



การพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็ม  
สำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี  
Development of Salinity Intrusion Monitoring System  
for Nonthaburi Durian Growers

ศิริชัย            สาระมนัส  
วรินธร            บุญยะโรจน์

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียน จังหวัดนนทบุรี
ผู้วิจัย	ศิริชัย สารมนัส วรินทร์ บุญยะโรจน์
ปีที่ทำวิจัย	พ.ศ. 2563

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มโดยใช้ตรรกศาสตร์แบบคลุมเคลือในการคัดแยกค่าความเค็มของน้ำ ระบบดังกล่าวทำการพัฒนาโมเดลตรรกศาสตร์แบบคลุมเคลือโดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเกษตรจาก FAO พิจารณาค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อค่าความเค็ม (Salinity) โดยใช้เครื่องมือ Fuzzy logic toolbox ทำการสร้างและทดสอบโมเดลที่สร้างขึ้น และทำการแปลงโมเดลที่สร้างขึ้นให้อยู่ในรูปแบบ Embedded C โดยใช้เครื่องมือ Simulink Coder ติดตั้งลง Microcontroller ARM STM32F และใช้การทดสอบแบบ 10-fold cross validation เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการคัดแยกข้อมูล ผลการทดสอบค่า Root Mean Square Error (RMSE) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.58175 แสดงว่าโมเดลที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกข้อมูลได้ใกล้เคียงกับข้อมูลคัดแยกที่กำหนด

**คำสำคัญ :** การแทรกตัวของน้ำเค็ม, ระบบเฝ้าสังเกต, พื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี

Title	Development of Salinity Intrusion Monitoring System for Nonthaburi Durian Growers
Researcher	Sirichai Saramanus Varinthorn Boonyaroj
Year	2020

### Abstract

This research is to develop a prototype of a salinity intrusion monitoring system using fuzzy logic to extract salinity values. A system is developed according to a fuzzy logic model using FAO's for appropriate agricultural water quality data, considering the electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) as indicators of the salinity value by using the Fuzzy Logic Toolbox to produce and test the generated model. Transformation of the generated models to Embedded C format using the Simulink Coder tool installed in the ARM STM32F microcontroller and a 10-fold cross-validation test was used to validate the data extraction. The Root Mean Square Error (RMSE) for the test results was 0.58175 on average. This research result indicates that the generated model is able to extract data that very closely matches the specified data.

**Keywords:** Salinity Intrusion, Monitoring System, Nonthaburi Durian Growers

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี พ.ศ. 2563

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ สถานที่ อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการฯ ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการและวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงินและ พัสดุทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องที่จะนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์

คณะผู้วิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
บัญชีตาราง	(ฉ)
บัญชีภาพประกอบ	(ช)
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	3
1.6 แผนการดำเนินการวิจัยโครงการวิจัย	3
<b>2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ปัญหาการแทรกตัวของน้ำเค็ม	4
2.2 คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร	5
2.3 ดัชนีตรวจวัดคุณภาพน้ำ	6
2.4 ตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Logic)	6
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
<b>3. วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>12</b>
3.1 การศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร	12
3.2 การออกแบบระบบ	13
3.3 การนำข้อมูลเข้าก่อนการตัดสินใจ	14
3.4 การประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Inference System)	15
3.5 การทำงานของระบบ	20
<b>4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล</b>	<b>31</b>
4.1 ประสิทธิภาพของส่วนการตัดสินใจ	31
4.2 การทดสอบแบบ 10-fold cross validation	32
<b>5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ</b>	<b>35</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35

บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้วิจัย	39

## บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation	12
3.2	การแบ่งค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานจากข้อมูลพื้นฐาน FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation	13
4.1	ตารางข้อมูลและผลการทดสอบ Fuzzy Inference System Model	31
4.2	แสดงค่าผลการทดสอบ 10-fold cross validation	33
4.3	ข้อมูลและผลการทดสอบ Fuzzy Inference System ที่ติดตั้งในอุปกรณ์ Microcontroller	34

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Inference System)	6
3.1	แผนผังระบบการเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็ม	14
3.2	อุปกรณ์อ่านค่า TDS Sensor (a) และ อุปกรณ์อ่านค่า Temperature Sensor (b)	14
3.3	Fuzzy Inference System Model	15
3.4	EC Membership function	16
3.5	TDS Membership function	16
3.6	OUTPUT Membership function	17
3.7	ข้อมูลของกฎ (Fuzzy if-then rules) ทั้งหมด	18
3.8	ข้อมูลของกฎแบบกราฟิกจำนวน 25 กฎ	19
3.9	Surface viewer ระหว่าง TDS EC และ SAL	20
3.10	แสดง Simulink model ที่ติดตั้ง Fuzzy logic model	20
3.11	แสดงภาพรวมการทำงานของระบบ	22
3.12	ตัวอย่างผังวงจรส่วนแสดงผลการทำงานของระบบ	23
3.13	ตัวอย่างผังวงจรส่วนนำข้อมูลเข้าของระบบ	23
3.14	อุปกรณ์อ่านค่า TDS Sensor (a) และ อุปกรณ์อ่านค่า Temperature Sensor (b)	23
3.15	ตัวอย่างผังวงจรส่วนควบคุมการทำงานของระบบ	24
3.16	ตัวอย่างแบบร่างกล่องใส่ผังวงจรและอุปกรณ์	24
3.17	ตัวอย่างแบบร่าง 3D กล่องใส่ผังวงจรและอุปกรณ์	25
3.18	ตัวอย่างกล่องใส่ผังวงจรและอุปกรณ์	25
3.19	ตัวอย่างการติดตั้งผังวงจรอุปกรณ์ตรวจวัด	26
3.20	ตัวอย่างการติดตั้งผังวงจรและอุปกรณ์ลงกล่อง	26
3.21	กล่องใส่ผังวงจรและอุปกรณ์แบบสำเร็จ	27
3.22	ตัวอย่างการวัดค่า EC (Electrical Conductivity)	27
3.23	ตัวอย่างการวัดค่า TDS (Total dissolved solids)	28
3.24	ตัวอย่างการวัดค่าระดับความเค็ม (Salinity)	28
3.25	ตัวอย่างการวัดค่าอุณหภูมิ (Temperature)	29
3.26	ภาพรวมแสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย	30
4.1	แสดงค่าผลการทดสอบ 10-fold cross validation	33



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาการแทรกตัวของน้ำเค็มรุกเข้าเขตน้ำจืดเกิดจากน้ำทะเลที่หนุนจากทะเลเข้ามาสู่มแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากปริมาณน้ำจืดที่ปล่อยจากเขื่อนหรือน้ำต้นทุนมีน้อยทำให้น้ำทะเลหนุนเข้ามามากกว่าปกติส่งผลให้เขตพื้นที่การเกษตรของจังหวัดนนทบุรีและพื้นที่ภาคกลางตอนล่างหลายจังหวัดที่ใช้น้ำจากระบบชลประทานจากแม่น้ำเจ้าพระยาได้รับผลกระทบ ค่าความเค็มที่เจือปนอยู่ในน้ำชลประทานหรือมาจากน้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ตื้นใกล้ผิวดินทำให้เกิดความเค็มซึ่งสำหรับการเกษตรเพาะปลูกพืชนั้นมีค่าความเค็มของน้ำที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 2.0 กรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้า ไม่ควรเกิน 4,000 ไมโครโมลต่อเซนติเมตร ส่วนการนำมาผลิตประปา ค่าความเค็มของน้ำที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.25 กรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้า ไม่ควรเกิน 500 ไมโครโมลต่อเซนติเมตร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพืชสะสมในดินบริเวณรากพืช เมื่อมีปริมาณมากขึ้นทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ เมื่อน้ำที่จะนำไปใช้ได้ลดลง ทำให้พืชนั้นมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงและมีลักษณะคล้ายกับพืชขาดน้ำ เช่น ใบเหี่ยว ใบเหลือง เป็นต้น

ปัจจุบันเกษตรกรสวนทุเรียน จังหวัดนนทบุรี ต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำวัดค่าความเค็มของน้ำก่อนใช้รดต้นทุเรียนทุกครั้งเพื่อให้ทราบสถานการณ์การแทรกตัวของน้ำเค็ม โดยหากค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้ในแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าความเค็มเกินค่ามาตรฐาน 2.0 กรัมต่อลิตร จะไม่สามารถนำมาใช้สำหรับรดน้ำพืชผลทางการเกษตร ปัจจุบันเกษตรกรสวนทุเรียนจังหวัดนนทบุรีต้องลงทุนต่อระบบน้ำประปาเพื่อช่วยเจือจางความเค็มจนกว่าค่าความเค็มของน้ำจะกลับเข้าสู่ภาวะปกติ ซึ่งอาจส่งผลให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับการปลูกทุเรียนเพิ่มสูงขึ้นเป็นเท่าตัว ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและคุณภาพของทุเรียนและพันธุ์พืชอื่น ๆ เพราะว่าสวนทุเรียนของจังหวัดนนทบุรีคงเหลือจำนวนน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีชื่อเสียงของจังหวัดนนทบุรีมายาวนาน ที่ประชาชนจำนวนมากต่างชื่นชอบรสชาติของทุเรียนจังหวัดนนทบุรี ซึ่งปัจจุบันทุเรียนนนทบุรีนั้นมีราคาสูงมาก

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าวนำไปสู่การดำเนินการตามนโยบายของรัฐบาลและนำเสนอแนวทางการบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรีให้มีประสิทธิภาพ การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยการพัฒนาระบบการเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการป้องกันและแนะนำให้เกษตรกรชาวสวนทุเรียนในพื้นที่จังหวัดนนทบุรีได้รับรู้และหา

วิธีการป้องกันแก้ไขได้อย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากวิกฤติการณ์ความเค็มในน้ำและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นนั้นสามารถตรวจวัดค่าความเค็มและค่าอุณหภูมิโดยใช้ตรรกศาสตร์แบบคลุมเคลือ (Fuzzy logic) สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สำหรับเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มและการแสดงผลของข้อมูลให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี
- 1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้ในการวางแผนและรองรับการบริหารจัดการน้ำของพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี

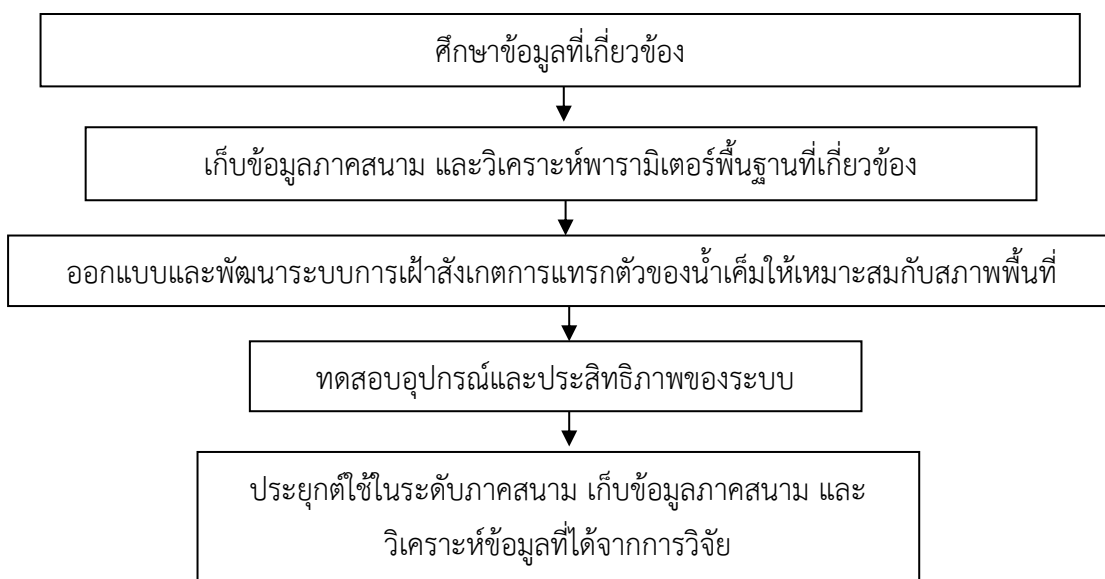
## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ปลูกผักและแปลงเกษตร อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี
- 1.3.2 ดัชนีตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าความเค็ม และค่าอุณหภูมิ
- 1.3.3 การศึกษาครั้งนี้ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเคลือ (Fuzzy Logic) สำหรับเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็ม

