The Sci J of Phetchaburi Rajabhat University.
2020.17(1) : 55-70

# ระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการเพิ่มผลิตภาพของมะนาว โดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณแบบเอดจ์

# Internet of Things System for Improving Productivity of Lime with Fuzzy Logic and Edge Computing

นิสันติ ศิลประเสริฐ[1*] สุขสวัสดิ์ ณัฏฐวุฒิสิทธิ์[1] สุรศักดิ์ มังสิงห์[1] และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์[2]

Nisanti Sinprasert[1*] Sooksawaddee Nattawuttisit[1] Surasak Mungsing[1] and Thepparit Banditwattanawong[2]

[1]*มหาวิทยาลัยศรีปทุม แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900*

[2]*มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900*

[1]*Sripatum University, Bangkok 10900*

[2]*Kasetsart University, Bangkok 10900*

***Corresponding author; E-mail:** navintar111@hotmail.com

Received: 28 May 2020 /Revised: 05 June 2020 /Accepted: 09 June 2020

## บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการเพิ่มผลิตภาพการทำสวนมะนาวในวงบ่อปูนซีเมนต์แบบรองก้นเพื่อแก้ปัญหาผลผลิตต่ำและโรคของมะนาวอายุ 6 เดือน ถึง 2 ปี ระบบสามารถทำการควบคุมความชื้น ธาตุอาหารรวม และความเป็นกรด-ด่างของดินโดยอาศัยตัวรับรู้ความชื้น ตัวรับรู้ธาตุอาหารรวม และตัวรับรู้ความเป็นกรด-ด่างของดินที่เชื่อมต่อกับโหนดเอ็มซียู ข้อมูลที่เก็บรวมรวมได้จากโหนดเอ็มซียูจะถูกส่งไปยังราสพ์เบอร์รี่พายเพื่อทำการประมวลผลข้อมูลตามหลักตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณแบบเอดจ์เพื่อสร้างสัญญาณความคุมอุปกรณ์จ่ายน้ำและธาตุอาหารรวม นอกจากนี้ข้อมูลสถานะการทำงานของระบบ ได้แก่ ข้อมูลความชื้น ธาตุอาหารรวม ความเป็นกรด-ด่างของดิน และการทำงานของอุปกรณ์จ่ายน้ำและธาตุอาหารรวมยังถูกส่งขึ้นไปเก็บบนคลาวด์เพื่อให้เกษตรกรสามารถควบคุมและเฝ้าสังเกตสถานะการทำงานของระบบผ่านบริการซอฟต์แวร์คลาวด์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ผลการทดลองพบว่าระบบที่เสนอสามารถควบคุมความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง และธาตุอาหารรวมของดินในวงบ่อปูนซีเมนต์แบบรองก้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมะนาวได้อย่างอัตโนมัติภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของความชื้น ธาตุอาหารรวม และความเป็นกรด-ด่างของดิน

**คำสำคัญ** : อินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ การคำนวณแบบเอดจ์ การคำนวณแบบคลาวด์ ตัวรับรู้ธาตุอาหารรวม

## Abstract

The objective of paper is to develop an Internet-of-Things system for improving the productivity of lime trees that are planted in concrete sewer tanks with bases to solve low productivity problem and diseases of limes from 6 months to 2 years old. The proposed system is capable of controlling humidity, overall nutrients, and soil's Potential of Hydrogen ion (pH) by using humidity sensors, overall nutrient sensors, and pH sensors that are connected with NodeMCU. The collected data was sent from NodeMCU to Raspberry Pi for processing based on fuzzy logics and edge computing to generate control signals for controlling water and nutrient supply systems. Besides, the operating data of the entire system including humidity, overall nutrient, and pH data, as well as the operating data of the water and nutrient supply systems was sent to store in cloud so that farmers are able to control and monitor the operating status of the system. The experimental results indicate that the proposed system is successfully capable of controlling the humidity, overall nutrients, and pH of soil in the concrete sewer tanks to remain in the ranges suitable for lime planting in an automatic manner under the changing environment of humidity, overall nutrients, and pH.

**Keywords:** Internet-of-Things, Fuzzy logics, Edge computing, Cloud computing, NPK fertility sensor

## บทนำ

มะนาวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ตลาดภายในประเทศมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี การเจริญเติบโตของมะนาวในแต่ละช่วงฤดูจะส่งผลให้ผลผลิตมะนาวมีปริมาณแตกต่างกัน โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งจะมีผลผลิตมะนาวออกสู่ตลาดน้อย จึงทำให้มะนาวมีราคาแพงสูงกว่าปกติ [1] การควบคุมการให้น้ำ ให้ปุ๋ยหรือธาตุอาหาร การบำรุงดูแลต้นมะนาวที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้มะนาวมีการเจริญเติบโตที่ดีทั้งนี้สามารถให้มะนาวออกผลนอกฤดู เช่น การควบคุมน้ำให้เกิดการสะสมอาหารและการออกดอก อนึ่งการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์และการคำนวณแบบเอดจ์ หน้าที่การประมวลผลการคำนวณจากอุปกรณ์ตัวรับรู้ (Sensor) ที่ติดตั้งในสวนมะนาว สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในสวนมะนาว ได้แก่ ความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ให้ตรงตามสภาพความต้องการทางด้านกายภาพเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของมะนาวและลดจากการเกิดโรคจากความชื้นที่ไม่เหมาะสม การทำสวนมะนาวโดยอาศัยระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการเพิ่มผลิตภาพของมะนาวโดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณแบบเอดจ์เป็นงานศึกษาวิจัยที่สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติฉบับที่9 (พ.ศ. 2560-2564) กล่าวคือ ประเด็นวิจัยด้านการเกษตรและ

อุตสาหกรรมชีวภาพ (bio-based): อุตสาหกรรมการเกษตร เช่น การเพิ่มผลผลิตการเกษตรสำหรับพืชเกษตรหลัก ด้วยเหตุนี้เองผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาการทำสวนมะนาวโดยอาศัยระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการเพิ่มผลิตภาพของมะนาวโดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณผลแบบเอดจ์ นอกจากนี้ในอดีตที่ผ่านมาเกษตรกรประสบปัญหาการควบคุมสภาพแวดล้อมทางกายภาพในสวนมะนาวให้อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมเป็นไปด้วยความยากลำบาก เช่น ความชื้นในดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตหรือความชื้นในดินสูงเกินไปทำให้เกิดโรคเชื้อราและรากเน่าได้ บทความนี้จึงเสนอการทำสวนมะนาวโดยอาศัยระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการเพิ่มผลิตภาพของมะนาวโดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณผลแบบเอดจ์ ที่สามารถวิเคราะห์ความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวม และความเป็นกรด - ด่างของดินเพื่อปรับสภาพแวดล้อมภายในสวนมะนาวอย่างอัตโนมัติที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมะนาวมากที่สุด

