenges

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ระบบเตือนภัยล่วงหน้าซึ่งมีความสำคัญต่อการรับประกันสุขภาพของมนุษย์และความปลอดภัยทางนิเวศวิทยา โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ชื่อ MFC โดยมีความสามารถในการตรวจสอบด้วยตนเอง โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานหรือแหล่งพลังงานเพิ่มเติม โดยตรวจสอบค่า BOD และความเป็นพิษในน้ำระบบแจ้งเตือนภัยของน้ำทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพน้ำออกแบบให้สามารถในบริเวณที่ใช้อินเทอร์เน็ต โดยผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบในอนาคต ได้แก่ การแยกการลดขีดจำกัดการตรวจจับหรือการปรับปรุงช่วงความเข้มข้นโดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ MFC สำหรับการตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ การปรับปรุงความไวต่อโปรวมทั้งลดเวลาการกู้คืนของไบโอฟิล์มหลังจากการกระแทก การพัฒนาแบบจำลองจลนศาสตร์ร่วมกับอัลกอริทึมการตรวจจับเพื่อแยกแยะสัญญาณรบกวนของสภาพแวดล้อมทางน้ำที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการตรวจค่าของ BOD และความเป็นพิษของน้ำที่เกิดขึ้นพร้อมกัน (Yong et al., 2018)



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการทดลอง

เครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำ เพื่อรักษาสภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยี ปัญญาประดิษฐ์ มีวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือพิเศษ สารเคมี สิ่งมีชีวิต และวิธีการดำเนินการดังนี้

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือพิเศษ

##### 3.1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- 1) Node MCU ESP 8266
- 2) Arduino UNO R3
- 3) DHT 11
- 4) MQ 5
- 5) MQ 135
- 6) DS3231
- 7) DS18B20

##### 3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

- 1) กล้องกันน้ำ ip66
- 2) ขวดน้ำ
- 3) ซิลิโคนกันน้ำ
- 4) lkpwa

##### 3.1.3 เครื่องมือพิเศษ

- 1) หัวแร้ง

### 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

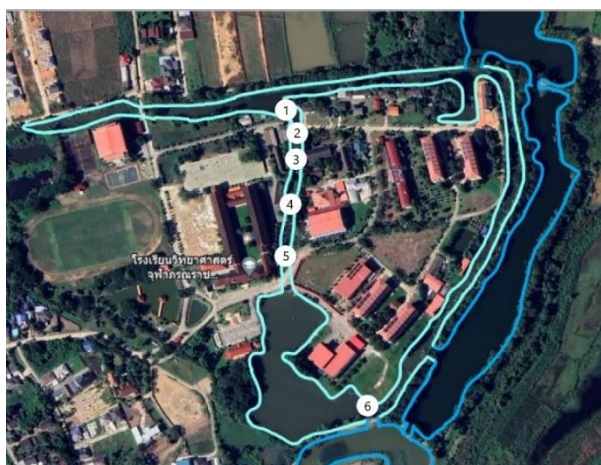
#### 3.4.1 รวบรวมข้อมูลปัญหา

3.4.1.1 สัมภาษณ์กำนันหมู่2 เกี่ยวกับเส้นทางน้ำในชุมชน ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แบบสัมภาษณ์กำนันหมู่2

บทสัมภาษณ์	คำตอบ
1. น้ำสามารถเข้าและออกโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย ทางไหนได้บ้าง	
2. น้ำที่เข้าโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย ไหลเข้ามาจากไหน แล้วไหลออกไปที่ไหน	
3. เชื้อนที่อยู่ในชุมชน ส่งผลต่อทางเดินน้ำในชุมชนอย่างไรบ้าง	
4. เมื่อทำการเกษตร ทางเดินน้ำเปลี่ยนไปอย่างไร	

3.4.1.2 เก็บตัวอย่างน้ำจาก 1.ทางเข้าของน้ำ 2.หลังสะพานก่อนถึงบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง 3.บริเวณปล่อยน้ำทิ้ง 4.หน้าสะพานหลังจากบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง 5.หน้าสะพานก่อนเข้าสระน้ำ และ 6.ทางออกของน้ำ ดังภาพ



ภาพที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

โดยจะวัดคุณภาพน้ำ จากการวัดค่า ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) โดยใช้เครื่อง และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS) โดยใช้ ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำที่ละ 5 รอบ และแต่ละรอบเก็บข้อมูลต่างกันไม่มาก

**ตารางที่ 3.2** แบบบันทึกข้อมูลน้ำที่1 จากทางเข้าของน้ำ สะพานก่อนถึงบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง บริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานหลังจากบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานก่อนเข้าสระน้ำ และทางออกของน้ำ

บริเวณที่ตรวจสอบ	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L)					ของแข็งละลายน้ำ (ppm/L)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ทางเข้าของน้ำ										
สะพานก่อนถึงจุดระบายน้ำ										
จุดระบายน้ำ										
สะพานหลังจากจุดระบายน้ำ										
สะพานก่อนเข้าสระน้ำ										
ทางออกของน้ำ										

**ตารางที่ 3.3** แบบบันทึกข้อมูลน้ำที่2 จากทางเข้าของน้ำ สะพานก่อนถึงบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง บริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานหลังจากบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง สะพานก่อนเข้าสระน้ำ และทางออกของน้ำ

บริเวณที่ตรวจสอบ	Do	pH	TDS	BOD
สะพานก่อนถึงจุดระบายน้ำ				
สะพานหลังจากจุดระบายน้ำ				
สะพานก่อนเข้าสระน้ำ				

#### 3.4.1.3 สัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย

เชิงราย เกี่ยวกับปัญหาในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงเรียน

**ตารางที่ 3.4** แบบสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียน

บทสัมภาษณ์	คำตอบ
1. ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียน เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหน แล้วมีหลักการทำงานอย่างไรครับ	

2. ปัญหาที่พบบ่อย ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียนมีอะไรบ้างครับ	
3. ระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีข้อดี และข้อเสียอย่างไรครับ	
4. จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนมากอยู่ตรงไหนครับ แล้วจุลินทรีย์ที่พบคืออะไร	
5. อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีอะไรบ้างครับ	
6. มีวิธีตรวจสอบ คุณภาพของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียอย่างไรครับ	

### 3.4.2 วิเคราะห์วิธีการแก้ไขปัญหา

นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมปัญหา ในข้อ 3.5.1 มาวิเคราะห์ต้นเหตุของปัญหา และปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ จากนั้นจึงมาวิเคราะห์หาวิธีแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพมากที่สุด

### 3.4.3 ออกแบบการทำงานของเครื่อง และวางแผนการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์

สืบค้นข้อมูล หาเซ็นเซอร์และวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่สุด จากนั้นออกแบบอัลกอริทึมการทำงานของตัวเครื่องกับเซ็นเซอร์ และออกแบบอัลกอริทึมระบบการทำงานของปัญญาประดิษฐ์