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ต้นแบบระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี
- 1.4.2 ทราบประสิทธิภาพประสิทธิผลของระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี
- 1.4.3 ทราบข้อมูลจากต้นแบบระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี

### 1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

### 1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินโครงการวิจัย ตั้งแต่ วันที่ 1 ตุลาคม 2562 ถึง 30 กันยายน 2563

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปัญหาการแทรกตัวของน้ำเค็ม

ปัญหาการแทรกตัวของน้ำเค็มรุกเข้าเขตน้ำจืด เกิดจากน้ำทะเลที่หนุนจากทะเลเข้ามาสู่แม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากปริมาณน้ำจืดที่ปล่อยจากเขื่อนหรือน้ำต้นทุนมีน้อย ทำให้น้ำทะเลหนุนเข้ามามากกว่าปกติ ส่งผลให้เขตพื้นที่การเกษตรของจังหวัดนนทบุรีและพื้นที่ภาคกลางตอนล่างหลายจังหวัดที่ใช้น้ำจากระบบชลประทานจากแม่น้ำเจ้าพระยาได้รับผลกระทบค่าความเค็มที่เจอปนอยู่ในน้ำชลประทานหรือมาจากน้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ต้นใกล้ผิวดินทำให้เกิดความเค็มซึ่งสำหรับการเกษตรเพาะปลูกพืชนั้นมีค่าความเค็มของน้ำที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 2.0 กรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้า ไม่ควรเกิน 4,000 ไมโครโมลต่อเซนติเมตร ส่วนการนำมาผลิตประปา ค่าความเค็มของน้ำที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.25 กรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้า ไม่ควรเกิน 500 ไมโครโมลต่อเซนติเมตร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพืชสะสมในดินบริเวณรากพืช เมื่อมีปริมาณมากขึ้นทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ เมื่อน้ำที่จะนำไปใช้ได้ลดลง ทำให้พืชนั้นมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงและมีลักษณะคล้ายกับพืชขาดน้ำ เช่น ใบเหี่ยว ใบเหลือง เป็นต้น

การศึกษาพฤติกรรมของการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำ ต้องพิจารณาถึงลักษณะการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำและลักษณะการผสมบริเวณปากแม่น้ำ จะมีลักษณะการแพร่ (dispersion) ของน้ำเค็มในแม่น้ำทั้งสารที่ละลายน้ำได้หรือสารแขวนลอย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การพา (convection) เป็นกระบวนการที่เกิดจากสารละลายนั้นได้มีการไหลหรือการโยกย้ายจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของกระแสน้ำพาไป และการฟุ้งกระจาย (diffusion) เป็นกระบวนการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นไม่ต้องอาศัยกระบวนการพา (จรินทร์ คงรักษ์, 2549) [1]

สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากอิทธิพลของน้ำทะเล

2.1.1 การรุกไล่ของน้ำทะเลเนื่องจากการขาดแคลนน้ำจืดทำให้ปริมาณในแม่น้ำสายต่าง ๆ มีปริมาณลดน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างฤดูแล้ง จะมีปริมาณน้ำจืดที่ระบายลงไปใต้น้ำเป็นจำนวนมาก เช่น ในปี พ.ศ. 2523 เนื่องจากตลอดปี 2522 สภาพอากาศแห้งแล้ง ปริมาณน้ำฝนมีจำนวนน้อยมาก เขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ไม่สามารถเก็บกักน้ำได้ตามต้องการเป็นเหตุให้ไม่มีปริมาณน้ำที่จะระบายมาใช้ในการผลักดันน้ำทะเล ทำให้น้ำทะเลหนุนขึ้นสูง ซึ่งน้ำทะเลที่หนุนขึ้นมานี้จะไหลเข้าตามคลองธรรมชาติต่าง ๆ ไหลเข้าที่อ่าวสวนที่มีคูน้ำเชื่อมโยงกับคลองธรรมชาติเหล่านั้น เป็นเหตุให้ดินไม่ย่นดิน และต้นผลไม้ล้มลุกได้รับความเสียหาย

2.1.2 การขึ้นลงของน้ำทะเล นอกจากการรูกไล่ของน้ำทะเลจากการขาดแคลนน้ำจืดในบริเวณปากแม่น้ำที่ถูกน้ำทะเลท่วมทั้งหมด เมื่อระดับน้ำทะเลที่สูงสุดอีกประการหนึ่ง พวกปุ๋ยและธาตุอาหารจะถูกปนโดยกระแส น้ำ ทำให้มีการเจริญเติบโตไม่ดีและต้นไม้มีลักษณะเตี้ย สำหรับอิทธิพลการท่วมถึงของน้ำทะเล ในช่วงน้ำขึ้น-น้ำลง การจำแนกระดับน้ำขึ้นลงของกรม อุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สามารถจำแนกได้คือ

- ก) การขึ้นลงของน้ำทะเลเป็นแบบวันละครั้งหรือแบบเดียว (Diurnal tide) ได้แก่ บริเวณชายทะเล จังหวัดจันทบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และจังหวัดชุมพร
- ข) การขึ้นลงของน้ำทะเลเป็นแบบวันละ 2 ครั้ง (Semidiurnal tide) ได้แก่ บริเวณชายทะเลจังหวัดภูเก็ต กระบี่ และปัตตานี
- ค) การขึ้นลงของน้ำทะเลเป็นแบบผสม (Mixed tide) ได้แก่ จังหวัดชลบุรี และกรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากอิทธิพลของน้ำทะเลในด้านความเค็มจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น การแปรผันของความเค็มยังขึ้นอยู่กับระยะทางจากปากแม่น้ำจากบริเวณที่ติดต่อกับน้ำทะเล และระยะความลึกจากผิวน้ำในช่วงที่ปริมาณน้ำจืดมีมาก ความเค็มของน้ำจะผันแปรไปตามความลึกจากผิวน้ำด้วย ซึ่งผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ จากอิทธิพลของน้ำทะเลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในด้านความเค็มเป็นสำคัญ นั้นมีผลต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ผลกระทบต่อดิน ต่อพืชเกษตร ต่อการประมงชายฝั่ง ผลกระทบที่ทำความเสียหายในด้านความเค็มต่อเศรษฐกิจ

## 2.2 คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร

ดินเค็มที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ มักมีสาเหตุจากการใช้น้ำชลประทานที่คุณภาพไม่ดี หรือมีน้ำใต้ดินเค็มอยู่ใกล้ผิวดิน การนำน้ำที่คุณภาพไม่ดีมาใช้ในการเกษตร แม้วาน้ำนั้นจะเค็มไม่มาก เมื่อใช้ไปนาน ๆ ก็ทำให้เกิดเกลือสะสมในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีปริมาณฝนน้อยไม่พอที่จะชะล้างเกลือออกไปจากชั้นดินก็จะทำให้เกิดปัญหาดินเค็มมากขึ้น น้ำจากแหล่งต่าง ๆ มีคุณภาพแตกต่างกันไป น้ำที่มีคุณภาพดีนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก แต่บางพื้นที่ก็หลีกเลี่ยงได้ยากที่จะต้องนำน้ำคุณภาพต่ำมาใช้ในการชลประทาน จึงจำเป็นต้องมีการจัดการเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับดินและพืชที่ปลูก ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำมีผลต่อการเกษตร คือ ความเค็ม อัตราการซาบซึมของน้ำ (Water infiltration rate) และความเป็นพิษของธาตุบางชนิด (Specific ion toxicity)

ค่าความเค็มที่ปนอยู่ในน้ำชลประทานหรือมาจากน้ำใต้ดินที่อยู่ตื้นใกล้ผิวดินทำให้เกิดเกลือสะสมในดินบริเวณรากพืช เมื่อมีปริมาณมากขึ้นทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ เมื่อน้ำที่จะนำไปใช้ได้ลดลง พืชก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง มีอาการคล้ายพืชขาดน้ำ เช่น เหี่ยว สีเขียวเข้มขึ้น ใบหนาขึ้น มีสารเคลือบใบ อาการที่แสดงออกมากขึ้นกับระยะการเจริญเติบโตของพืช มักจะสังเกตได้ชัดเจนในระยะต้นอ่อน แต่บางกรณีที่เกิดไม่รุนแรงก็ไม่เห็นอาการผิดปกติเหล่านี้ เนื่องจากมี

อาการเหมือนกันหมดทั้งแปลง โดยเกลือที่ละลายน้ำได้และเคลื่อนย้ายไปกับน้ำ คุณภาพน้ำที่จะนำมาใช้เพื่อการเกษตรขึ้นกับปริมาณและชนิดของเกลือในน้ำ จะทำให้เกิดปัญหาดินเค็ม (สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2556) [2]

## 2.3 ดัชนีตรวจวัดคุณภาพน้ำ

### 2.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ คือ ความร้อนและความเย็นของน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศ ยกเว้นในฤดูร้อน อุณหภูมิของน้ำมีผลกระทบ คือ มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ การเจริญเติบโตของสัตว์และพืชน้ำมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิสูง หรืออาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำ โดยจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-35 °C และหยุดการเติบโตที่ 50 °C มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ พบว่าออกซิเจนละลายในน้ำได้ 7.54-9.08 mg/L ที่อุณหภูมิบรรยากาศ

### 2.3.2 ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS)

น้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) น้อยกว่า 7 ซึ่งมีความเป็นกรดสูงและมีฤทธิ์กัดกร่อน สำหรับการวัดค่า pH ทำได้ง่าย โดยการใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ  $[H^+]$  หรือการวัดโดยใช้ pH Meter เมื่อต้องการให้มีความละเอียดมากขึ้น ความเป็นด่าง (alkalinity) คือ สภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นด่างสูงจะประกอบด้วยไอออนของ  $OH^-, CO_3^{2-}, H_2CO_3$  ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพความเป็นด่างนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ต้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทั้ง สภาพกรด (acidity) โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์ในสภาพด่างจึงไม่ทำให้น้ำมีค่า pH ต่ำเกินไป แต่น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก  $CO_2$  ที่ละลายน้ำ

## 2.4 ตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Logic)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ หรือ ตรรกแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) (พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายความหมายไว้ว่า เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิถีความคิดซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกแบบจริงแท้ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial Ture) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริงกับแท้ (Completely Ture) (Completely Fales) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับแท้เท่านั้น [3]

### 2.4.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) (พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายความหมายไว้ว่าเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 เซตฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบ

ฟuzzy ไม่ใช้การเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดนิยามของฟuzzy กำหนดให้  $x$  เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟuzzy เซต  $A$  สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก [3]

$$\mu_A(x)X: \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

### 2.4.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) (พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายความหมายไว้ว่า เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟuzzy เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและการแก้ไขปัญหา [3]

#### 1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c\}$

$$\text{triangular}(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2)$$

#### 2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c, d\}$

$$\text{trapezoidal}(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

### 2.4.3 กฎฟuzzy (Fuzzy Rules)

กฎฟuzzy (Fuzzy Rules) (พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายความหมายไว้ว่า ในระบบฟuzzy องค์ความรู้สามารถแสดงในรูปประโยค [3]