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการเพิ่มผลิตภาพของมะนาวที่ปลูกในวงบ่อปูนซีเมนต์แบบรองก้นโดยอาศัยตรรกศาสตร์คลุมเครือและการประมวลคำนวณแบบเอดจ์

## แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะนาว

มะนาวเป็นไม้ผลตระกูลส้มประเภทหนึ่งที่รู้จักกันดี เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจฤดูกาลการผลิตมะนาว จากต้นมะนาวที่เจริญเติบโตสมบูรณ์ เช่น มะนาวอายุ 1 ปี ต้นมะนาวมีลักษณะเป็นทรงพุ่ม ลำต้นสีเขียวอมน้ำตาล ใบมะนาวมีความมันวาว และเมื่อทำการบีบใบมะนาว ใบของมะนาวมีความกรอบซึ่งหมายถึงใบมะนาวมีการสะสมอาหารได้เต็มที่ พร้อมที่จะออกดอกและออกผล หลังจากที่มะนาวออกดอกติดผลประมาณ 4 – 5 เดือน ระยะการเก็บเกี่ยวรอบที่ 1 ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคมและระยะการเก็บเกี่ยวรอบที่ 2 ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม [2] ดัง Figure 1.

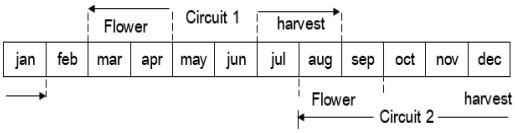


**Figure 1.** Flowering cycle of limes

ปัจจัยการเจริญเติบโตมีค่าความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวม ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ดังแสดงใน Table 1.

**Table 1.** Moisture, acidity, soil alkalinity, and appropriate NPK total nutrients

| Factors / variables | value |
|---|---|
| Humidity that plants can use | 20 - 24 |
| Soil pH value | 5.5 – 7.5 |
| Total nutrient value NPK | 35 - 65 |

### 2. ตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความคลุมเครือ ไม่ชัดเจน คล้ายกับตรรกะทางความคิด

ของมนุษย์ที่ใช้หลักเหตุผลคล้ายการเลียนแบบวิธีคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ที่อาศัยฟัซซี่เซต (fuzzy set) เพื่อสื่อถึงความไม่แน่นอน [3] โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี่ (fuzzy system) ดัง Figure 2 โดยการทำงานของระบบฟัซซี่นี้มี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การแปลงค่าของข้อมูลนำเข้าเป็นค่าฟัซซี่นำเข้า (fuzzification) เป็นการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลนำเข้า (crisp input) โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ขั้นตอนที่ 2 การอนุมานหรือตีความ (fuzzy inferencing) เป็นการนำค่าฟัซซี่นำเข้าไปตีความหรืออนุมานผ่านกฎฟัซซี่ที่ตั้งขึ้นมาและได้ผลลัพธ์เป็นค่าฟัซซี่ส่งออก โดยกฎฟัซซี่ที่นิยมใช้คือ กฎฟัซซี่แบบ ถ้า-แล้ว (fuzzy If-Then rule) ที่อาศัยหลักการของเหตุและผล ผู้วิจัยได้การอนุมานคุลมเครือแบบแมมดานิ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ การอนุมานคลุมเครือแบบ แมมดานิ เป็นวิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนคือการทำคลุมเครือการประเมินกฎของคลุมเครือ การรวมกฎและการทำดีฟัซซี่และในขั้นตอนสุดท้าย การทำค่าฟัซซี่ให้เป็นค่าปกติ (defuzzification) เป็นการนำค่าฟัซซี่ส่งออกมาแปลงเป็นค่าปกติ (crisp output) ซึ่งมีหลายวิธี เช่น วิธีถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก และวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง

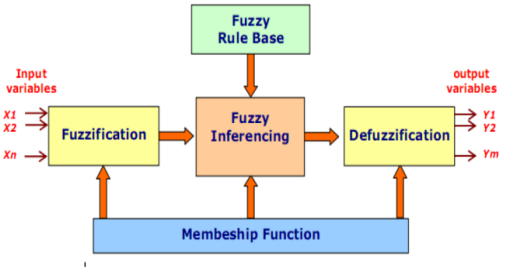


Figure 2. Fuzzy logic model [4]

โครงสร้างของระบบฟัซซี่สามารถเข้าใจได้ง่ายเนื่องจากสามารถตีความในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ และนอกจากนั้นฟัซซี่ลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว ในการวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อมุ่งไปสู่การพัฒนาระบบการควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมะนาวที่ปลูกในบ่อปูนซีเมนต์ โดยอาศัยการทำงานตามตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือร่วมกับการคำนวณแบบเอดจ์และแบบคลาวด์

### 3. อินเทอร์เน็ตออฟทิงส์

อินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ (Internet of Things) หรือ IoT เป็นแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่หลากหลายชนิด ตั้งแต่เครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดต่าง ๆ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกัน อันเป็นผลให้ระบบต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นอัตโนมัติทั้งนี้ยังเป็นผลให้มนุษย์สามารถเข้าถึงข้อมูลได้หลากหลายยิ่งขึ้น ควบคุมอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ และการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคโนโลยีตัวรับรู้ความชื้นในดิน ตัวรับรู้ธาตุอาหารรวมและตัวรับรู้ความเป็นกรด-ด่างของดินที่เชื่อมต่อกับโหนดเอ็มซียู ข้อมูลที่เก็บรวมรวมได้จากโหนดเอ็มซียูจะถูกส่งไปยังราสพ์เบอร์รี่พายเพื่อทำการประมวลผลข้อมูลตามหลักตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณแบบเอดจ์