### 3.4.4 ออกแบบตัวเครื่อง และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

นำอัลกอริทึมทั้งหมดที่ได้จาก ข้อ 3.4.3 มาออกแบบตัวเครื่อง และตำแหน่งในการติดตั้งเซ็นเซอร์ จากนั้นออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆภายในตัวเครื่อง

### 3.5.5 ประกอบตัวเครื่อง และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ประกอบตัวเครื่องตามที่ออกแบบไว้ใน ข้อ 3.3.4 และบัดกรีเชื่อมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงประกอบตัวเครื่องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตามที่วางแผนเอาไว้

### 3.5.6 เขียนโปรแกรมการทำงานของตัวเครื่อง

3.5.6.1 นำอัลกอริทึมการทำงานของตัวเครื่องกับเซ็นเซอร์ใน ข้อ 3.3.3 มาเขียนโปรแกรมใน Arduino IDE โดยใช้ภาษา C++ ตามที่ออกแบบไว้

3.5.6.2 นำอัลกอริทึมการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ใน ข้อ 3.3.3 มาเขียนโปรแกรมใน Code block โดยใช้ภาษา C++

3.5.6.3 นำโปรแกรมที่เขียนไว้ทั้งสองมารวมกัน โดยนำมาเขียนไว้ใน Arduino IDE โดยใช้ภาษา C++

### 3.5.7 ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของโปรแกรม

3.5.7.1 ทดสอบการแจ้งเตือนของตัวเครื่อง

3.5.7.2 ความมั่นคงของโปรแกรม เมื่อข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ มีความคลาดเคลื่อน

3.5.7.3 ทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมเมื่อข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน

3.5.7.4 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาในการส่งข้อมูล

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

เครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำ เพื่อรักษาสภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยี ปัญญาประดิษฐ์ มีวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือพิเศษ สารเคมี สิ่งมีชีวิต และวิธีการดำเนินการดังนี้

#### 4.1 รวบรวมข้อมูลของปัญหา

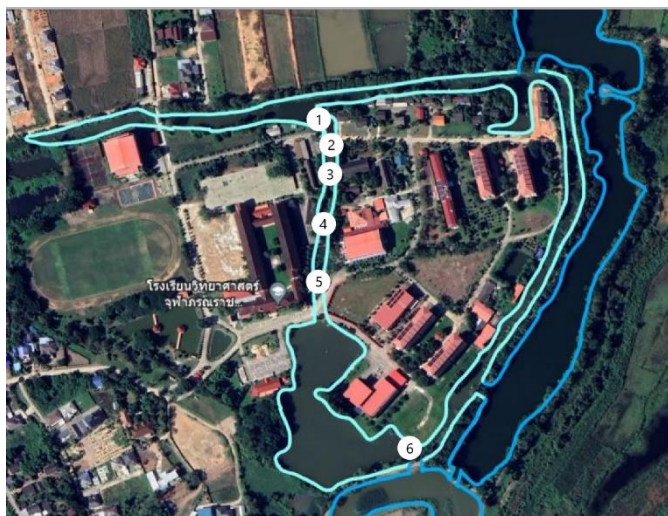
4.1.1 ข้อมูลจากสัมภาษณ์กำนันหมู่2 ที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางน้ำในชุมชน

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสัมภาษณ์กำนันหมู่2

บทสัมภาษณ์	คำตอบ
1. น้ำสามารถเข้าและออกโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย ทางไหนได้บ้าง	น้ำเข้ามาทางข้างตะวันออกของโรงเรียน ซึ่งเป็นบริเวณบ้านพักครู และไหลออกไปยังตะวันตกของโรงเรียน
2. น้ำที่เข้าโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย ไหลเข้ามาจากไหน แล้วไหนออกไปที่ไหน	น้ำที่เข้ามาเป็นน้ำจากชุมชน โดยเมื่อน้ำไหลออกไปน้ำจะไปรวมกับแม่น้ำสายใหญ่ และไหลลงเขื่อนเก็บน้ำ
3. เขื่อนที่อยู่ในชุมชน ส่งผลต่อทางเดินน้ำในชุมชนอย่างไรบ้าง	เมื่อเขื่อนมีน้ำมาก จะทำให้น้ำไหลย้อนกลับจากเขื่อนมายังชุมชน ทำให้เส้นทางน้ำเปลี่ยนไป
4. เมื่อทำการเกษตร ทางเดินน้ำเปลี่ยนไปอย่างไร	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง น้ำยังไหลในทิศทางเดิมแต่อาจมีปริมาณที่น้อยลง

4.1.2 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS) ที่วัดได้จาก 1.ทางเข้าของน้ำ 2.หลังสะพานก่อนถึงบริเวณปล่อย

น้ำทิ้ง 3.บริเวณปล่อยน้ำทิ้ง 4.หน้าสะพานหลังจากบริเวณปล่อยน้ำทิ้ง 5.หน้าสะพานก่อนเข้าสู่สระน้ำ และ 6.ทางออกของน้ำ ดังภาพ



ภาพที่ 4.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 4.2 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS) ที่วัดจากเซ็นเซอร์ทั้งหมด 5 ครั้ง ในบริเวณต่างๆของแหล่งน้ำ

บริเวณที่ตรวจสอบ	Do	pH	TDS	BOD
สะพานก่อนถึงจุดระบายน้ำ	6.93	7.5	147.3	5.46
สะพานหลังจากจุดระบายน้ำ	1.55	7.0	186.3	1.31
สะพานก่อนเข้าสู่สระน้ำ	6.00	7.53	150.6	2.45

ตารางที่ 4.3 ระดับคุณภาพน้ำและความบริสุทธิ์ของน้ำในบริเวณต่างๆที่เก็บข้อมูล

บริเวณที่ตรวจสอบ	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (mg/L)	ของแข็งละลายน้ำเฉลี่ย (ppm/L)	คุณภาพของน้ำ	ความบริสุทธิ์ของน้ำ
สะพานก่อนถึงจุดระบายน้ำ	6.93	147.3	ปานกลาง	น้อย
สะพานหลังจากจุดระบายน้ำ	1.55	186.3	แย่	น้อยมาก
สะพานก่อนเข้าสู่สระน้ำ	6.00	150.6	ปานกลาง	น้อย

4.1.3 ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย เกี่ยวกับปัญหาและหลักการของบ่อบำบัดน้ำเสียในโรงเรียน

**ตารางที่ 4.4** ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียน

บทสัมภาษณ์	คำตอบ
1. ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียน เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหน แล้วมีหลักการทำงานอย่างไรครับ	ระบบบำบัดน้ำเสียของโรง เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน โดยจะใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายของเสีย
2. ปัญหาที่พบบ่อย ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียนมีอะไรบ้างครับ	จุลินทรีย์จายมากเกินไปทำให้ในบางครั้งบำบัดได้ไม่ดีพอ
3. ระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีข้อดี และข้อเสียอย่างไรครับ	ข้อดี คือ ประหยัด และสามารถย่อยสลายได้มีประสิทธิภาพ ข้อเสีย คือ ไม่รู้ว่าเมื่อไหร่ควรเติมจุลินทรีย์
4. จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนมากอยู่ตรงไหนครับ แล้วจุลินทรีย์ที่พบคืออะไร	ส่วนมากจะอยู่ในบ่อบำบัดที่ 2 จุลินทรีย์ที่พบก็จุลินทรีย์ทั่วไป
5. อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีอะไรบ้างครับ	อุปกรณ์ที่สำคัญก็คือปั๊มอากาศ ต้องมาเปิดวันละ 1-2 ครั้ง
6. มีวิธีตรวจสอบ คุณภาพของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียอย่างไรครับ	มีการวัดตะกอน ใช้ตรวจประสิทธิภาพการบำบัด