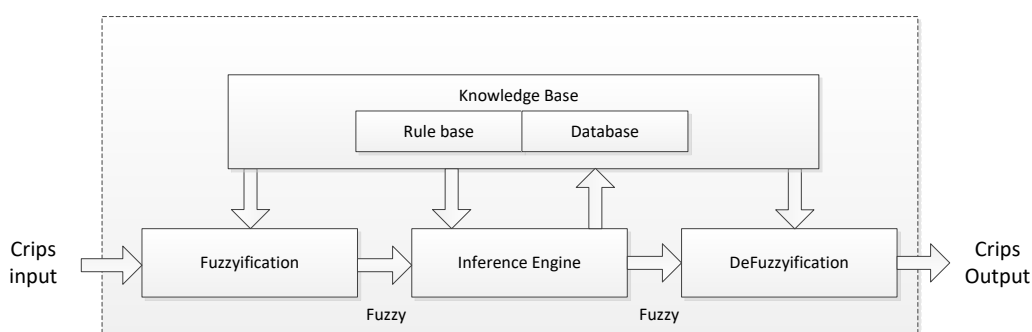
ถ้า ข้อตั้ง (ข้อนำ) ดังนั้น ข้อยุติ (ข้อตาม)

IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent)

“รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น” (IF-THEN rule-base form) หรือ รูปแบบนิรนัย (deductive form) ในรูปแบบการแสดงอนุมาน หากทราบความจริง (ข้อตั้ง ข้อสมมุติฐาน หรือข้อนำ) แล้วสามารถอนุมานหรือหาข้อสรุปความจริงอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า ข้อยุติหรือข้อตาม

#### 2.4.4 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Inference System)

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Inference System) แสดงดังภาพที่ 2.1 (พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายไว้ว่า โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนดังนี้ [3]



#### ภาพที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Inference System)

ส่วนแปลงอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมข้อมูลส่วนที่จำเป็น ได้แก่ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

#### 2.4.5 การประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Processing)

(พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Processing) มีรูปแบบการทำงานเป็น 5 ส่วนดังนี้ [3]

ส่วนที่ 1 การแปลงการอินพุตแบบทั่วไปเป็นค่าฟัซซี (fuzzification) เป็นการคำนวณค่าฟัซซีผ่านฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากส่วนข้อสมมุติฐานของกฎฟัซซีเพื่อหาค่าดีกรีระหว่าง 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 2 การรวมค่าฟัซซีจากส่วนข้อสมมุติฐาน (combining) เป็นการรวมค่าฟัซซีจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในส่วนข้อสมมุติฐานของกฎของกฎข้อเดียวกันเข้าด้วยกัน โดยใช้ตัวดำเนินการ fuzzy AND (min) หรือ fuzzy OR (max) ทำเป็นดีกรีค่าความแข็งแรงเป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ส่งออกไปจากส่วนข้อสมมุติฐาน

ขั้นตอนที่ 3 การตีความ (implication) เป็นการใช้ค่าดีกรีฟัซซีสนับสนุนจากทั้งกฎเพื่อกำหนดค่ารูปร่างของฟัซซีเซตเอาต์พุตของกฎ ข้อตามของกฎฟัซซีเป็นสิ่งกำหนดฟัซซีเซตที่เอาต์พุตซึ่งแสดงโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ถูกกำหนดไว้เพื่อแสดงปริมาณของข้อตาม ถ้าข้อสมมุติฐานถูกต้องเพียงบางส่วน (ค่าฟัซซีต่ำกว่า 1) ฟัซซีเซตเอาต์พุตจะถูกตัดออกไป วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความ ได้แก่ Max-Min method และ Max-Dot method

ขั้นตอนที่ 4 การรวมค่าฟัซซีเอาต์พุตจากกฎทุกข้อ (aggregation) เป็นการรวมค่าจากข้อตามหรือข้อสรุปของกฎทุกข้อเพื่อเป็นฟัซซีเซตของระบบทั้งหมดด้วยวิธี fuzzy OR

ขั้นตอนที่ 5 การทำค่าฟัซซีเป็นค่าปกติ (defuzzification) เป็นการทำให้ค่าฟัซซีเอาต์พุตที่รวมจากกฎทุกข้อเป็นค่าปกติที่ใช้ในงานจริงในบางส่วน เช่น ในระบบควบคุม

สำหรับขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 เป็นขั้นตอนของวิธีการทั่วไปสำหรับการประมวลผลแบบฟัซซีและขั้นตอนที่ 5 เป็นทางเลือกสำหรับการทำให้ค่าฟัซซีเซตเอาต์พุตเป็นค่าปกติ

(พยุงมี สัจ, 2555) อธิบายวิธีการหาค่าฟัซซีให้เป็นค่าทั่วไป (Defuzzification) มีหลายวิธีด้วยกัน [3]

วิธีเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average method) หรือวิธีค่าพื้นที่กลาง (Centroid of area) วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ใต้กราฟฟัซซีซึ่งเป็นผลที่ได้จากการตีความ ค่าที่ได้จะประมาณเทียบเคียงค่าจุดศูนย์ถ่วงโดยรวม (central of gravity: cog) จะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{\tilde{C}}(Z_i) \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^N \mu_{\tilde{C}}(Z_i)} \quad (4)$$

โดยสมการ ได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

- $z^*$  แทน ค่าที่ได้จากการเปลี่ยนค่าฟัซซีเป็นค่าปกติ
- $N$  แทน จำนวนจุดที่ต้องการถ่วงน้ำหนัก
- $\mu_{\tilde{C}}(z_i)$  แทน ค่าฟัซซีของเอาต์พุทในเซตฟัซซีตำแหน่งที่  $i$
- $z_i$  แทน ค่าจริงภายใต้กราฟฟัซซีตำแหน่งที่  $i$

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Anna F Rusydi, 2017) ได้ศึกษาค่า EC (Electrical conductivity) และค่า TDS (Total dissolved solids) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำรวมถึงอธิบายถึงค่าความเค็ม ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่านี้มีความสัมพันธ์แบบปกติอธิบายได้จาก  $TDS = k EC$  ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เอกสารนี้แสดงค่าอัตราส่วน TDS หรือ EC ที่พิจารณาโดยหาค่าจากค่าอัตราส่วน [5]

(Priya KL, 2013) ได้ศึกษาแนวทางการนำตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือมาใช้เพื่อประเมินคุณภาพน้ำชลประทาน กรณีศึกษา ลุ่มน้ำคาร์รันยา ประเทศอินเดีย โดยพิจารณาพารามิเตอร์ SAR และ EC ว่าสอดคล้องกับการจำแนกคุณภาพน้ำของ USSL (United States Salinity Laboratory) ผลการศึกษาพบว่าตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือที่นำมาใช้นั้นสอดคล้องกับการการจำแนกคุณภาพน้ำของ USSL (United States Salinity Laboratory) [6]

(Samad Abdi, et al, 2015) ได้ศึกษาการประเมินคุณภาพน้ำใต้ดินของที่ราบ ราบแพนจา ประเทศอิหร่าน ด้วยวิธีตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือ โดยการศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำชลประทานของ FAO เพื่อสร้าง FIS โดยใช้ค่า salinity และค่า sodicity hazard เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำ ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำที่ราบดังกล่าวคุณภาพไม่ดี ถึง ปานกลาง [7]

(สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน, 2557) ได้ดำเนินการเกี่ยวกับแอปพลิเคชันศูนย์ประมวลวิเคราะห์สถานการณ์น้ำ กรมชลประทาน เพื่อรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญต่าง ๆ ของศูนย์ประมวลวิเคราะห์สถานการณ์น้ำ สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำของกรมชลประทาน รวมถึงพัฒนาและจัดทำแอปพลิเคชันที่สนับสนุนในการบันทึกและเรียกใช้ข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูลให้สามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว พร้อมทั้งแสดงผลในรูปแบบของข่าวสารที่สามารถนำไปเผยแพร่ให้กับหน่วยงานทั้งภายในและภายนอกได้ [4]

(ASaberi Nasr, 2012) ได้ศึกษาแนวทางการนำตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำบาดาลในจังหวัด ยาสต์ ประเทศอิหร่าน ผู้วิจัยได้นำค่าพารามิเตอร์ทางเคมีที่วัดได้ในตัวอย่างของน้ำบาดาล 60 ตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่าตัวอย่างคุณภาพน้ำบาดาล 20 กลุ่มตัวอย่าง อยู่ในระดับน่าพอใจ 20 กลุ่มตัวอย่าง อยู่ในระดับยอมรับได้ และ 20 กลุ่มตัวอย่าง อยู่ในระดับยอมรับไม่ได้ สำหรับวัตถุประสงค์ในการดื่ม [8]

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร

##### 3.1.1 การศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร

การศึกษาข้อมูลการคัดแยกและการใช้น้ำชลประทานว่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเกษตรควรมีความเค็ม (Salinity) อยู่ในระดับใด จากข้อมูลศึกษางานวิจัยของ (FAO, 1976) [9] กล่าวถึงการศึกษาคูณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการชลประทานและวิธีการวิเคราะห์ที่ตัวอย่างน้ำรวมถึงการคัดแยกคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการชลประทาน จากงานวิจัยของ (Anna F Rusydi, 2017) [5] กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) ต่อค่าอัตราส่วนของคุณภาพน้ำ จากงานวิจัยของ (Samad Abdi, et al.,2015) [7] กล่าวถึงการประเมินค่าความเค็มและความเป็นอันตรายสำหรับน้ำเพื่อการชลประทานโดยใช้พีชชีลอจิก จากการศึกษาข้อมูลทั้ง 3 แหล่งพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเค็ม (Salinity) คือ ค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) หรือค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) จะแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation ในส่วนของค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานของค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) มีเพียง 3 ระดับคือ ระดับไม่มีผลกระทบ (None), ระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง (Slight to Moderate) และ ระดับรุนแรง (Severe) แต่จะสังเกตได้ว่าค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานดังกล่าวจะมีเพียง 3 ระดับเท่านั้น หากนำไปใช้ในการเฝ้าระวังจะส่งผลให้การเฝ้าระวังจะไม่สามารถเตือนให้ทันเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้

ตารางที่ 3.1 FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation

Potential Irrigation Problem	Units	Degree of Restriction on Use			
		None	Slight to Moderate	Severe	
<b>Salinity</b> ( <i>Affects crop water availability</i> )					
EC <sub>w</sub> (or)	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0	
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000	
<b>Infiltration</b> ( <i>Affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC<sub>w</sub> and SAR together</i> )					
SAR	0 – 3	and EC <sub>w</sub>	>0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	3 – 6		>1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	6 – 12		>1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	12 – 20		>2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	20 – 40		>5.0	5.0 – 2.9	< 2.9

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ งบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2563

โครงการวิจัย เรื่อง “การพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี”

คณะผู้วิจัย: ศิริชัย สารมนัส และวรินทร์ บุญยะโรจน์

ตารางที่ 3.1 FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation (ต่อ)

Specific Ion Toxicity (Affects sensitive crops)				
Sodium (Na)	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	surface irrigation	me/l	< 3	> 3
sprinkler irrigation				
Chloride (Cl)	surface irrigation	me/l	< 4	4 – 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3
Boron (B)	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	Trace Elements			
Miscellaneous Effects (Affects susceptible crops)				
Nitrogen (NO <sup>3</sup> - N)	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO <sup>3</sup> )	(overhead sprinkling only)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5
pH	Normal Range 6.5 – 8.4			

ทางคณะผู้จัดทำจึงได้แบ่งค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานของค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) โดยยึดข้อมูลค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานจาก ตารางที่ 3.1 FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation และ เอกสารเผยแพร่ของ (Terrie K. Boguski, P.E., 2006) [10] กล่าวถึง Units of Measurement เป็นพื้นฐาน สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระดับดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การแบ่งค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานจากข้อมูลพื้นฐาน FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation

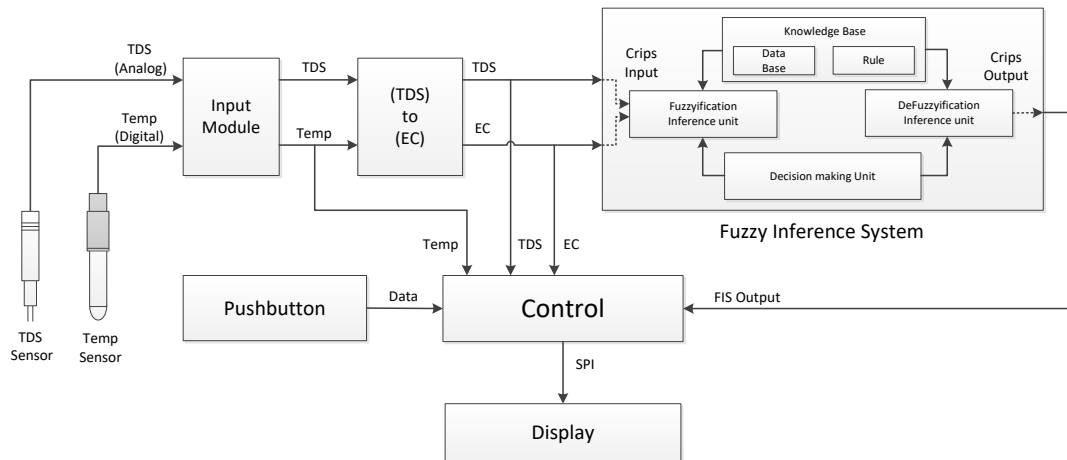
Potential Irrigation Problem	Units	Degree of Restriction on Use				
		LOW	MIDLOW	MID	MIDHIGH	HIGH
Salinity						
<i>(affects crop water availability)</i>						
EC <sub>w</sub> (or)	dS/m	<0.7	0.71 – 1.44	1.47 – 2.220	2.23 – 2.99	>3.0
TDS	ppm	<450	458 – 966	967 – 1,483	1,484 – 1,999	> 2,000

### 3.2 การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบจะแสดงดังภาพที่ 3.1 ภาพระบบการเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็ม คณะผู้วิจัยทำการแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การนำข้อมูลเข้าก่อนการตัดสินใจ

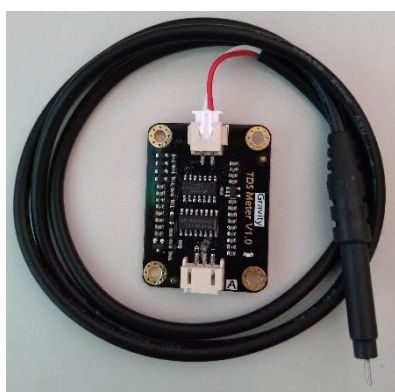
ส่วนที่ 2 การตัดสินใจ Fuzzy Inference System



ภาพที่ 3.1 แผนผังระบบการเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็ม

### 3.3 การนำข้อมูลเข้าก่อนการตัดสินใจ

การทำงานส่วนที่ 1 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อ่านค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS Sensor ทำหน้าที่อ่านข้อมูลค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) ทำงานร่วมกับ Input Module ข้อมูลที่อ่านได้เป็นแบบแอนะล็อก (Analog) แสดงดังภาพที่ 3.2 (a) อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิ Temperature Sensor ทำหน้าที่อ่านค่าอุณหภูมิทำงานร่วมกับ Input Module ข้อมูลที่อ่านได้เป็นแบบดิจิทัล Digital แสดงดังภาพที่ 3.2 (b) การแปลงค่าจาก TDS เป็นค่า EC (TDS) to (EC) ทำหน้าที่การแปลงค่าจากค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) เป็นค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ต่อสารละลายโซเดียม จากข้อมูลเอกสารเผยแพร่ของ (Clarence C) [11]



(a)

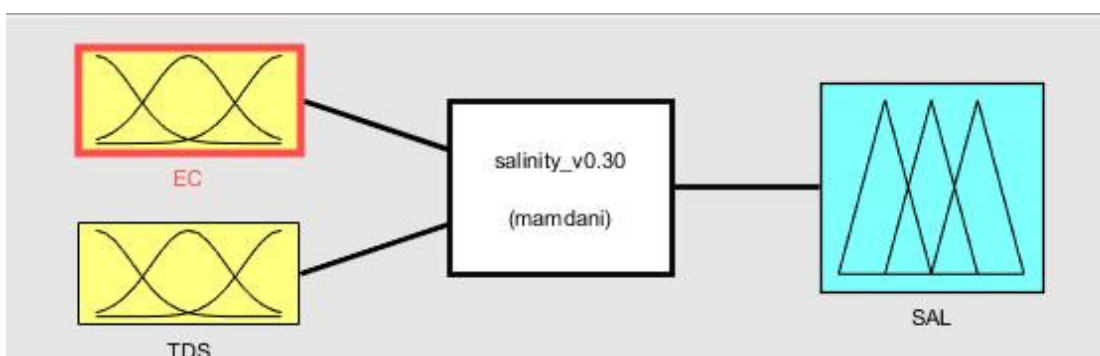


(b)

ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์อ่านค่า TDS Sensor (a) และ อุปกรณ์อ่านค่า Temperature Sensor (b)

### 3.4 การประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก (Fuzzy Inference System)

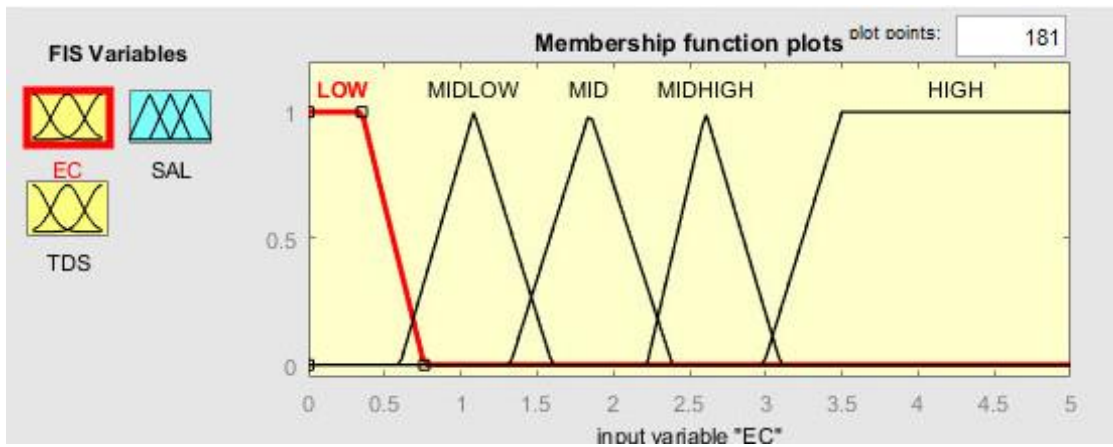
ส่วนการตัดสินใจ Fuzzy Inference System ทำการสร้าง Fuzzy Inference System Model โดยใช้ข้อมูลจากการแบ่งค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานจากข้อมูลพื้นฐาน FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation ในตารางที่ 3.2 พิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) คณะผู้วิจัยเลือก Mamdani Fuzzy Inference System ในการสร้างโมเดล เนื่องจากระบบดังกล่าวรองรับอินพุตที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้ และง่ายต่อการทำความเข้าใจกฎการตัดสินใจของระบบ ในการออกแบบสร้าง Fuzzy Inference System Model คณะผู้วิจัยใช้ fuzzy logic toolbox เป็นเครื่องมือที่อยู่ในซอฟต์แวร์ MATLAB R2015B ช่วยในการออกแบบ ส่วนของ Fuzzy Inference System Model ที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจแบบ Fuzzy Logic ทำหน้าที่คัดแยกค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งาน ระบบดังกล่าวจะมีอินพุตจำนวน 2 อินพุตเป็นค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) มีเอาต์พุตจำนวน 1 เอาต์พุตเป็นค่าระดับความเค็ม SAL (Salinity) แสดงดังภาพที่ 3.3



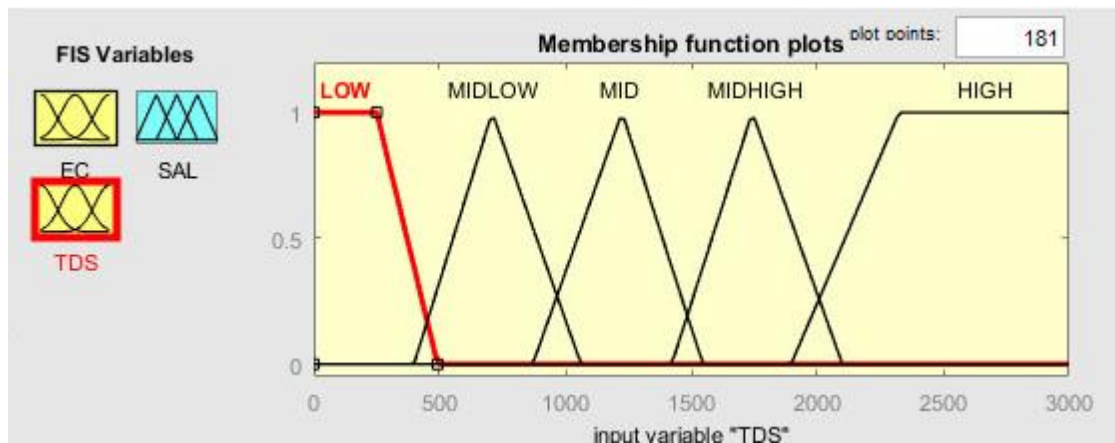
ภาพที่ 3.3 Fuzzy Inference System Model

อินพุต EC เป็นอินพุตที่ใช้ในการนำข้อมูลค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) และอินพุต TDS เป็นอินพุตที่ใช้ในการนำข้อมูลค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) เข้ามาในระบบ เพื่อคัดแยกและตัดสินใจในระบบ

การออกแบบ Member Ship Function ของอินพุตจะออกแบบตามข้อมูลการแบ่งค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้จากตารางที่ 3.2 การแบ่งค่าระดับความเค็มต่อการนำไปใช้งานจากข้อมูลพื้นฐาน FAO guideline for interpretations of water quality of irrigation ค่าอินพุต Member Ship Function ของค่า EC และ TDS จะมีการแบ่งระดับออกเป็น 5 ระดับคือ ‘LOW’, ‘MIDLOW’, ‘MID’, ‘MIDHIGH’, ‘HIGH’ ดังภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5

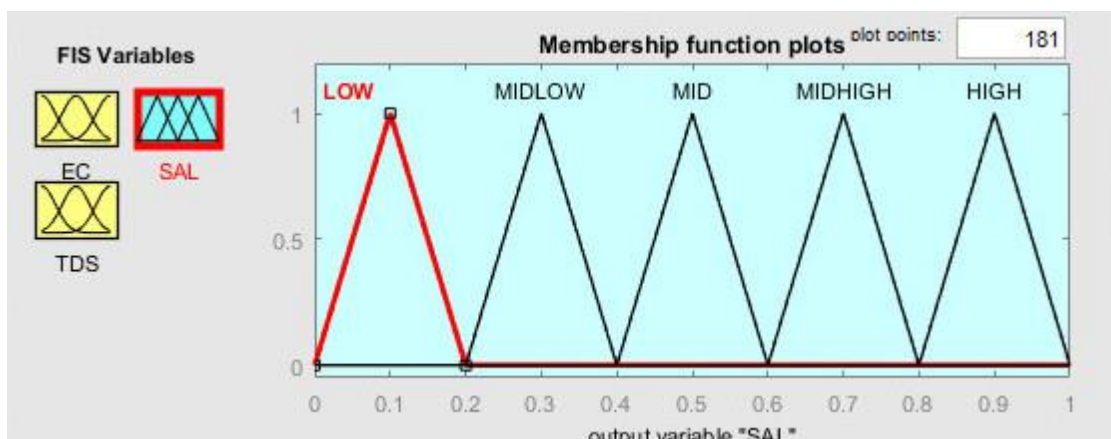


ภาพที่ 3.4 EC Membership function



ภาพที่ 3.5 TDS Membership function





ภาพที่ 3.6 OUTPUT Membership function

การออกแบบ Member Ship Function ของเอาต์พุตจะมีการแบ่งระดับออกเป็น 5 ระดับ คือ 'LOW', 'MIDLOW', 'MID', 'MIDHIGH', 'HIGH' ดังภาพที่ 3.6