**4. การคำนวณแบบเอดจ์**

การคำนวณแบบเอดจ์ (Edge Computing) เป็นชั้นของอุปกรณ์รอบข้างที่สามารถเข้าถึงระบบเครือข่ายได้เพื่อรองรับการประมวลผลใกล้กับอุปกรณ์ให้แก่ผู้ใช้รายบุคคล ตัวอย่างของอุปกรณ์เอดจ์เช่น โทรศัพท์ สมาร์ทวอทช์ สมาร์ทแท็บเล็ต สมาร์ทโฟน และอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตออฟทิงส์อื่นๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถเข้าถึงคลาวด์ในระยะไกลด้วยโพรโทคอล เอชทีทีพี (HTTP) โดยผ่านเว็บเบราว์เซอร์ [5] ดัง Figure 3. งานวิจัยนี้ใช้การคำนวณแบบเอดจ์มาประมวลผลตรรกศาสตร์คลุมเครือแทนที่จะส่งไปประมวลผลที่คลาวด์ซึ่งอยู่ไกลกว่าเพื่อเป็นการลดระยะเวลารอคอย

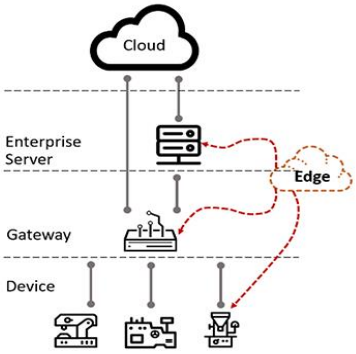


Figure 3. Edge computing architecture [6]

**5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

ศิวาพร เหมียดไธสง และ เที่ยง เหมียดไธสง [7] ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูกมะนาว ด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายระดับหมู่บ้านเพื่อลดการใช้สารเคมีและสารพิษตกค้างลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี โดยออกแบบและติดตั้งโหนดต่าง ๆ ตามลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีเป็นระยะทาง 30 กิโลเมตร โดยเริ่มจากโหนดกลุ่ม 1 (Node Group 1) โดยทำการติดตั้งเซนเซอร์โหนดสามารถรับค่าจากเซนเซอร์ได้จำนวน 6 ค่าได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง อุณหภูมิในดิน ความชื้นในดิน ผลการทดสอบพบว่าในเวลา 3 เดือนระบบสามารถเก็บค่าสภาพแวดล้อมทั้ง 6 ค่าได้สมบูรณ์ สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเพื่อควบคุมโรคและแมลงได้

จักราวุธ หาญวิเศษ และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์ [8] ศึกษาตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากตัวรับรู้ที่ได้ติดตั้งไว้ในแปลงของมันสำปะหลังโดยศึกษาความชื้นในดิน อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ความเค็มของดิน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแทสเซี่ยม ธาตุสังกะสี และอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งผลจากการศึกษานี้พบว่าตัวแบบที่เสนอถูกประเมินด้วยวิธีการจำลองการทำงานให้ผลลัพธ์การทำงานที่ถูกต้อง

Sonal Dubey, S. S. Gautam. [9] เสนอเกี่ยวกับการนำระบบผู้เชี่ยวชาญตรรกศาสตร์คลุมเครือในการทำเกษตร ซึ่งงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการนำระบบผู้เชี่ยวชาญตรรกศาสตร์คลุมเครือในการตัดสินใจเข้ามาช่วยในการดำเนินการใด ๆ กับงานเกษตรซึ่งสามารถช่วยให้ลดต้นทุนทางการเกษตรลง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตสินค้าทางการเกษตรเพิ่มขึ้น

พิทักษ์ จิตรสำราญ, สุขสวัสดี ณัฏฐวุฒิสิทธิ์, และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์ [10] ศึกษาการพัฒนาตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มไก่ไข่ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากตัวรับรู้ที่ได้ติดตั้งไว้ใน

ฟาร์มไก่ไข่และทำการติดตั้งระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้ตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือและราสพ์เบอร์รี่พาย สำหรับการเพิ่มผลิตภาพไข่ไก่ ซึ่งผลจากการศึกษานี้พบว่า ตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือให้ผลค่าสัญญาณควบคุมทางไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์พัดลม ปั๊มน้ำ และตัวทำความร้อนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ส่วนการประเมินผลในระดับภาคสนามเป็นการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในฟาร์มจริง พบว่า ระบบสมาร์ทฟาร์มสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมในสภาพแวดล้อมที่ทดสอบ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้มิได้ทำการศึกษาเพื่อเสนอตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการทำสวนมะนาว

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยมีตัวแปรต้น ได้แก่ ความชื้นในดินที่วัดได้ ธาตุอาหารรวมในดินที่วัดและความเป็นกรด-ด่างของดินที่วัดได้ ตัวแปรตาม ได้แก่ สัญญาณดิจิทัลควบคุมความชื้นในดิน สัญญาณดิจิทัลควบคุมธาตุอาหารรวมในดินและสัญญาณดิจิทัลควบคุมความเป็นกรด-ด่างของดิน ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมโดยอาศัยอุปกรณ์ปั๊มน้ำเพิ่มความชื้นในดิน ปั๊มน้ำเพิ่มธาตุอาหารรวมในดินและปั๊มน้ำลดความเป็นกรดในดิน โดยมีกรอบแนวคิด ดัง Figure 4.

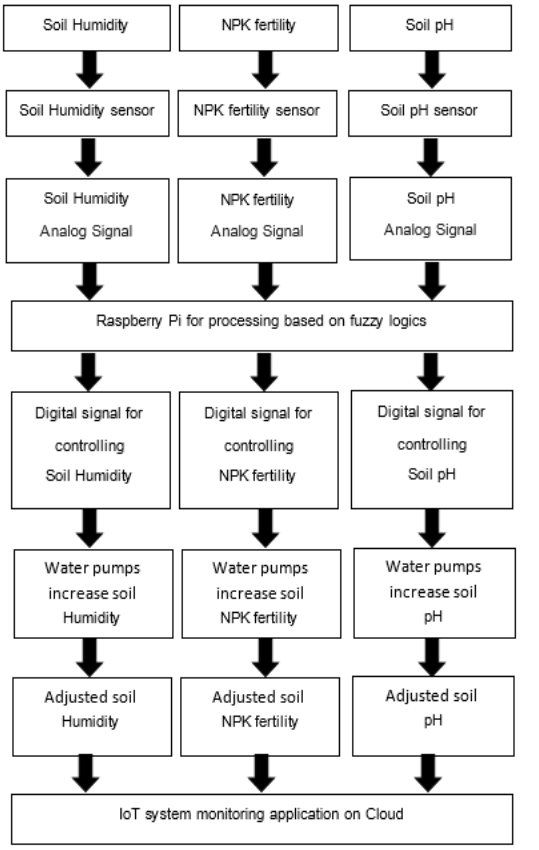


Figure 4. Conceptual framework

### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การสร้างตัวแบบตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการควบคุมผลิตภาพการทำสวนมะนาวและการสร้างระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ โดยใช้ตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับเพิ่มผลิตภาพมะนาว ประกอบไปด้วยรายการฮาร์ดแวร์และรายการซอฟต์แวร์มีรายละเอียดดังนี้

2.1. รายการฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

2.1.1. อุปกรณ์สมองกลฝังตัวที่เป็นระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดิน ความเป็นกรด

เป็นด่างของดิน คือ ราสพ์เบอรี่พาย 4 (Raspberry Pi 4) CPU ARM Cortex-A72 1.5 GHz Quad-core 64 bit, 1GB LPDDR4-3200 SDRAM, 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE, Gigabit Ethernet, 2 USB 3.0 ports; 2 USB 2.0 ports.