## 4.2 วิเคราะห์วิธีการแก้ไขปัญห

### 4.2.1 ปัญหาหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ

จากสัมภาษณ์กำนันหมู่2 เกี่ยวกับเส้นทางของน้ำในชุมชน และการเก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำในตำแหน่งต่างๆ พบว่าปัญหานั้นเกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียนที่มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการบำบัด ซึ่งตรงกับ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่บำบัดน้ำเสียของโรงเรียน จึงสามารถสรุปได้ว่าปัญหาหลักคือระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียนมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการบำบัดน้ำเสีย

### 4.2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงเรียนนั้นเป็นระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอน ซึ่งใช้ Aerobic bacteria หรือแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ในการบำบัดน้ำเสีย โดยแบคทีเรียจะกินเศษอาหารต่างๆในน้ำ ทำให้สารอาหารตกตะกอนสู่ด้านล่าง จึงทำให้เกิดน้ำใสด้านบน ซึ่งเป็นน้ำที่สะอาดสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้

จากการลงพื้นที่สำรวจอีกครั้ง พบว่าผู้ดูแลไม่ทราบความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์ภายในระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ในบางครั้ง จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียไม่เพียงพอต่อการบำบัด ทำให้น้ำที่ได้หลังจากการบำบัดมีกลิ่นเหม็นและคราบไขมันมาก เมื่อเราได้ตรวจสอบข้อมูลเชิงลึก พบว่าสารฟอสเฟตที่จุลินทรีย์ตายนั้นมาจากค่า pH ที่ต่ำเกินไป โดยพวกเราสามารถวัดค่า pH ใน ระบบบำบัดน้ำได้ 2.99 ซึ่งต่ำมากๆ ทำให้แบคทีเรียเติบโตได้น้อย ซึ่งโดยปกติแล้วแบคทีเรียจะเติบโตได้ดีในช่วง pH 6.5-8.5

### 4.3.3 วิธีการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพมากที่สุด

พวกเราจึงมีแนวคิดที่จะทำเครื่องมือที่สามารถบอกสภาพความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์และแจ้งเตือนให้ผู้ดูแลได้ เพื่อที่ผู้ดูแลจะสามารถมาแก้ไขปัญหได้ทัน ก่อนที่แบคทีเรียจะเหลือน้อยเกินไป

โดยที่ตัวเครื่องจะวัดค่า ความเป็นกรดด่างในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิของน้ำ และความชื้นของอากาศ และก๊าซต่างๆในอากาศ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์ จากนั้นแจ้งเตือนให้ผู้ดูแลทราบผ่าน Google sheet และ Home assistant และเมื่อสภาพความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์อยู่ต่ำกว่าหรือกำลังเข้าสู่จุดวิกฤติ เครื่องก็จะแจ้งเตือนผู้ดูแลผ่านทาง Line application

## 4.3 ออกแบบการทำงานของเครื่อง และวางแผนการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์

### 4.3.1 เซ็นเซอร์และบอร์ดที่ใช้

4.3.1.1 Node MCU ESP8266 V3 ใช้คำนวณเป็นบอร์ดหลัก

4.3.1.2 Arduino UNO R3 ใช้ช่วยคำนวณเป็นบอร์ดรอง

4.3.1.3 pH Sensor Arduino Analog pH Meter ใช้วัดค่า pH ของน้ำ ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งใช้เป็นค่าหลักในการบอกสภาพความเป็นอยู่ของแบคทีเรีย

4.3.1.4 Analog Dissolved Oxygen Sensor ใช้วัดค่า Do ของน้ำ ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งใช้เป็นค่าหลักในการบอกสภาพความเป็นอยู่ของแบคทีเรีย

4.3.1.4 เซนเซอร์อื่นๆ ซึ่งใช้วัดค่าต่างๆที่ไม่ได้ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม

- Sensor DS18B20 ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำ
- DHT22 ใช้วัดอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ
- DS3231 time module ใช้ในการระบุเวลา
- MQ-5 และ MQ-135 ใช้วัดปริมาณก๊าซต่างๆในบ่อบำบัดน้ำเสีย

### 4.3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

4.3.2.1 Node MCU ESP8266 V3 ตรวจสอบเวลาโดยใช้ Time module โดยเมื่อเวลาครบ 3 นาที ให้ส่งสัญญาณไปที่ Arduino UNO R3 ผ่านทาง UART Serial เพื่อเริ่มเก็บข้อมูล

4.3.2.2 เมื่อ Arduino UNO R3 ได้รับสัญญาณให้ทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ทุกตัว โดยแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้ได้ โดยจะเก็บข้อมูลปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ และก๊าซต่างๆในอากาศ

4.3.2.3 Arduino UNO R3 ส่งข้อมูลทั้งหมดกลับไปให้ Node MCU ESP8266 V3 ผ่านทาง UART Serial โดยมีการเช็คความถูกต้องของข้อมูล 2 รอบ

4.3.2.4 เมื่อ Node MCU ESP8266 V3 ได้รับข้อมูลครบแล้ว ให้นำข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นสมการที่แม่นยำที่สุด โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ ในการวิเคราะห์ และตัดสินใจ ในการคัดแยกข้อมูล และปรับความถูกต้องของข้อมูล จากนั้นจึงนำข้อมูลที่คัดแยกเสร็จแล้วมาหาสมการที่แม่นยำกับข้อมูลมากที่สุด

4.3.2.5 ให้นำสมการของข้อมูลที่ได้ออกไปวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความเป็นอยู่ของจุลินทรีย์ภายในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตัดสินใจ

4.3.2.6 Node MCU ESP8266 V3 ส่งข้อมูลที่ได้ทั้งหมดขึ้นไปเก็บบน Google sheet

4.3.2.7 เมื่อสภาพความเป็นอยู่ของแบคทีเรียอยู่ต่ำกว่าหรือกำลังจะเข้าสู่จุดวิกฤต ให้ Node MCU ESP8266 V3 แจ้งเตือนผู้ดูแล ผ่าน Line application

#### 4.3.3 ขั้นตอนการทำงานปัญญาประดิษฐ์

4.3.3.1 รับค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ โดยจะเก็บไว้เป็นอาร์เรย์ 2 มิติ (แกน x และแกน y) ที่มีขนาด  $2 \times 40$  ซึ่งจะสามารถเก็บข้อมูลได้สูงสุด 40 ตัว

4.3.3.2 เมื่อมีข้อมูลในอาร์เรย์มากกว่า 6 ตัว ให้นำจุดของข้อมูลที่มี 6 จุดแรก ไปคำนวณเป็นสมการเส้นตรงและสมการพาราโบลา โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น และการถดถอยแบบพาราโบลา