จากอินพุต Member Ship Function ของอินพุต EC และ TDS มีจำนวนอินพุตทั้งหมดอย่างละ 5 อินพุตจะต้องเขียนกฎ fuzzy logic ให้เชื่อมต่อกับเอาต์พุต Member Ship Function ทั้งหมด โดยใช้กฎ (fuzzy if-then rules) เพื่อใช้ในการตัดสินใจคัดแยกระดับค่าความเค็มจะต้องสร้างกฎดังนี้

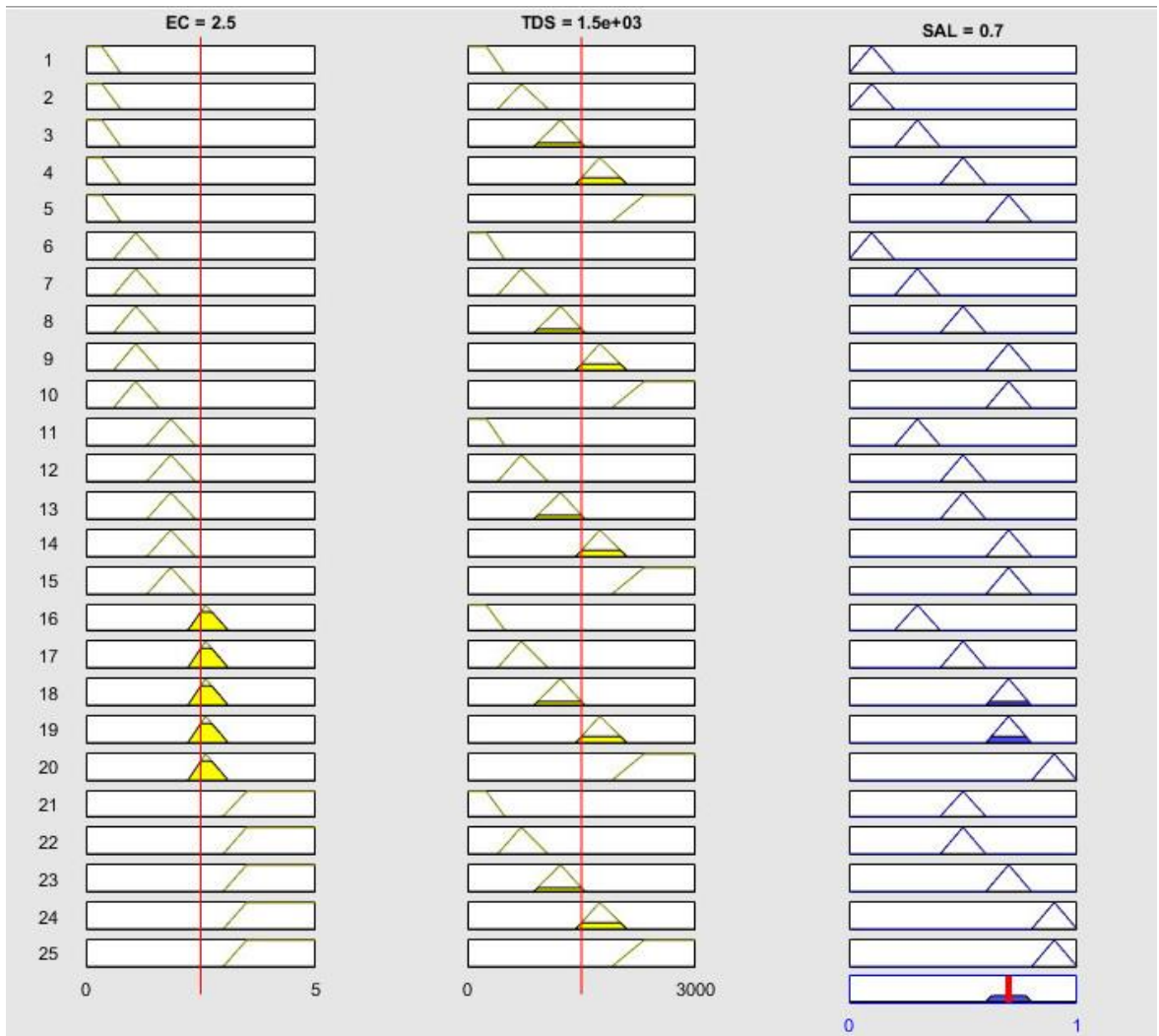
1. IF EC is LOW and TDS is LOW	then SAL is LOW
2. IF EC is LOW and TDS is MIDLOW	then SAL is LOW
3. IF EC is LOW and TDS is MID	then SAL is MIDLOW
4. IF EC is LOW and TDS is MIDHIGH	then SAL is MID
5. IF EC is LOW and TDS is HIGH	then SAL is MIDHIGH
6. IF EC is MIDLOW and TDS is LOW	then SAL is LOW
7. IF EC is MIDLOW and TDS is MIDLOW	then SAL is MIDLOW
8. IF EC is MIDLOW and TDS is MID	then SAL is MID
9. IF EC is MIDLOW and TDS is MIDHIGH	then SAL is MIDHIGH
10. IF EC is MIDLOW and TDS is HIGH	then SAL is MIDHIGH
11. IF EC is MID and TDS is LOW	then SAL is MIDLOW
12. IF EC is MID and TDS is MIDLOW	then SAL is MID
13. IF EC is MID and TDS is MID	then SAL is MID
14. IF EC is MID and TDS is MIDHIGH	then SAL is MIDHIGH
15. IF EC is MID and TDS is HIGH	then SAL is MIDHIGH

16. IF EC is MIDHIGH and TDS is LOW	then SAL is MIDLOW
17. IF EC is MIDHIGH and TDS is MIDLOW	then SAL is MID
18. IF EC is MIDHIGH and TDS is MID	then SAL is MIDHIGH
19. IF EC is MIDHIGH and TDS is MIDHIGH	then SAL is MIDHIGH
20. IF EC is MIDHIGH and TDS is HIGH	then SAL is HIGH
21. IF EC is HIGH and TDS is LOW	then SAL is MID
22. IF EC is HIGH and TDS is MIDLOW	then SAL is MID
23. IF EC is HIGH and TDS is MID	then SAL is MIDHIGH
24. IF EC is HIGH and TDS is MIDHIGH	then SAL is HIGH
25. IF EC is HIGH and TDS is HIGH	then SAL is HIGH

HIGH	MIDHIGH	MIDHIGH	MIDHIGH	HIGH	HIGH
MIDHIGH	MID	MIDHIGH	MIDHIGH	MIDHIGH	HIGH
MID	MIDLOW	MID	MID	MIDHIGH	MIDHIGH
MIDLOW	LOW	MIDLOW	MID	MID	MID
LOW	LOW	LOW	MIDLOW	MIDLOW	MID
TDS \ EC	LOW	MIDLOW	MID	MIDHIGH	HIGH

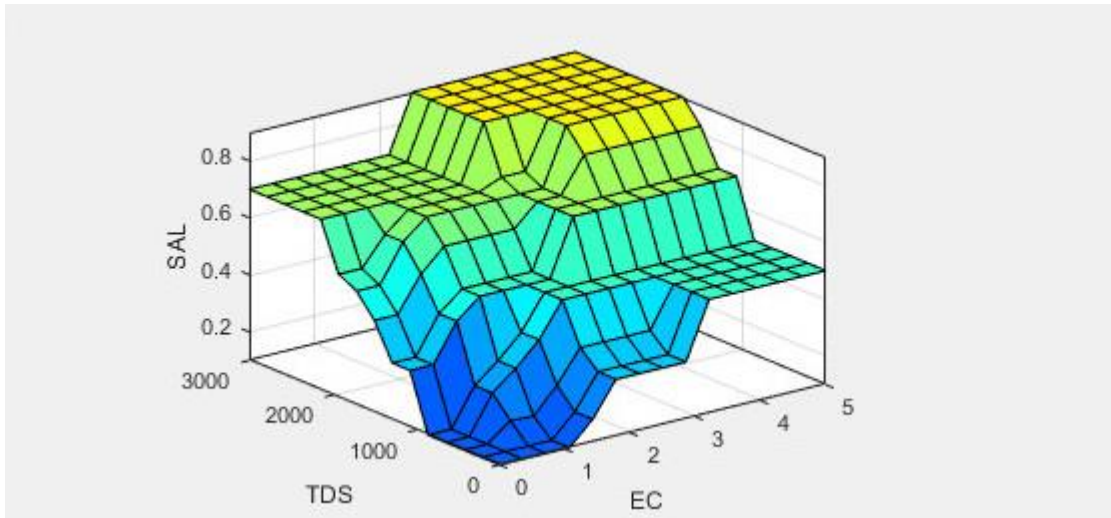
ภาพที่ 3.7 ข้อมูลของกฎ (Fuzzy if-then rules) ทั้งหมด

จากการสร้างกฎ (fuzzy if-then rules) ทั้งหมด 25 กฎ แสดงได้ดังภาพที่ 3.8



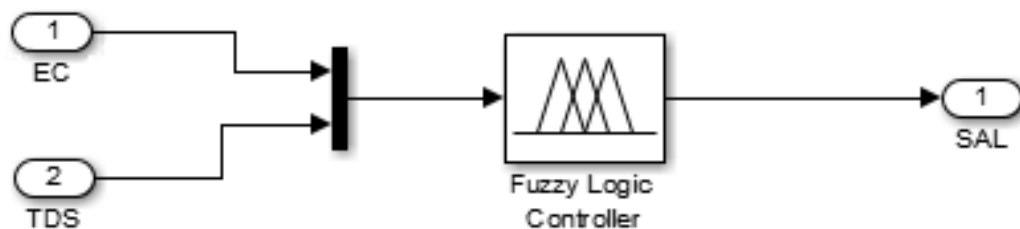
ภาพที่ 3.8 ข้อมูลของกฎแบบกราฟิกจำนวน 25 กฎ

ส่วนการแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง อินพุต Member Ship Function เอาต์พุต Member Ship Function และข้อมูลของกฎ (fuzzy if-then rules) ทั้งหมดแสดงแบบ Surface viewer ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 Surface viewer ระหว่าง TDS EC และ SAL

เมื่อทำการทดสอบ Fuzzy Inference System Model (FIS) เสร็จสิ้น ดำเนินการติดตั้ง Fuzzy logic model ที่สร้างขึ้นลงอุปกรณ์ Microcontroller โดยการนำ Fuzzy logic mode ติดตั้งใน Simulink model เพื่อแปลง Fuzzy logic mode ให้อยู่ในรูปแบบภาษา C ที่เหมาะสมต่อการนำไปติดตั้งในอุปกรณ์ Microcontroller ARM STM32F4 โดยกำหนดให้มีอินพุตจำนวน 2 อินพุต ประกอบด้วย EC และ TDS ส่วนเอาต์พุตมี 1 เอาต์พุตกำหนดให้เป็น SAL ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แสดง Simulink model ที่ติดตั้ง Fuzzy logic model

### 3.5 การทำงานของระบบ

ส่วนการควบคุมการทำงานของ Control ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบใช้ Microcontroller ARM STM32F4 ส่วนการควบคุมจะควบคุมการนำข้อมูลเข้าและออกดังนี้