2.1.2. ตัวรับรู้ความชื้นในดินและความเป็นกรดเป็นด่างของดินสำหรับโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 8266 วัดความชื้นในดินได้ 0 – 100 % และวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้ 3.5 – 8 ดัง Figure 5.

**Figure 5.** Humidity and pH sensor

2.1.3 ตัวรับรู้ความสมบูรณ์ของดินธาตุอาหารรวมสำหรับโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 8266 วัดความสมบูรณ์ของดินธาตุอาหารรวมได้ 3 ระดับ ปรับค่าทำให้เป็นค่ามาตรฐานเป็น 0 – 100 %
ระดับที่ 1 LITTLE TOO ค่ามาตรฐาน 0 – 45 %
ระดับที่ 2 IDEAL ค่ามาตรฐาน 46 – 80 %
ระดับที่ 3 MUCH TOO ค่ามาตรฐาน 81 – 100 %
ดัง Figure 6.

**Figure 6.** Fertility sensor

2.1.4 อุปกรณ์ WiFi อินเทอร์เน็ตเร้าท์เตอร์

2.1.5 ชุด relay 8 ช่อง

2.1.6 ชุดโซลินอย์วาวล์ และชุดแปลงไฟกระแสตรง 24 โวลต์

2.1.7 ปั๊มน้ำ 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว

2.2. รายการซอฟต์แวร์

2.2.1 โปรแกรมจำลองการทำงานตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับควบคุมผลิตภาพมะนาวโดยใช้โปรแกรมแลปวิว (Labview) รุ่น 2014 อุปกรณ์ราสพ์เบอร์รี่พายที่ใช้ระบบปฏิบัติการรา-สเบียนเจสซี่ริส รุ่น 4.4 (Raspbian Jessie Lite version 4.4)

2.2.2 อาดุยโน่ ไอดีอี (Arduino IDE)

2.2.3 พีเอชพี 7.3 (PHP 7.3)

2.2.4 ไพทอน 3 (Python 3)

2.2.5 มายเอสคิวเอล เซิร์ฟเวอร์ เวอร์ชัน 10.3.22 (MySQL Server version: 10.3.22)

2.2.6 เจพีกราฟ 4.2 (JPGraph 4.2)

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สรุปหลักการเกษตรในการปลูกมะนาวในบ่อปูนซีเมนต์และสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของมะนาวโดยเฉพาะค่าความชื้นในดิน ที่มีค่าความความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ที่ 20 - 24

2. ใช้โปรแกรมแลปวิวเพื่อจำลองการพัฒนาตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการเพิ่มผลิตภาพของมะนาวและประเมินตัวแปรตามที่ได้จากการวิเคราะห์ของตัวตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรดเป็นด่างของดิน มีตัวแปรต้นที่ประกอบด้วย ความชื้นในดิน ที่วัดได้ภายในสวนมะนาว จะใช้ตัวรับรู้ความชื้นในดินและความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และติดตั้งตัวรับรู้อยู่บริเวณภายในบ่อปูนซีเมนต์ ส่วนตัวแปรต้นธาตุอาหารรวมในดินวัดได้ภายในสวนมะนาว จะใช้ตัวรับรู้ความสมบูรณ์ของดินธาตุอาหารรวม เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และติดตั้งตัวรับรู้อยู่บริเวณภายในบ่อปูนซีเมนต์ การออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในงานวิจัยนี้แบ่งความชื้นในดินออกเป็น 3 เซต ดังแสดงใน Table 2. แบ่งธาตุอาหารรวมออกเป็น 3 เซต ดังแสดงใน Table 3. และแบ่งความเป็นกรดเป็นด่างของดินแบ่งออกเป็น 3 เซต ดังแสดงใน Table 4.

**Table 2.** Soil humidity set

| Soil humidity set | | |
|---|---|---|
| Low | Medium | High |
| 20 – 40 | 41 – 65 | 66 – 100 |

**Table 3.** Soil Fertility NPK Set

| Soil Fertility NPK Set | | |
|---|---|---|
| Low | Medium | High |
| 0 – 34 | 60 – 80 | 81 – 100 |

**Table 4.** Soil pH Set

| Soil pH Set | | |
|---|---|---|
| Low | Medium | High |
| 3.5 – 5.4 | 5.5 – 7.5 | 7.6 – 8.0 |

Table 2. Table 3. และ Table 4. เป็นการแบ่งเซตความชื้นในดิน เซตธาตุอาหารรวมในดินและเซตกรด-ด่างของดินโดยใช้รูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมคางหมู เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการปรับแต่งรูปทรงและมีขั้นตอนในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เลือกใช้กฎคลุมเครือถูกออกแบบขึ้นทั้งหมด 27 กฎซึ่งเกิดจากการจับคู่ระหว่างสมาชิกของเซตความชื้นในดิน (3 ระดับ) เซตธาตุอาหารรวม (3 ระดับ) และเซตกรด-ด่างของดิน (3 ระดับ)กฎฐานความรู้ของความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย ดังแสดงใน Table 5.