4.3.3.3 เปรียบเทียบความแม่นยำของสมการเส้นตรง และสมการพาราโบลา โดยวิธีการการวิเคราะห์สมการถดถอย หรือ r-square ซึ่งสามารถบอกถึงความผันผวนของข้อมูล โดยยิ่งสมการมีความใกล้เคียงกับข้อมูล ค่า r-square ก็จะมีค่าสูง โดยค่า r-square จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1 โดยจะเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่มีแนวโน้มไปทางเดียวกันเท่านั้น

4.3.3.4 เมื่อได้สมการที่ใกล้เคียงกับข้อมูลมาแล้ว ก็จะบันทึกตัวแปรนั้นเก็บไว้ในอาร์เรย์ 3 มิติ ที่มีขนาด  $3 \times 10$  ซึ่งสามารถเก็บสมการได้สูงสุด 10 สมการ

4.3.3.5 นำสมการที่มีอยู่ในอาร์เรย์ทั้งหมด 10 สมการ ไปเปรียบเทียบโดยใช้ค่า r-square เพื่อหาสมการที่ดีที่สุด โดยจะเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่มีแนวโน้มไปทางเดียวกันเท่านั้น

4.3.3.6 นำสมการที่ได้ไปวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และวิเคราะห์เวลาที่ค่าค่านี้จะถึงจุดวิกฤติ แล้ววิเคราะห์ระดับความปลอดภัยของสภาพแวดล้อมนี้ โดยจะแปรผลเป็น 3 ระดับ คือ ปลอดภัยแน่นอน ค่อนข้างมีความเสี่ยง และ อันตราย

4.3.3.7 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในอาร์เรย์ จากสมการที่ดีที่สุด เพื่อปรับข้อมูลที่ผิดพลาด และวิเคราะห์หาแนวโน้มของข้อมูลในแต่ละช่วง โดยจะทำการยึดแนวโน้มในปัจจุบันเป็นหลัก และตัดแนวโน้มที่ตรงข้ามกันออก เพื่อความแม่นยำในการทำนาย

4.3.3.8 ทำการเตรียมรับข้อมูลถัดไป โดยการเลื่อนอาร์เรย์ข้อมูลไป 1 ครั้ง โดยจะลบข้อมูลที่เก่าที่สุดออกไป และทำการลบสมการที่แย่ที่สุดในอาร์เรย์สมการออก จากนั้นจะนำค่า %error ของข้อมูลปัจจุบัน ไปช่วยทำนายข้อมูลถัดไป

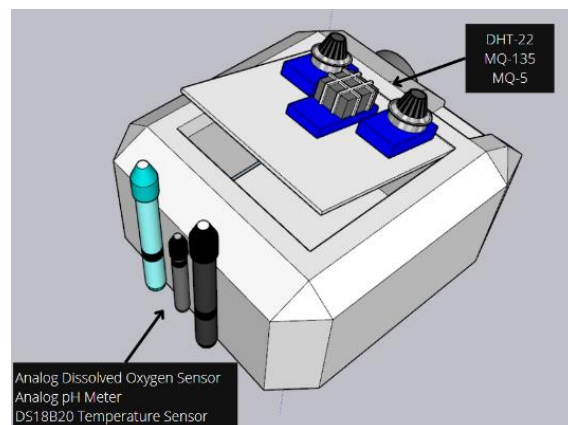
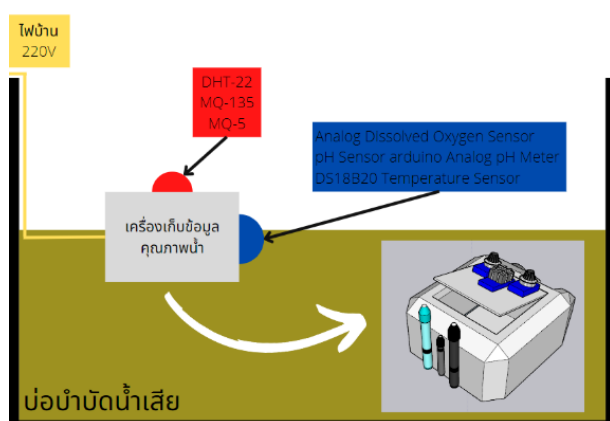
4.3.3.9 วนกลับไปทำข้อ 4.3.3.1 ใหม่

## 4.4 ออกแบบตัวเครื่อง และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

### 4.4.1 ออกแบบตัวเครื่องแบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Sketch up

ตัวเครื่องจะทำมาจากกล่องกันน้ำ ip66 ซึ่งสามารถกันน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียได้ โดยจะให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดอยู่ภายในกล่อง และปิดกล่องด้วยซิลิโคนกันน้ำ โดยภายในตัวเครื่องจะมีปลั๊กพ่วง 220V ที่ต่อไฟจากภายนอก ซึ่งจะถูกแปลงไปโดย Adapter 5V เพื่อเข้าสู่บอร์ด และถูกแจกจ่ายให้เซ็นเซอร์

โดยเซ็นเซอร์ pH Sensor Arduino Analog pH Meter , Analog Dissolved Oxygen Sensor และ DS18B20 จะถูกติดตั้งไว้ด้านหน้าของกล่องโดยติดตั้งไว้ต่ำกว่าระดับน้ำ และเซ็นเซอร์ DHT22 ,MQ-5 และ MQ-135 จะถูกติดตั้งไว้ด้านบนกล่อง โดยจะติดตั้งไว้สูงกว่าระดับน้ำ 30 เซนติเมตร และสายไฟทั้งหมดจะออกมาจากด้านหลังของเครื่อง เพื่อลดแรงปะทะของน้ำ



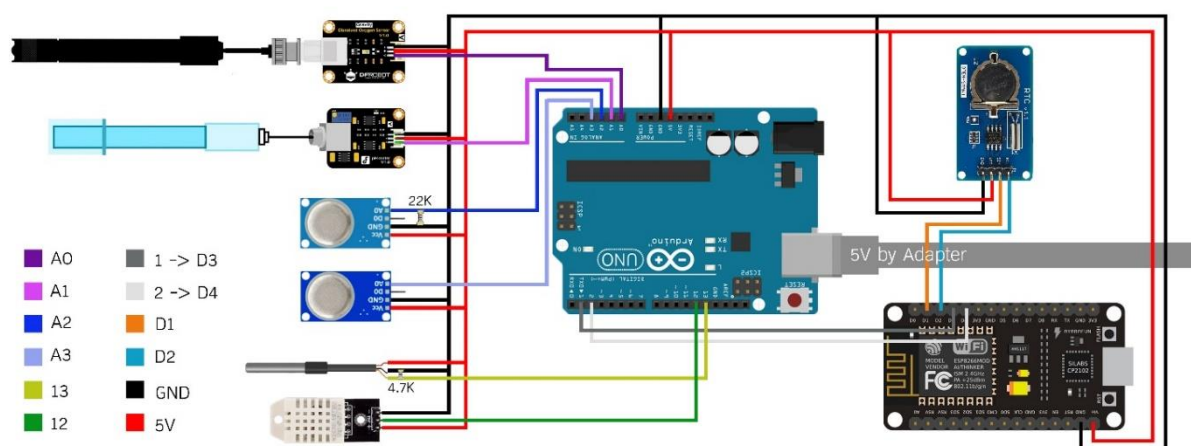
ภาพที่ 4.2 เครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำ เพื่อรักษาสุขภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ แบบ 3 มิติ