ตัวอ่านข้อมูลค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS Sensor) ผ่านทางพอร์ต ADC (Analog to Digital Converters)

ตัวอ่านค่าอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ผ่านทางพอร์ต Digital

ปุ่มกด (Pushbutton) ผ่านทางพอร์ต ADC (Analog to Digital Converters) และพอร์ต Digital

ส่วนแสดงผล (Display) ผ่านทางพอร์ต SPI (Serial Peripheral Interface)

ส่วนของ EC (TDS) to (EC) เป็นฟังก์ชันที่อยู่ภายในโปรแกรมควบคุมการทำงานแสดงการทำงานแบบภาพรวมของระบบดังภาพที่ 3.11 ส่วน Fuzzy Inference System เป็นฟังก์ชันที่ถูกสร้างขึ้นโดย Simulink และติดตั้งอยู่ภายในโปรแกรมควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่ตัดสินใจข้อมูลแบบ Fuzzy Logic

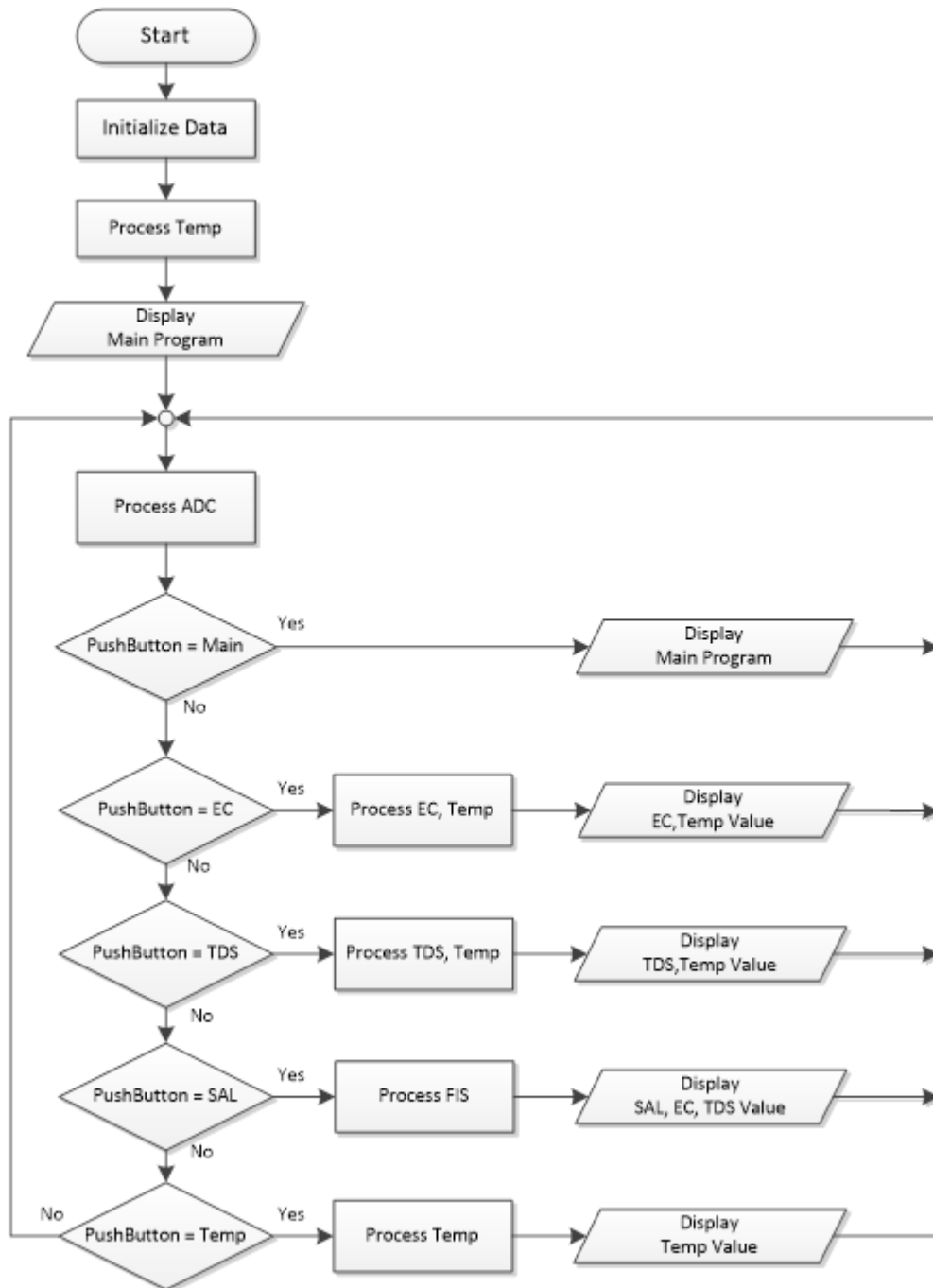
การทำงานของระบบจะแสดงดังภาพที่ 3.11 เริ่มต้นจากระบบจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของระบบ อาทิเช่น ส่วนการเชื่อมต่อระบบ Serial Peripheral Interface (SPI) Analog-to-digital converter (ADC) และส่วนอ่านข้อมูลจากค่า Sensor ด้วย Initialize Data จากนั้นระบบทำการอ่านข้อมูลอุณหภูมิแบบ Digital จาก Process Temp จากนั้นทำการแสดงส่วน Main Program บนส่วนแสดงผลของระบบ จากนั้น ทำการอ่านข้อมูลจากพอร์ต Analog-to-digital converter (ADC) เพื่อทำการอ่านค่าจาก Sensor TDS และอ่านค่าการกดปุ่มจาก Process ADC จากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบค่าที่อ่านเข้ามาตรง กับคำสั่งการทำงานของปุ่มใด ระบบจะดำเนินการประมวลผลตามคำสั่ง หากระบบตรวจสอบแล้วไม่พบการอ่านค่าการกดปุ่ม ระบบจะเริ่มต้นอ่านข้อมูลจากพอร์ต Analog-to-digital converter (ADC) ด้วย Process ADC ซ้ำแบบ Loop

การทำงานของ Process EC, Temp จะทำการอ่านค่าจาก Sensor และคำนวณค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) จากค่า factor และคำนวณค่าจาก Sensor Temp จากนั้นทำการแสดงผลค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) และค่าอุณหภูมิ (Temperature) บนส่วนแสดงผลของระบบ

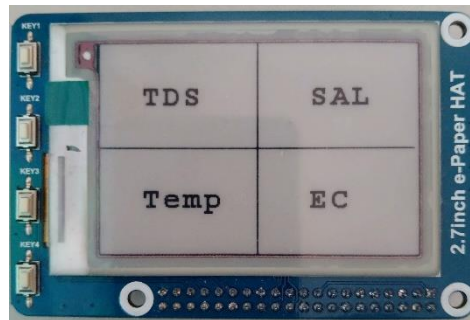
การทำงานของ Process TDS, Temp จะทำการอ่านค่าจาก Sensor และคำนวณค่า TDS จากค่า factor และคำนวณค่าจาก Sensor Temp จากนั้นทำการแสดงผลค่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) และค่าอุณหภูมิ (Temperature) บนส่วนแสดงผลของระบบ

การทำงานของ Process FIS จะทำการคำนวณค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) และ ค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical conductivity) ในรูปแบบ Fuzzy Logic ด้วย Fuzzy Inference System Model (FIS) ที่สร้างขึ้น จากนั้นทำการแสดงผลออกเป็นค่าระดับค่าความเค็ม (Salinity) SAL บนส่วนแสดงผลของระบบ

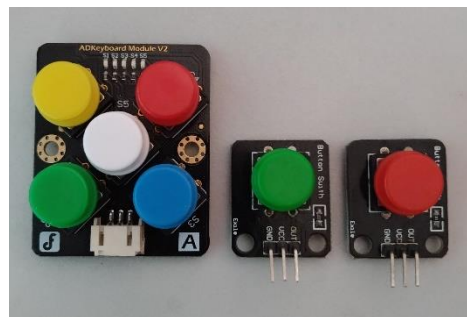
การทำงานของ Process Temp จะทำการอ่านค่าจาก Sensor Temp แบบ Digital ด้วย 1-WIRE จากนั้นทำการแสดงผลค่าอุณหภูมิ (Temperature) บนส่วนแสดงผลของระบบ



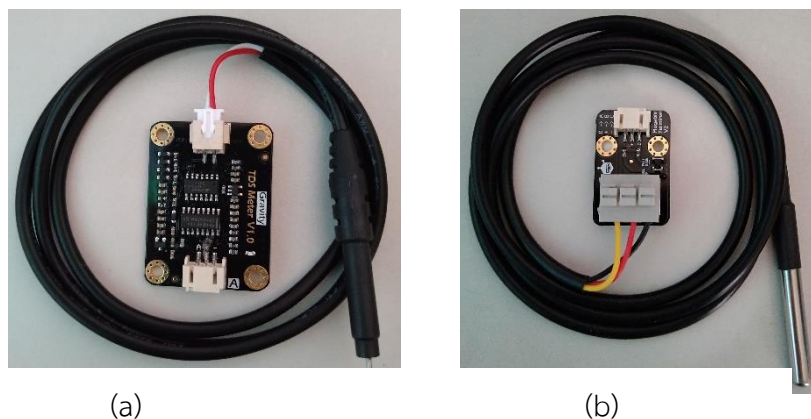
ภาพที่ 3.11 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบ



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างแผงวงจรส่วนแสดงผลการทำงานของระบบ



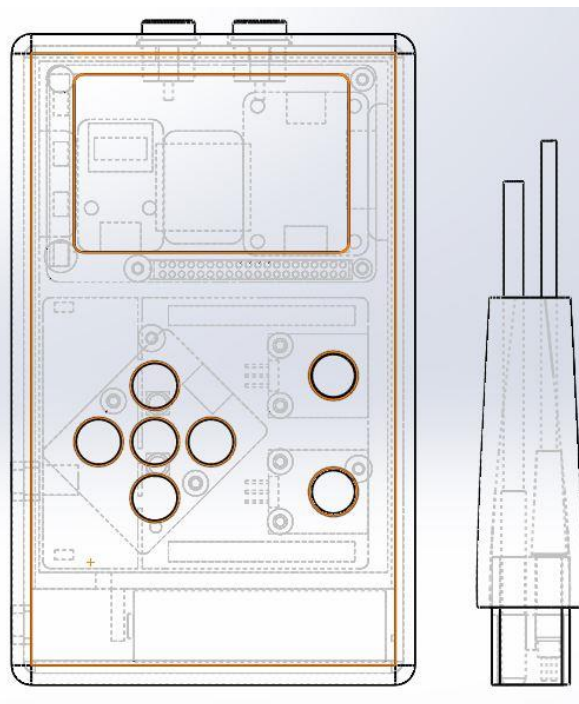
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างแผงวงจรส่วนนำข้อมูลเข้าของระบบ



ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์อ่านค่า TDS Sensor (a) และ อุปกรณ์อ่านค่า Temperature Sensor (b)



ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างแผงวงจรส่วนควบคุมการทำงานของระบบ



ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างแบบร่างกล่องใส่แผงวงจรและอุปกรณ์