**Table 5.** Relationship of Humidity, NPK fertility, and pH

| Fertility NPK | Soil pH | Soil humidity | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Low | Medium | High |
| Low | Low | Waterin g for 3 min and Add | Add NPK Water for 2 min | Add NPK Water for 1 |

| Fertility NPK | Soil pH | Soil humidity | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Low | Medium | High |
| Medium | Medium | NPK Water for 2 min Watering for 3 min and Add NPK Water for 2 min | Add NPK Water for 2 min | Add NPK Water for 1 min |
| | High | Watering for 3 min | Watering for 3 min | Not working |
| | Low | Watering for 3 min | Not working | Not working |
| | Medium | Watering for 3 min | Not working | Not working |
| | High | Watering for 3 min | Watering for 3 min | Not working |
| | Low | Watering for 3 min | Not working | Not working |
| High | Medium | Watering for 3 min | Not working | Not working |
| | High | Watering for 3 min | Watering for 3 min | Not working |

3. สร้างระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ด้วยราสพ์เบอรี่พายที่ทำงานตามตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อทำการทดสอบและบันทึกผลการทดลอง ผู้วิจัยออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโปรแกรมแลปวิวและทดสอบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีจำลองการทำงานโดยมีผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนการออกแบบตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ดังต่อไปนี้

3.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการควบคุมผลิตภาพการทำสวนมะนาวในวงบ่อปูนซีเมนต์แบบรองก้น

3.1.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร นำเข้าความชื้นในดิน ดัง Figure 7. จะเห็นว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ต่ำ (Humidity_L) กลาง (Humidity_M) และสูง (Humidity_H) โดยแกน Y แสดงถึงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และแกน X แสดงถึงความชื้นในดิน

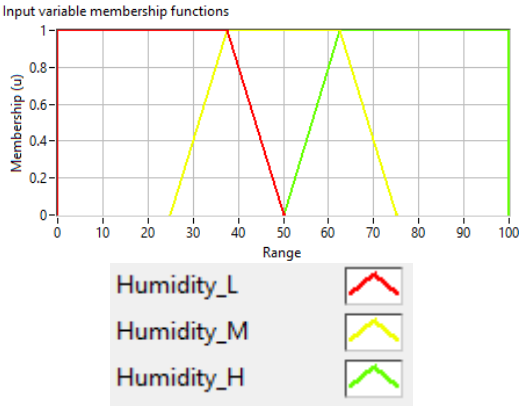


**Figure 7.** Soil humidity membership functions

3.1.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร นำเข้าธาตุอาหารรวม NPK ดัง Figure 8. จะเห็นว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบ่งออกเป็น

3 ช่วง คือ ต่ำ (NPK_L) กลาง (NPK_M) และสูง (NPK_M) โดยแกน Y แสดงถึงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และแกน X แสดงถึงธาตุอาหารรวมในดิน

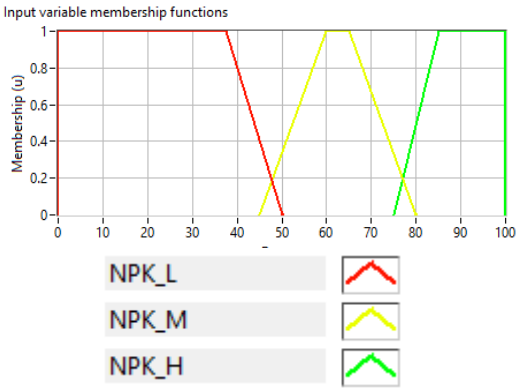


Figure 8. Soil NPK fertility membership functions

3.1.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร นำเข้ากรด-ด่างในดิน ดัง Figure 9. จะเห็นว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ต่ำ (PH_L) กลาง (PH_M) และสูง (PH_M) โดยแกน Y แสดงถึงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และแกน X แสดงถึงความเป็นกรด-ด่างในดิน

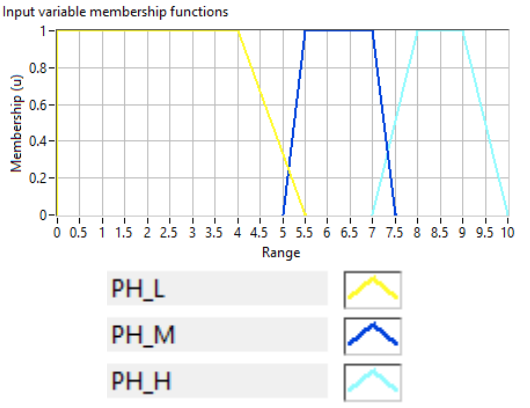


Figure 9. Soil pH membership functions

3.1.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรตามค่าดิวตี้ (Duty) ที่เป็นสัญญาณดิจิทัลสำหรับควบคุมปั๊มน้ำ ดัง Figure 10. จะเห็นว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ต่ำ (Water_Duty_L) กลาง (Water_Duty_L) และสูง (Water_Duty_H)

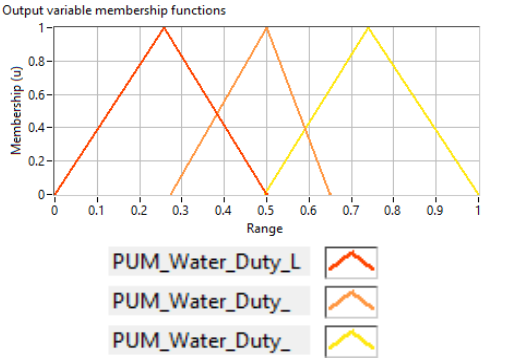


Figure 10. Membership function of water pump duty

3.1.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรตามค่าดิวตี้ (Duty) ที่เป็นสัญญาณดิจิทัลสำหรับควบคุมปั๊มน้ำธาตุอาหารรวม ดัง Figure 11. จะเห็นว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ต่ำ (NPK_Duty_L) กลาง (NPK_Duty_L) และสูง (NPK_Duty_H)

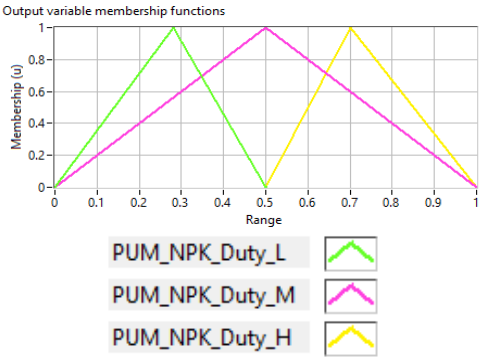


Figure 11. Membership function of NPK water pump duty

3.2 กฎคลุมเครือ

กฎคลุมเครือที่ใช้ในกระบวนการทำให้คลุมเครือและกระบวนการไม่ทำให้คลุมเครือซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของกฎ IF-THEN ดัง Figure 12.