#### 4.2 ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ Photoshop

Node MCU ESP8266 จะเป็นบอร์ดหลัก ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลทั้งหมด โดยจะมี Arduino เป็นบอร์ดรองช่วยในการแปลงสัญญาณ Analog และ Digital จากเซ็นเซอร์ ให้เป็นตัวเลข จากนั้นจึงจะส่งข้อมูลกลับมาให้ Node MCU ESP8266 ผ่านทาง UART Serial เพื่อประมวลผลต่อไป

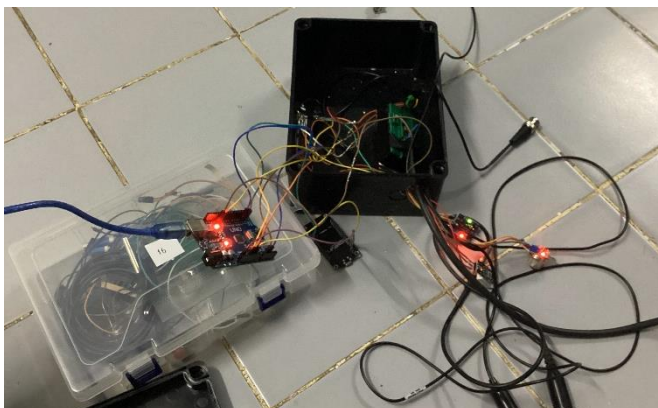
โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะเชื่อมกันดังนี้

1. GND ของ Arduino จะต่อเข้ากับ GND ของ เซ็นเซอร์ทั้งหมด
2. VCC ของ Arduino จะต่อเข้ากับ VCC ของ เซ็นเซอร์ทั้งหมด
3. GND ของ Arduino จะต่อเข้ากับ GND ของ Node MCU ESP8266
4. VCC ของ Arduino จะต่อเข้ากับ VIN ของ Node MCU ESP8266
5. ขา 1 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา D3 ของ Node MCU ESP8266
6. ขา 2 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา D4 ของ Node MCU ESP8266
7. ขา A0 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา A0 ของ Analog Dissolved Oxygen Sensor
8. ขา A1 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา A0 ของ pH Sensor Arduino Analog pH Meter
9. ขา A2 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา A0 ของ MQ-5
10. ขา A3 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา A0 ของ MQ-135
11. ขา 12 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา Data ของ DHT-22
12. ขา 12 ของ Arduino จะต่อเข้ากับ ขา Data ของ DS18B20



ภาพที่ 4.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ของเครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำ เพื่อรักษาสุขภาพจลินทรีย์ในบ่อ  
บำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

#### 4.5 ประกอบตัวเครื่อง และวงจรอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 4.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเครื่อง