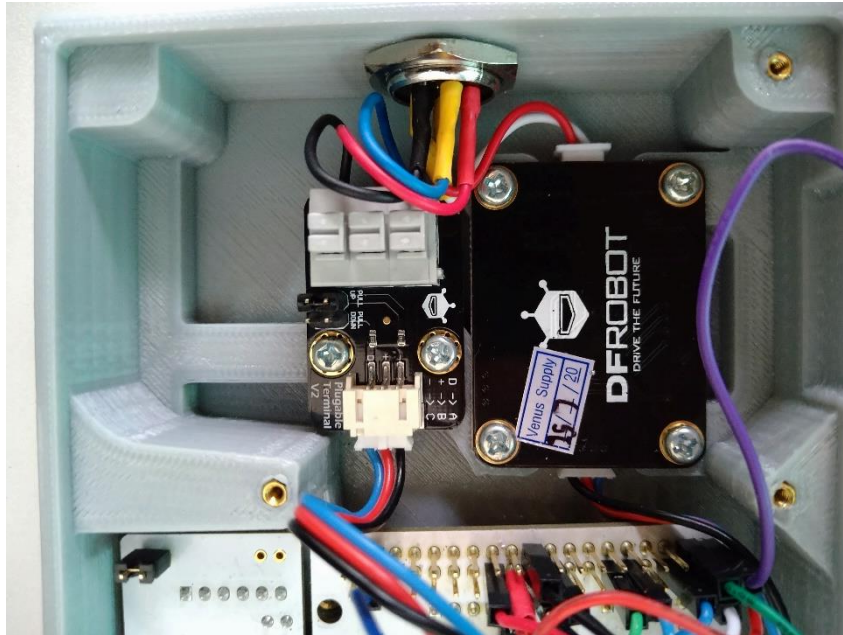




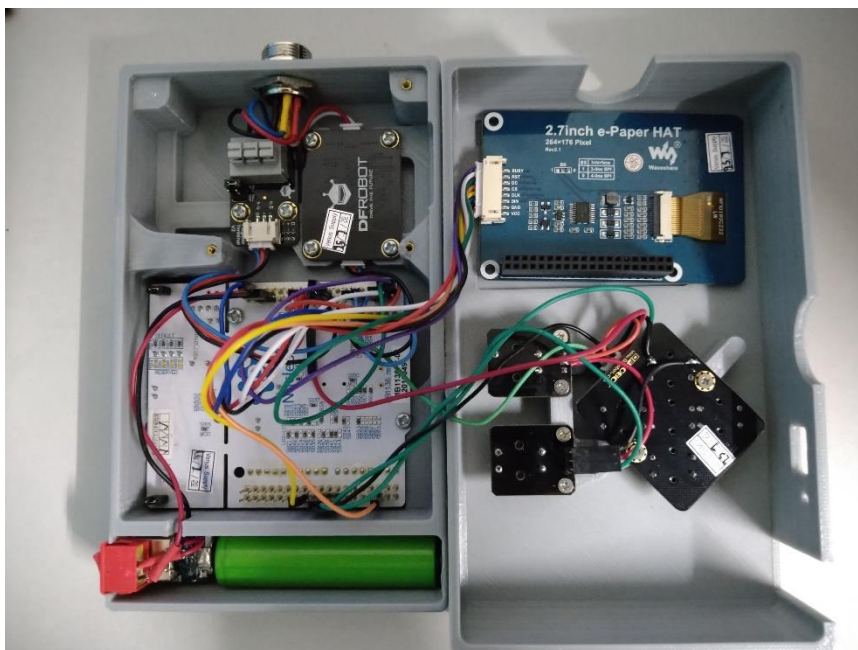
ภาพที่ 3.17 ตัวอย่างแบบร่าง 3D กล้องใส่แผงวงจรและอุปกรณ์



ภาพที่ 3.18 ตัวอย่างกล้องใส่แผงวงจรและอุปกรณ์



ภาพที่ 3.19 ตัวอย่างการติดตั้งแผงวงจรอุปกรณ์ตรวจวัด



ภาพที่ 3.20 ตัวอย่างการติดตั้งแผงวงจรและอุปกรณ์ลงกล่อง



ภาพที่ 3.21 กล่องใส่แผงวงจรและอุปกรณ์แบบสำเร็จ



ภาพที่ 3.22 ตัวอย่างการวัดค่า EC (Electrical Conductivity)



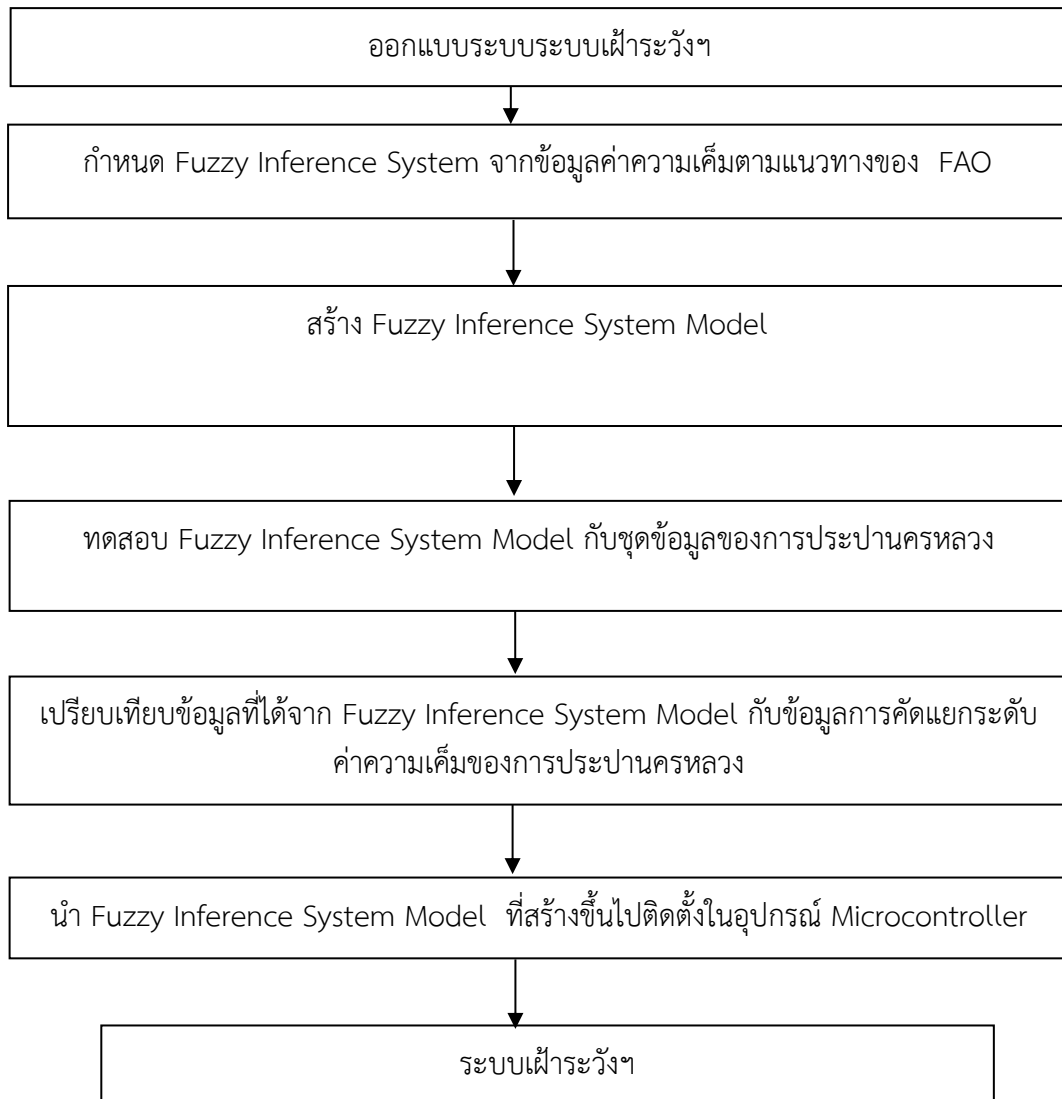
ภาพที่ 3.23 ตัวอย่างการวัดค่า TDS (Total dissolved solids)



ภาพที่ 3.24 ตัวอย่างการวัดค่าระดับความเค็ม (Salinity)



ภาพที่ 3.25 ตัวอย่างการวัดค่าอุณหภูมิ (Temperature)



ภาพที่ 3.26 ภาพรวมแสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย

## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.3 ประสิทธิภาพของส่วนการตัดสินใจ

การทดสอบ Fuzzy Inference System Model คณะผู้วิจัยใช้การแบ่งข้อมูลการทดสอบให้มีขนาดเท่ากันโดยข้อมูลที่จะทำการทดสอบจะครอบคลุมช่วงข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) ช่วงข้อมูล 0 ถึง 3.0 dS/m และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) ช่วงข้อมูล 0 ถึง 3,000 ppm แสดงดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ตารางข้อมูลและผลการทดสอบ Fuzzy Inference System Model

EC	TDS	FIS Score	FIS Class	EC	TDS	FIS Score	FIS Class
0.000	0	0.1	LOW	0.710	451	0.200274	MIDLOW
0.070	45	0.1	LOW	0.785	502.5	0.3	MIDLOW
0.140	90	0.1	LOW	0.860	554	0.3	MIDLOW
0.210	135	0.1	LOW	0.935	605.5	0.3	MIDLOW
0.280	180	0.1	LOW	1.010	657	0.3	MIDLOW
0.350	225	0.1	LOW	1.085	708.5	0.3	MIDLOW
0.420	270	0.1	LOW	1.160	760	0.3	MIDLOW
0.490	315	0.1	LOW	1.235	811.5	0.3	MIDLOW
0.560	360	0.1	LOW	1.310	863	0.3	MIDLOW
0.630	405	0.114876	LOW	1.385	914.5	0.352245	MIDLOW
0.700	450	0.198257	LOW	1.460	966	0.399771	MIDLOW
1.470	967	0.403436	MID	2.230	1484	0.600147	MIDHIGH
1.545	1018.6	0.453236	MID	2.305	1535.5	0.67258	MIDHIGH
1.620	1070.2	0.5	MID	2.380	1587	0.7	MIDHIGH
1.695	1121.8	0.5	MID	2.455	1638.5	0.7	MIDHIGH
1.770	1173.4	0.5	MID	2.530	1690	0.7	MIDHIGH
1.845	1225	0.5	MID	2.605	1741.5	0.7	MIDHIGH
1.920	1276.6	0.5	MID	2.680	1793	0.7	MIDHIGH
1.995	1328.2	0.5	MID	2.755	1844.5	0.7	MIDHIGH
2.070	1379.8	0.5	MID	2.830	1896	0.7	MIDHIGH
2.145	1431.4	0.517443	MID	2.905	1947.5	0.752343	MIDHIGH
2.220	1483	0.598627	MID	2.980	1999	0.799586	MIDHIGH

ตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลและผลการทดสอบ Fuzzy Inference System Model (ต่อ)

EC	TDS	FIS Score	FIS Class
2.981	2000	0.8	HIGH
2.983	2100	0.9	HIGH
2.985	2200	0.9	HIGH
2.987	2300	0.9	HIGH
2.989	2400	0.9	HIGH
2.991	2500	0.9	HIGH
2.992	2600	0.9	HIGH
2.994	2700	0.9	HIGH
2.996	2800	0.9	HIGH
2.998	2900	0.9	HIGH
3.000	3000	0.9	HIGH