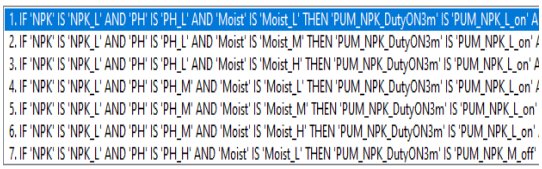


**Figure 12.** Fuzzy rules

4. ทดสอบระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์สำหรับการควบคุมผลิตภาพการทำสวนมะนาวโดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ แยกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ระดับห้องปฏิบัติการ ผลจากการทำงานของอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ จะถูกวัดโดยใช้หลอดแอลอีดีหรือหน้าจอแสดงผลของราสพ์เบอร์รี่พาย เพื่อแสดงให้เห็นสัญญาณพัลส์ที่เป็นผลมาจากการมอดูเลตสัญญาณดิวตี้ที่เป็นผลมาจากปฏิบัติงานตามชุดคำสั่งในราสพ์เบอร์รี่พาย การประเมินผลเป็นดังต่อไปนี้ การวัดและประเมินผลตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือใช้วิธีจำลองการทางานด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยข้อมูลนำเข้ามี 3 ตัวด้วยกันคือ ความชื้นในดินที่วัดได้ ธาตุอาหารรวมในดินที่วัดได้และความเป็นกรด-ด่างของดินที่วัดได้ ซึ่งถูกนำมาใช้ในกระบวนการ ฟัซซิฟิเคชั่น ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกฟัซซิฟิเคชั่น (fuzzification membership function) จากนั้นทำการดีฟัซซิเคชั่นตามกฎคลุมเครือ (fuzzy rules) ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าดิวตี้ (duty) ซึ่งจะถูกประเมินโดยพิจารณาจากรูปแบบความสัมพันธ์กับตัวแปรนำเข้า กล่าวคือค่าดิวตี้ สำหรับควบคุมอุปกรณ์ควบคุมความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดินต้องแปรผันกับค่าตัวแปรนำเข้าความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดิน การประเมินผลสัญญาณควบคุมอุณหภูมิความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือจะทำการติดตั้งตัวรับรู้ความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดินไว้ในกระถางต้นไม้

ส่วนที่ 2 ระดับภาคสนาม โดยมีการติดตั้งใช้งานจริงในสวนมะนาว จากผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [11, 12] ผลการดำเนินการติดตั้งในภาคสนามจึงเป็นดัง Figure 13. และ Figure 14.

**Figure 13.** Humidity, NPK fertility, pH signal transmission set

**Figure14.** Water pump and NPK fertility pump control set

ส่วนภาคสนามนี้ผู้วิจัยได้บันทึกการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมและความเป็นกรด-ด่างของดิน 2 สภาวะ คือ ก่อนเปิดใช้งานและหลังเปิดใช้งานระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์เพื่อทดสอบการทำงานว่าระบบสามารถปรับ

ความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมและความเป็นกรด-ด่างของดินในสวนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้หรือไม่ ถ้าระบบยังไม่สามารถปรับค่าที่เหมาะสมได้ ผู้วิจัยได้ปรับแต่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรใหม่ผ่านโปรแกรมแลปวิวจากนั้นบันทึกลงไปในราสพ์เบอร์รี่พาย และวัดผลใหม่อีกครั้งในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อปรับแต่งค่าฟังก์ชันให้เหมาะสม

การติดตั้งชุดควบคุมการปรับสภาพแวดล้อมภายในสวนมะนาว ประกอบด้วย NodeMCU ทำหน้าที่รับข้อมูลสัญญาณดิจิทัลจากตัวรับรู้ความชื้นในดิน ความเป็นกรด-ด่างของดินและตัวรับรู้ความสมบูรณ์ของดินธาตุอาหารรวม เพื่อส่งไปประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือที่ราสพ์เบอรี่พายในชั้นเอดจ์เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมปั๊มน้ำและปั๊มน้ำสารละลายธาตุอาหารรวม ดัง Figure 15.

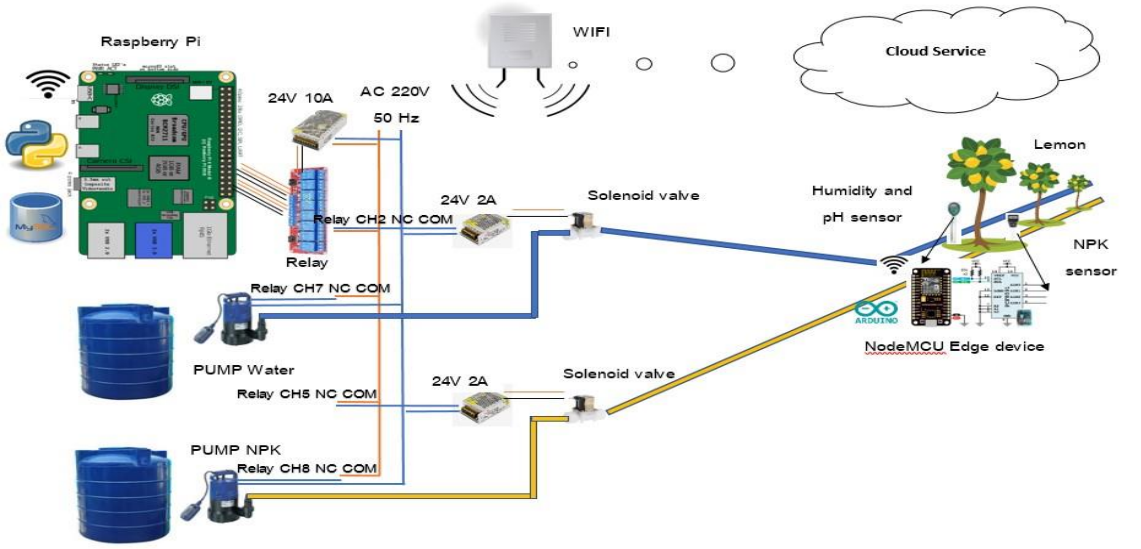


**Figure 15.** Proposed IoT system architecture

ส่วนที่ 3 การวัดผลและประเมินผลภาคสนามระบบอินเทอเน็ตออฟทิงส์ จากการศึกษางานวิจัยของ Sakr S, Liu A, Batista DM, Alomari M [13] หน้าจอแสดงผลการทำงานของระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีการแสดงผลการประเมินการควบคุมความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมและความเป็นกรด-ด่างของดินดัง Figure 16