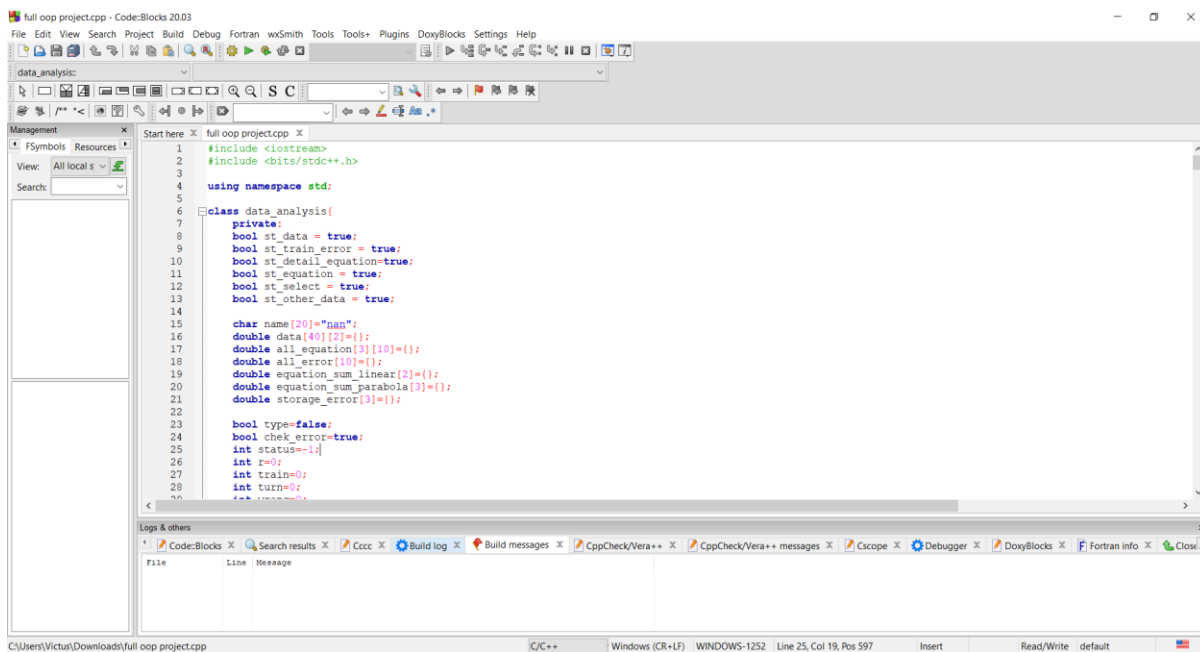


ภาพที่ 4.4 ประกอบตัวเครื่อง



ภาพที่ 4.5 ตัวเครื่องเมื่อเสร็จแล้ว

## 4.6 เขียนโปรแกรมการทำงานของตัวเครื่อง




ภาพที่ 4.6 โปรแกรมของปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล



ภาพที่ 4.7 โปรแกรมของ Node MCU ESP-8266 (บอร์ดหลัก)





```

N1 | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help

#include <WiFiClientSecure.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <TridientTD_LineNotify.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <ds3231.h>

//-----
const char* ssid1 = "PCSHSCR-DOM"; //--> Nama Wifi / SSID.
const char* ssid2 = "PCSHSCR"; //--> Nama Wifi / SSID.
String ssid="";
bool wifi_status=false;

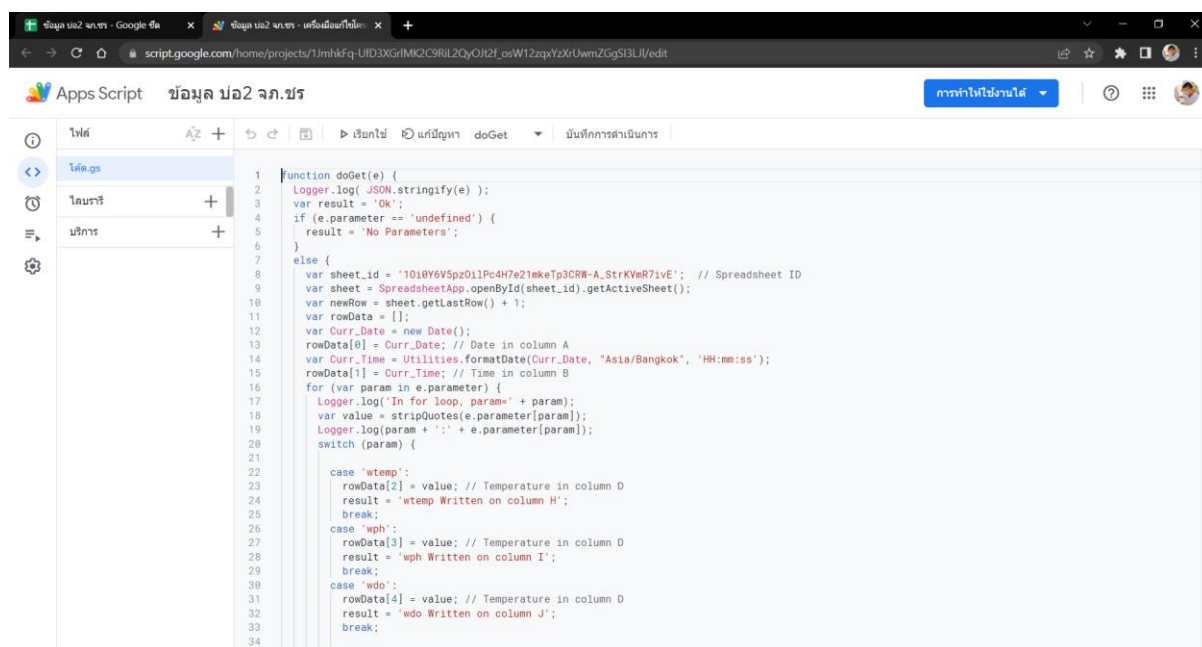
const char* password = ""; //--> Password wifi .
#define LINE_TOKEN_1 "VGhMhuyFQuXh06Y922cAEv6rFN0IalG22cMboHib2N"
//-----
//-----
const char* host = "script.google.com";
const int httpsPort = 443;
String GAS_ID_user = "https://script.google.com/macros/s/AKfycbwKuS21P4-UaGcVUKHoR2pUlm708U3lbr2w9imyZeAoelCphS7w_xfoAqmQ2sgw-a48Q";
//-----

int num=0;
//-----
WiFiClientSecure client;
//-----
struct ts t;
SoftwareSerial NodeSerial(D3, D4); // RX | TX

Invalid library found in C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\Arduino_GPS-master: no headers files (.h) found in C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\Arduino_GPS-master
Invalid library found in C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\libraries: no headers files (.h) found in C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries\libraries

```

ภาพที่ 4.8 โปรแกรมของ Arduino -Uno R3 (บอร์ดหลัก)



```

script.google.com/home/projects/1mhkFq-UD3XGfIMK2C9RL2QyOj2I_0sW12zqxYzXUwmZGgS3JLJ/edit

Apps Script ข้อมูล บ่อ2 จ.ช.ร

ไฟล์ โดส.gs โจนารี บริการ
function doGet(e) {
  Logger.log(JSON.stringify(e));
  var result = 'Ok';
  if (e.parameter == 'undefined') {
    result = 'No Parameters';
  }
  else {
    var sheet_id = '1oi0Y6V5px0d1Pc4H7e2tkeTp3CRW-A_SrKvR7ivE'; // Spreadsheet ID
    var sheet = SpreadsheetApp.openById(sheet_id).getActiveSheet();
    var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
    var rowData = [];
    var Curr_Date = new Date();
    rowData[0] = Curr_Date; // Date in column A
    var Curr_Time = Utilities.formatDate(Curr_Date, "Asia/Bangkok", 'HH:mm:ss');
    rowData[1] = Curr_Time; // Time in column B
    for (var param in e.parameter) {
      Logger.log('In for loop, param' + param);
      var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
      Logger.log(param + ':' + e.parameter[param]);
      switch (param) {
        case 'wtemp':
          rowData[2] = value; // Temperature in column D
          result = 'wtemp Written on column H';
          break;
        case 'wph':
          rowData[3] = value; // Temperature in column D
          result = 'wph Written on column I';
          break;
        case 'wdo':
          rowData[4] = value; // Temperature in column D
          result = 'wdo Written on column J';
          break;
      }
    }
  }
}

```

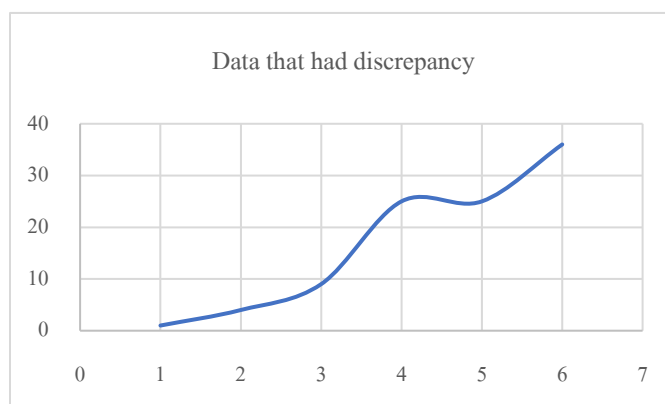
ภาพที่ 4.9 โปรแกรม Google sheet ในการรับข้อมูล



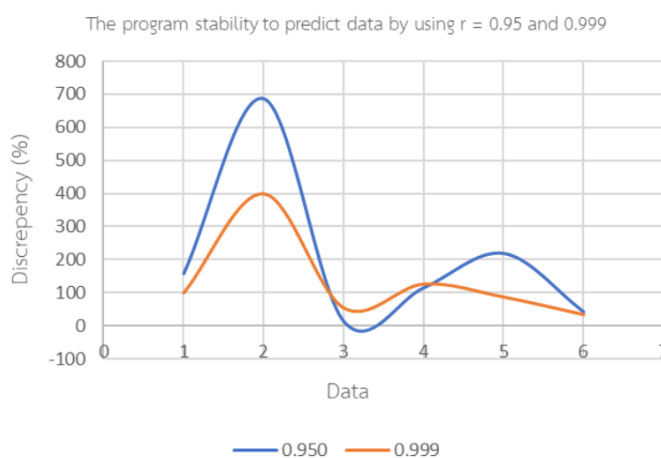


#### 4.4.2 ความมั่นคงของโปรแกรม เมื่อข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ มีความคลาดเคลื่อน

เนื่องจากปัญหาประติษฐ์ของตัวเครื่อง ใช้ข้อมูล 6จุด มาวิเคราะห์และทำนายอนาคต เราจะใช้ excel ในการสร้างชุดข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนใน ในตำแหน่งที่ 1-6 ตามลำดับ เพื่อทดสอบความมั่นคงของโปรแกรม