#### 4.2 การทดสอบแบบ 10-fold cross validation

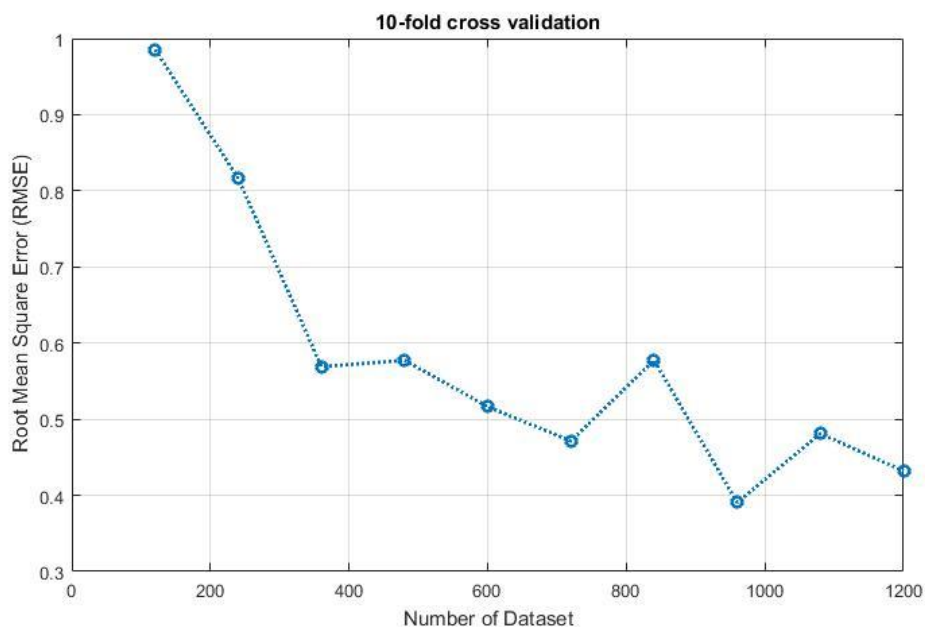
จากนั้นทำการทดสอบ Fuzzy Inference System Model (FIS) กับข้อมูลโครงการระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำแบบ Real Time ของการประปานครหลวง ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบนั้นเป็นการจัดเก็บข้อมูล ณ สถานีวัดมะขามระหว่างวันที่ 22 ถึง 31 มกราคม 2563, 1 ถึง 20 กุมภาพันธ์ 2563, 25 ถึง 31 มีนาคม 2563 และ 15 ถึง 24 เมษายน 2563 ข้อมูลที่ใช้ทำการทดสอบนั้นมีจำนวน 1,200 ข้อมูล การทำการทดสอบแบบ 10-fold cross validation เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องในการคัดแยกข้อมูลค่าระดับความเค็ม ข้อมูลผลการทดสอบแสดงตารางที่ 4.2 และแสดงดังภาพที่ 4.1 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่า Root Mean Square Error (RMSE) มีค่าค่อนข้างต่ำค่าเฉลี่ย RMSE อยู่ที่ 0.58175 แสดงว่า Fuzzy Inference System Model ที่สร้างขึ้นสามารถคัดแยกข้อมูลได้ใกล้เคียงกับข้อมูลคัดแยกที่กำหนด

ทำการทดสอบ fuzzy logic model ที่ติดตั้งในอุปกรณ์ Microcontroller โดยกำหนดค่าอินพุต EC และ TDS เป็นค่าสุ่มอยู่ในช่วงข้อมูลในตารางที่ 3.2 ผลลัพธ์ของการทดสอบแสดงดังข้อมูลในตารางที่ 4.3



ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดสอบ 10-fold cross validation

Index Dataset	Number of Dataset	RMSE
1	120	0.9856
2	240	0.8165
3	360	0.5690
4	480	0.5774
5	600	0.5164
6	720	0.4714
7	840	0.5774
8	960	0.3907
9	1,080	0.4811
10	1,200	0.4320
	$\bar{X}$	0.58175



ภาพที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดสอบ 10-fold cross validation

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลและผลการทดสอบ Fuzzy Inference System ที่ติดตั้งในอุปกรณ์ Microcontroller

EC	TDS	FIS Score	FIS Class
0.000	0.000	0.1	LOW
0.280	180	0.1	LOW
0.630	405	0.114876	LOW
0.700	450	0.198257	LOW
0.710	451	0.200274	MIDLOW
0.785	502.5	0.3	MIDLOW
1.385	914.5	0.352245	MIDLOW
1.460	966	0.399771	MID
EC	TDS	FIS Score	FIS Class
1.470	967	0.403436	MID
1.545	1018.6	0.453236	MID
2.145	1431.4	0.517443	MID
2.220	1483	0.598627	MID
2.230	1484	0.600147	MIDHIGH
2.305	1535.5	0.67258	MIDHIGH
2.905	1947.5	0.752343	MIDHIGH
2.980	1999	0.799586	MIDHIGH
2.981	2000	0.8	HIGH
2.983	2100	0.9	HIGH
2.998	2900	0.9	HIGH
3.000	3000	0.9	HIGH

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี เป็นระบบที่ถูกสร้างขึ้นจากการใช้หลักการตรรกศาสตร์คลุมเครือ Fuzzy Logic โดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเกษตรจาก FAO พิจารณาค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) ที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อค่าความเค็ม (Salinity) ผลจากการทดสอบการตัดแยกค่าความเค็มโดยพิจารณาจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.58175 แสดงว่า Fuzzy Inference System Model ที่คณะผู้วิจัยจัดสร้างขึ้นสามารถตัดแยกข้อมูลค่าความเค็มได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตัดแยกค่าความเค็มที่กำหนด

ระบบดังกล่าวนอกจากจะวัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (Total dissolved solids) และค่าการนำไฟฟ้า EC (Electrical Conductivity) ได้แล้วนั้น ยังช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับค่าความเค็ม สำหรับบุคคลทั่วไปให้สามารถเข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น โดยมีการแบ่งระดับค่าความเค็ม (Salinity) ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ‘LOW’, ‘MIDLOW’, ‘MID’, ‘MIDHIGH’ และ ‘HIGH’

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเพิ่มเติมในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลค่าความเค็มลงในหน่วยความจำพร้อมกับบันทึกเวลา (Time Stamp) ในการพัฒนาครั้งต่อไป

5.2.2 ควรเพิ่มส่วนการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

### บรรณานุกรม

- [1] จรินทร์ คงรักษ์ และสถาพร นาคะหนึ่ง. (2549). การศึกษาคุณภาพน้ำแม่วัง จังหวัดลำปาง ประจำปี 2545-2549.
- [2] สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (2556). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://ord101.ldd.go.th/home.aspx>
- [3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงมี สัจ (2555). ระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียม Fuzzy Systems and Neural Network. (พิมพ์ครั้งที่ 1). คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ. ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน. (2557). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://hydrology.rid.go.th/>
- [5] Anna F Rusydi. (2017). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. Global Colloquium on GeoSciences and Engineering. doi :10.1088/1755-1315/118/1/012019
- [6] Priya KL. (2013). A Fuzzy Logic Approach for Irrigation Water Quality Assessment: A Case Study of Karunya Watershed, India. J Hydrogeol Hydrol Eng 2:1. doi:10.4172/2325-9647.1000104
- [7] Samad Abdi, et al. (2015). Assessing salinity and sodicity hazards of groundwater for irrigation purposes using fuzzy logic. Desalination and Water Treatment. doi:10.1080/19443994.2015.1072740
- [8] A. Saberi Nasr, et al. (2012). Analysis of Groundwater Quality using Mamdani Fuzzy Inference System (MFIS) in Yazd Province, Iran. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Volume 59– No.7
- [9] R.S. Ayers, D.W. Westcott, Water quality for agricul-ture, F.A.O. Irrigation and Drainage Paper No. 29 FAO Rome, 1976.
- [10] Terrie K. Boguski, P.E. (2006). Understanding Units of Measurement. Center for Hazadous Substance Reseach.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

[11] Clarence C. Salt Concentration In The Soil. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Nd.

## ภาคผนวก

## ประวัติผู้ทำวิจัย

### หัวหน้าโครงการ

#### 1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย)

นาย ศิริชัย สารমনัส

(ภาษาอังกฤษ)

Mr. Sirichai Saramanus

#### 2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

#### 3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000

E-mail : sirichai.s@rmutp.ac.th

#### 4. ประวัติการศึกษา

คอ.บ.(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2540

วท.ม.(เทคโนโลยีสารสนเทศ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พ.ศ. 2549

#### 5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Cluster Analysis

---

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ งบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2563

โครงการวิจัย เรื่อง “การพัฒนาาระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี”

คณะผู้วิจัย: ศิริชัย สารমনัส และวรินทร์ บุญยะโรจน์

- Computer System
- Computer Network
- Data Communication
- Computer Organization and Architecture
- Microcomputer System and Interfacing
- Internet and Intranet System



## ผู้ร่วมวิจัย

### 1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย)

ดร. วรินทร์ บุญยะโรจน์

(ภาษาอังกฤษ)

Dr. VARINTHORN BOONYAROJ

### 2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### 3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000 ต่อ 4189

E-mail : varinthorn.b@rmutp.ac.th

### 4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(อนามัยสิ่งแวดล้อม)

มหาวิทยาลัยบูรพา

พ.ศ. 2546

วศ.ม.(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549

วท.ด.(สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2555

### 5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Waste Utilization

Land application of solid waste landfill leachate

---

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ งบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2563

โครงการวิจัย เรื่อง “การพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี”

คณะผู้วิจัย: ศิริชัย สารมณัส และวรินทร์ บุญยะโรจน์

Landfill leachate treatment

Membrane bioreactor

Wastewater treatment system

Micro-pollutants removal

## 6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

### 7.1 งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่/ตีพิมพ์

#### โครงการวิจัย

- 1) โครงการ      การประเมินปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
แหล่งทุน:      งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
- 2) โครงการ      การผลิตน้ำมันหอมระเหยไล่แมลงจากใบยาสูบ  
แหล่งทุน:      งบประมาณกลางมหาวิทยาลัยฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
- 3) โครงการ      การผลิตกระดาษทำมือจากหญ้าชันกาด  
แหล่งทุน:      งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
- 4) โครงการ      การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เศษใบยางพาราเพื่อผลิตต้นแบบแผ่นมวลเบา  
แหล่งทุน:      งบประมาณรายจ่าย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

#### ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. Boonyaroj V., Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theeparaksapan S., and Yamamoto, K. (2012) "Toxic organic micro-pollutants removal mechanisms in

---

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ งบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2563

โครงการวิจัย เรื่อง "การพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตการแทรกตัวของน้ำเค็มสำหรับพื้นที่ปลูกทุเรียนจังหวัดนนทบุรี"

คณะผู้วิจัย: ศิริชัย สารมณัส และวรินทร์ บุญยะโรจน์

long-term operated membrane bioreactor treating municipal solid waste leachate”, *Bioresource technology* 113, 174-180.

2. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., and Yamamoto, K. (2012) “Removal of organic micro-pollutants from solid waste landfill leachate in membrane bioreactor operated without excess sludge discharge”, *Water science and technology* 66(8), 1774-80.
3. **Varinthorn Boonyaroj**, Pattanasorn Peansawang, Nonthavorn Sonchan, Atcharaporn Sukrasorn (2015) “Environmental survey on physicochemical parameters in surface water: a case of Klong Prem Prachakorn, Thailand”, *Applied Mechanics and Materials* 804, 231-234.
4. **Varinthorn Boonyaroj**, Jiraporn Jinasam, Warangkana Nachailan (2015) “The removal mechanisms of organic compounds in household wastewater by soil sediment”, *Applied Mechanics and Materials* 804, 263-266.
5. **Varinthorn Boonyaroj, Chart Chiemchaisri, Wilai Chiemchaisri, Kazuo Yamamoto** (2018) “Enhanced biodegradation of phenolic compounds in landfill leachate by enriched nitrifying membrane bioreactor sludge”, *Journal of Hazardous Material*. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.064>)

### การนำเสนอผลงานวิชาการ

1. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theeparaksapan S., and Yamamoto, K. (2011) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 9th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 1-3 December, 2011, Bangkok, Thailand. **(Received Asian Young Professional on Water Research Award)**.
2. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theeparaksapan and Yamamoto, K. (2012) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 10th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 8-10 November, 2012, Hanoi, Vietnam. **(Received Best Poster Award)**
3. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2012) Evaluation of bio-toxicity removal in two-stage membrane bioreactor for landfill leachate treatment. Proceedings of the 10th International Conference on Membrane Science and Technology 2012: Membrane for Sustainable Energy, August 22-24, 2012, Bangkok, Thailand.
4. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2011) Removal of phenolic and phthalic acid esters in two-stage membrane bioreactor treating municipal solid waste landfill leachate. Proceedings of the 1st EnvironmentAsia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity”, 22-25 March, 2011, Bangkok, Thailand.