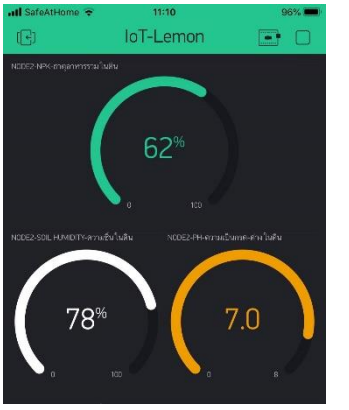


**Figure 16.** IoT system monitoring application on Cloud

## ผลการวิจัย

การประเมินผลตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการควบคุมผลิตภาพการทำสวนมะนาวในวงบ่อปูนซีเมนต์แบบรองก้น แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การประเมินผลด้วยวิธีการจำลองการทำงาน (simulation) ด้วยโปรแกรมแลปวิว ส่วนที่ 2 การประเมินผลด้วยการติดตั้งระบบควบคุมการปรับสภาพแวดล้อมภายในสวนมะนาวจริงในส่วนแรกผลการจำลองการทำงานแสดงอยู่ในรูปแบบของพื้นผิวความสัมพันธ์ของความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวม ความเป็นกรด-ด่างของดินและค่าดิวตี้สำหรับควบคุมปั๊มน้ำและปั๊มน้ำธาตุอาหารรวม ดัง Figure 17. ซึ่งแปลความหมายได้ว่าเมื่อความชื้นดินมีค่าต่ำ ธาตุอาหารรวมมีค่าต่ำและค่าดิวตี้มีค่าต่ำ แสดงว่าปั๊มน้ำและปั๊มธาตุอาหารรวมทำงาน

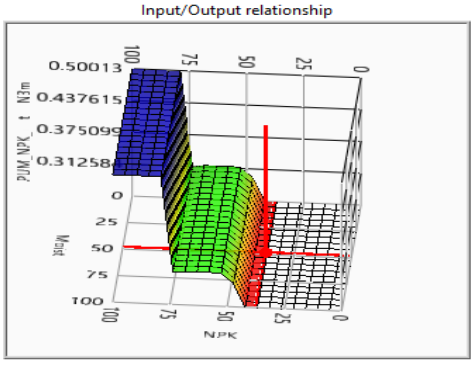


**Figure 17.** Relationship of soil humidity, total soil NPK fertility and duty values for controlling water pump and total NPK fertility pump

การวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของความเป็นกรด-ด่างของดิน ธาตุอาหารรวมและค่าดิวตี้สำหรับควบคุมปั๊มน้ำ ปั๊มน้ำธาตุอาหารรวม ดัง Figure 18. ได้ผลดังนี้ เมื่อธาตุอาหารรวมมีค่าต่ำและความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่ากลางและค่าดิวตี้มีค่าต่ำแสดงว่าปั๊มน้ำธาตุอาหารรวมทำงาน

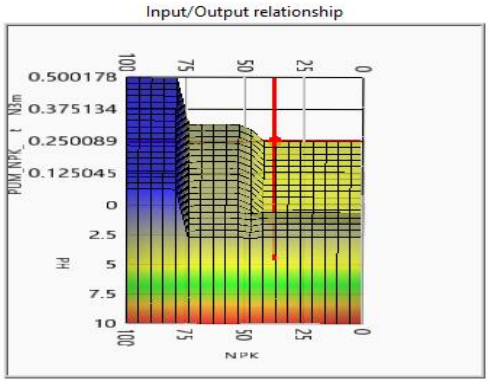


**Figure 18.** Relationship of soil pH , Total soil NPK fertility and duty values for controlling the water pump and total NPK fertility pump

การวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของความเป็นกรด-ด่างของดิน ความชื้นในดินและค่าดิวตี้สำหรับควบคุมปั๊มน้ำ ปั๊มน้ำธาตุอาหารรวม ดัง Figure 19. ได้ผลดังนี้ เมื่อความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าต่ำความชื้นในดินมีค่าต่ำและค่าดิวตี้มีค่าต่ำแสดงว่าปั๊มน้ำทำงาน

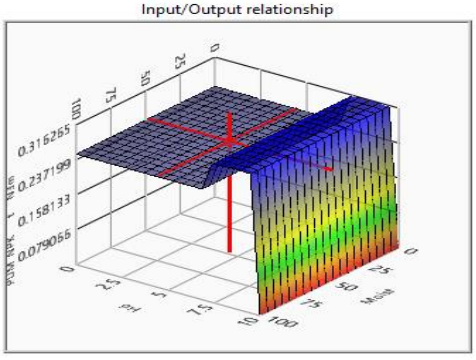


**Figure 19.** Relationship of soil pH, soil humidity, and duty values for controlling water pumps and total nutrient water pumps

การปรับแต่งตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือระดับภาคสนามผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแต่งการจูนค่าของระบบให้เหมาะสมแล้วจึงให้ระบบทำงาน การประเมินผลระบบที่ติดตั้งและทดลองใช้งานจริง โดยวัดความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดินได้ดำเนินการใช้งานเปิดระบบการทำงานจริงช่วงเช้าระหว่างเวลา 07.00 น. จนถึงเวลา 12.00 น. เพื่อแสดงการปรับความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดินภายในสวนมะนาว จนอยู่ในระดับที่เหมาะสมและมีความสม่ำเสมอที่สุด จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 09.10 น. ธาตุอาหารรวมลดลง ระบบได้ปรับธาตุอาหารรวมเพิ่มขึ้นอยู่ช่วงที่เหมาะสม เวลา 09.35 น. และเมื่อเวลา 10.00 น. ความชื้นในดินลดลง ระบบได้ปรับความชื้นในดินเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เวลา 10.05 น. ดัง Figure 20.

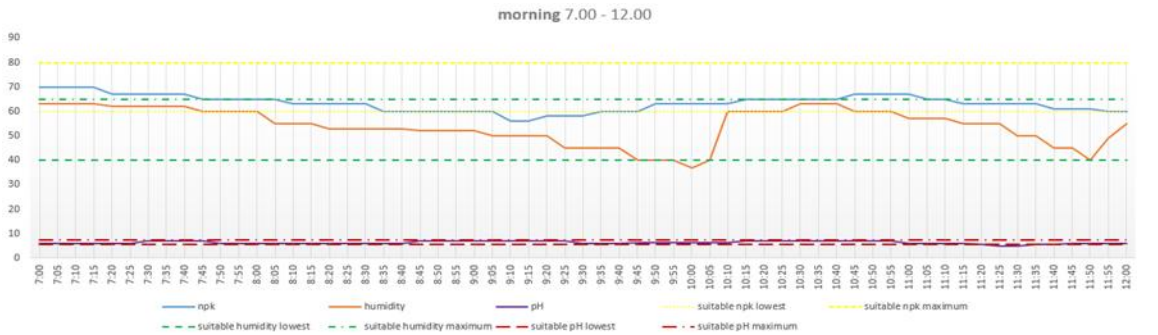


**Figure 20.** Soil humidity, total NPK fertility, and soil pH in morning

ผู้วิจัยวัดผลช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 13.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. ดัง Figure 21. จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 15.35 น. ธาตุอาหารรวมลดลง ระบบได้ปรับธาตุอาหารรวมเพิ่มขึ้นอยู่ช่วงที่เหมาะสม เวลา 15.50 น. และเมื่อเวลา14.55 น. ความชื้นในดินลดลง ระบบได้ปรับความชื้นในดินเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เวลา 15.00 น.