ภาพที่ 4.12 ข้อมูลจากสมการพาราโบลา ที่มีตำแหน่งที่ 4 คลาดเคลื่อน

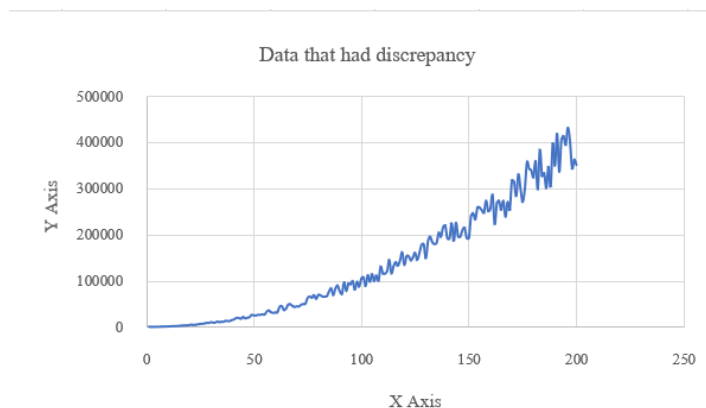


ภาพที่ 4.13 ความมั่นคงของโปรแกรม เมื่อข้อมูลในตำแหน่งต่างๆมีความคลาดเคลื่อน

จากภาพจะเห็นได้ว่า ข้อมูลในตำแหน่งที่ 2 กับ 4 มีความคลาดเคลื่อน จะส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนาย ของปัญหาประติษฐ์เป็นอย่างมาก และพบว่าข้อมูลในตำแหน่งที่ 3 มีความมั่นคงเป็นอย่างมาก

#### 4.4.3 ทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมเมื่อข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน

เราจะทดสอบโดยการสร้างชุดข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$   $\pm 15\%$  และ  $\pm 25\%$  จากนั้นจะนำไปทดสอบกับโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์



ภาพที่ 4.14 ข้อมูลจากสมการพาราโบลา ที่มีควาคลเคลื่อน  $\pm 5\%$

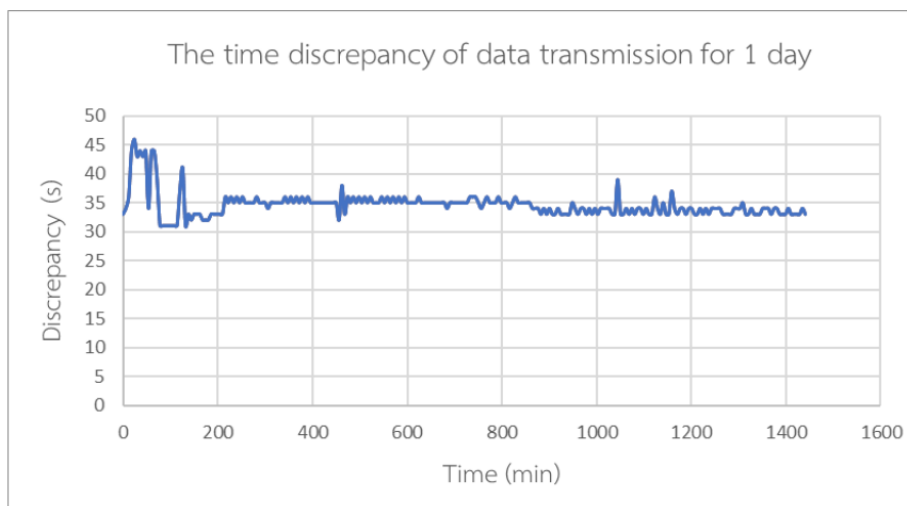
#### ตารางที่ 4.5 ความแม่นยำของโปรแกรมเมื่อข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ $\pm 15\%$ และ $\pm 25\%$

Discrepancy of data	Accuracy of predicting data	
	Average	At present
error +- 5%	98.6604252	99.81174
error +- 15%	96.6975258	99.51152
error +- 25%	94.5301016	99.21814
real data	98.213771	99.859324

จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าความแม่นยำนั้นจะแปรผันกับความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยยิ่งความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีมาก ความแม่นยำก็จะลดลง แต่ว่าปัญญาประดิษฐ์ก็สามารถเพิ่มความแม่นยำขึ้นด้วยการเก็บข้อมูลไปวิเคราะห์ โดยจะสังเกตได้เลยว่า ข้อมูล ณ ตำแหน่งปัจจุบัน จะมีความแม่นยำ 99% ขึ้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการมีความใกล้เคียงกับข้อมูลนั่นเอง

#### 4.4.4 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาในการส่งข้อมูล

เราจะทดสอบโดยเปิดการใช้งานของเครื่อง จากนั้นสังเกตความต่างของระยะเวลาในการส่งข้อมูล โดยจะวิเคราะห์จากค่าใน Google sheet



ภาพที่ 4.14 ความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาในการส่งข้อมูล

จากภาพจะเห็นได้ว่า ความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาในการส่งข้อมูลนั้นไม่คงที่ โดยความคลาดเคลื่อนของระยะเวลาในการส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับปริมาณผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในต่อนั้นๆ ทำให้การส่งข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 34.61 วินาที

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการสร้างเครื่องตรวจสอบและแจ้งเตือนคุณภาพของน้ำ เพื่อรักษาสภาพจุลินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสีย ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์พบว่าสามารถนำไปใช้ได้จริงได้

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพบว่าเครื่องสามารถทำงานได้

5.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์และทำนายคุณภาพน้ำพบว่าเครื่องมีความแม่นยำในการทำนาย 98.21%

5.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพของการแจ้งเตือนแก่เจ้าหน้าที่พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 34.61 วินาที ใน 1 วัน

#### 5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมมีความแม่นยำในช่วงต่างๆของข้อมูลดังนี้ มีความแม่นยำ 98.66% เมื่อมีความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$  และมีความแม่นยำ 96.69% เมื่อความคลาดเคลื่อน  $\pm 15\%$  และมีความแม่นยำ 94.53% เมื่อความคลาดเคลื่อน  $\pm 25\%$  และมีความแม่นยำ 98.21% เมื่อใช้งานจริง

5.2.2 ประสิทธิภาพการแจ้งเตือนข้อมูล เครื่องสามารถเก็บข้อมูลใน Google Sheet ได้และสามารถแจ้งเตือนผ่าน Line ได้อย่างแม่นยำโดยมีเวลาความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 34.61 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณอินเทอร์เน็ต

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เปลี่ยนวัสดุในการสร้างตัวเครื่องให้แข็งแรงขึ้นเพื่อให้ทนกับสภาพแวดล้อมในบ่อบำบัดน้ำเสีย

5.3.2 ปรับความเร็วของสัญญาณอินเทอร์เน็ตให้ดีขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. Royal L. สาเหตุและผลกระทบ จากมลพิษทางน้ำ 2015 [Available from: [https://lux.co.th/cpt\\_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/?fbclid=IwAR3I7R3BzivvReVbFJn3W4RRr1fb5b\\_868XnzK6GaUSQ7aCTiciB1XUD1f8](https://lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/?fbclid=IwAR3I7R3BzivvReVbFJn3W4RRr1fb5b_868XnzK6GaUSQ7aCTiciB1XUD1f8).
2. จำกัฒ บกวท. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์หรือระบบเลี้ยงตะกอน [Available from: [https://www.greenwatertreat.com/16027001/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B9%80%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%B3%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%9A-activates-sludge-?fbclid=IwAR2QjK1eJMjG7oiK34ab75FCPd1pJP8PjU8EskJt4e3bWkySVihzfi\\_LByE](https://www.greenwatertreat.com/16027001/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B9%80%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%B3%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%9A-activates-sludge-?fbclid=IwAR2QjK1eJMjG7oiK34ab75FCPd1pJP8PjU8EskJt4e3bWkySVihzfi_LByE).
3. ศูนย์ช่วยเหลือ. ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) รูปแบบต่าง ๆ [Available from: <http://cac.pcd.go.th/index.php/ourservices/2017-02-05-14-04-09/2017-06-30-02-49-14/274-activated-sludge-process?fbclid=IwAR2OU69BhNc8Dyf3MyW0FyU4GtS2M6p9dspg2G7uqLKXhN1ldyqZX7P0NeA>.
4. บุญมี นวแ. ระบบแจ้งเตือนเหตุขัดข้องอัตโนมัติสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารวิชาการและวิจัย มทรพระนคร. 2012;2:14.
5. University CMR. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) [Available from: [https://www.envi.cmru.ac.th/waterquality/chapter1\\_t3.html?fbclid=IwAR2dKZdDlyVSCLDyYtGfZQWxUaT1aUYxUEhtppoCWeZYfO7dEsZi9auLczo](https://www.envi.cmru.ac.th/waterquality/chapter1_t3.html?fbclid=IwAR2dKZdDlyVSCLDyYtGfZQWxUaT1aUYxUEhtppoCWeZYfO7dEsZi9auLczo).
6. บุญเกิดรัมย์ ส. การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบไร้สายโดยใช้ ชิเกปี. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต. 2017;1:13.
7. แก้วเขียว อ. การตรวจค่าออกซิเจนละลายในน้ำโดยชุมชน 2010 [Available from: [http://reo06.mnre.go.th/home/images/upload/file/report/aree02\\_54.pdf?fbclid=IwAR1abHCeOSBeUEQD\\_SYUtBOK2nO8C6gzR\\_HRISJzj1vkWCs-Bddh6wRBqEg](http://reo06.mnre.go.th/home/images/upload/file/report/aree02_54.pdf?fbclid=IwAR1abHCeOSBeUEQD_SYUtBOK2nO8C6gzR_HRISJzj1vkWCs-Bddh6wRBqEg).
8. และคณะ ป. การควบคุมและตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคนิคชีววิทยาโมเลกุล. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2012;1:92.

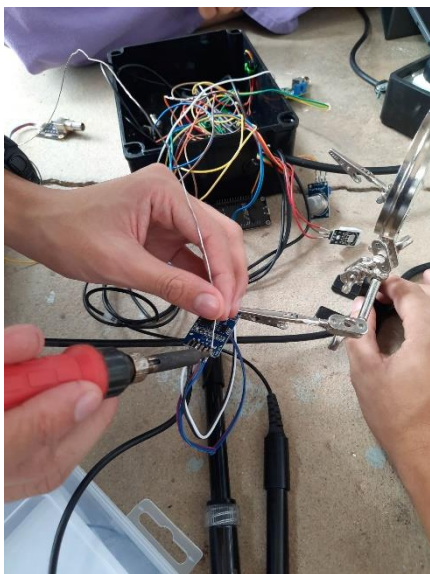
9. Thai WT. Jarrest เพื่อการตกตะกอน 2017 [Available from:

<https://www.worldwildthai.com/th/articles/90944-Jarrest->

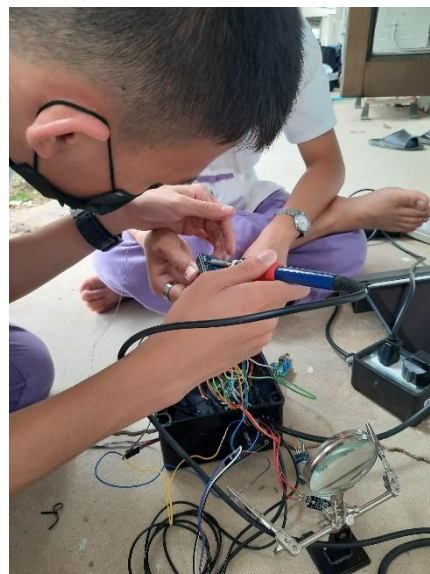
%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0  
%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8  
%99?fbclid=IwAR3bSkIMUWcU-K\_GtbKjKLqijp4B0NYLBvm-pqNcTwmS-Hhtw-EnzkPihM8.

## ภาคผนวก

## ก.การสร้างตัวเครื่อง



ภาพประกอบและบัดกรีตัวเครื่อง



ภาพประกอบและบัดกรีตัวเครื่อง



ภาพประกอบเซนเซอร์กับตัวเครื่อง



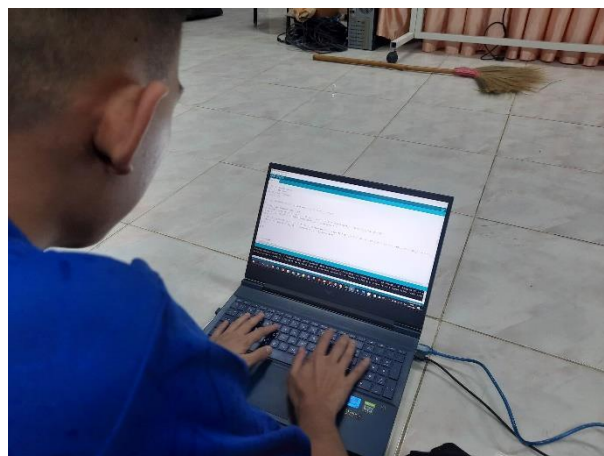
ภาพประกอบเซนเซอร์กับตัวเครื่อง



## ข.การเขียนโปรแกรม



ภาพคิดหาสมการที่ใช้ในโปรแกรม

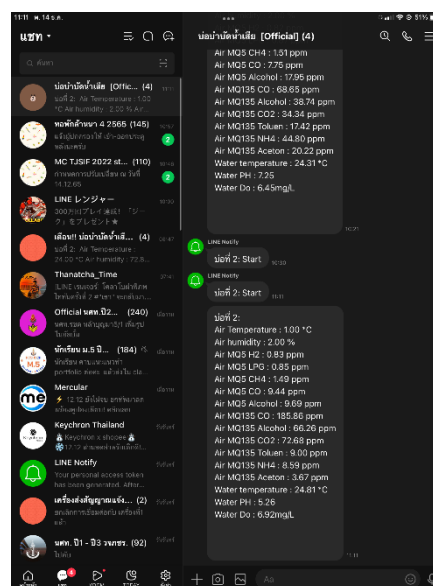


ภาพการเขียนโปรแกรม

## ค.การทดสอบตัวเครื่อง



ภาพการทดสอบการเก็บข้อมูลของเครื่อง



ภาพการทดสอบการแจ้งเตือน