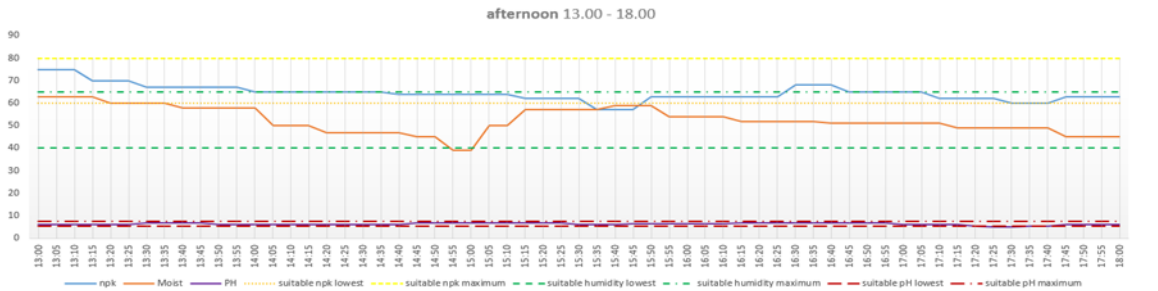


**Figure 21.** Soil humidity, total NPK fertility, and soil pH in afternoon

## สรุปผลการวิจัย

จากผลการจำลองตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่สร้างขึ้น พบว่าตัวแบบสามารถใช้วิเคราะห์ระดับความชื้นในดิน ธาตุอาหารรวมในดินและความเป็นกรด-ด่างของดินเพื่อควบคุมการส่งสัญญาณดิวตี้เพื่อแนะนำการเพิ่มปุ๋ยและรดน้ำแก่มะนาวให้กับเกษตรได้อย่างเหมาะสมต่อความต้องการของมะนาว ส่วนการประเมินผลในระดับภาคสนามเป็นการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในสวนมะนาวจริง พบว่าระบบสามารถจ่ายน้ำและธาตุอาหารรวมเพื่อควบคุมระดับความชื้นในดิน ความเป็นกรด-ด่าง และธาตุอาหารรวมได้อย่างถูกต้องตามหลักการปลูกมะนาว [14] จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือและการคำนวณแบบเอดจ์ในระบบอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ช่วยเพิ่มผลิตภาพของมะนาว ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์การวิจัย

## ข้อเสนอแนะ

การออกแบบตรรกศาสตร์แบบคลุมเครือนั้นอาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงฟัซซีเซตและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกซ้ำดังนั้นจึงควรเขียนรูปแบบ PHP GUI สำหรับให้เกษตรกรหรือผู้ใช้เข้าไปแก้ไขปรับตั้งค่า Parameter NPK, pH, Soil humidity LOW/HIGH และเพิ่มจำนวนโหนดตัวรับรู้ความชื้นในดิน ความเป็นกรด-ด่าง และธาตุอาหารรวมเก็บข้อมูลจำนวนมะนาวหลาย ๆ บ่อนำมาวิเคราะห์และคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ blockchain สำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกมะนาวเพื่อบริหารภาระต้นทุนและกำไรร่วมกัน

## เอกสารอ้างอิง

1 อภิชาติ ศรีสะอาด และพัชรี สำโรงเย็น. 2558. *ปฏิทินมะนาวนอกฤดู*. กรุงเทพฯ: นาคา อินเตอร์มีเดีย. พิมพ์ครั้งที่ 1.

2 รวี เสรฐภักดี. 2557. *เทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดู*. ศูนย์วิจัยและพัฒนาไม้ผลเขตร้อนสถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

3 Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control.* 8(3): 338-353.

4 Jang, R. 1992. *Neuro-Fuzzy Modeling: Architectures*. Analyses and Applications.Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.

5 Banditwattanawong, T. and Masdisornchote, M. 2019. Temporal Acceleration for Cloud – CDN – Fog - Edge Hierarchy by Leveraging Proximal Object Replicas. *Internetworking Indonesia Journal*. 11(2): 1-7.

6 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. Edge Computing [online] available: www.nectec.or.th/news/news-public-document/edge-cloudsmartfactory.html. 2020.

7 ศิวาพร เหมียดไธสง และเที่ยง เหมียดไธสง. 2558. การวิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูกมะนาว ด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายระดับหมู่บ้านเพื่อลดการใช้สารเคมีและสารพิษตกค้างลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี. *บทความวิจัยการประชุมวิชาการ งานวิจัยและ*

*พัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7 (ECTI-CARD 2015).* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง และ สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเลคทรอนิคส์ โทรคมนาคม และสารสนเทศ ประเทศไทย. 58: 210-213.

8 จักราวุธ หาญวิเศษ และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์. 2558. ตัวแบบการเพิ่มผลิตภาพมันสำปะหลังด้วยความแม่นยำสูงโดยอาศัยระบบคลุมเครือ. *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม.ครั้งที่ 10 (SPUCON2015).*

9 Sonal Dubey, S. and S. Gautam. 2013. Literature Review on Fuzzy Expert System in Agriculture. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* ISSN: 2231-2307. 2(6): 289-291.

10 พิทักษ์ จิตรสำราญ สุขสวัสดี ณัฏฐวุฒิสิทธิ์ และเทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์. 2560. การพัฒนาฟาร์มไก่ไข่แบบสมาร์ตบนพื้นฐานตรรกศาสตร์คลุมเครือและราสพ์เบอร์รี่พาย. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการเรียนรู้.* 356-367.

11 GitHub. NodeMCU. [online] available: http://www.nodemcu.com/index_en.html. 2020.

12 Faisal, M. F., Bakar A. S. and Rudati, P. 2014. The development of a data acqusition system based on internet of things framework. *ICT For Smart Society (ICISS), 2014 International Conference on, Bandung, 2014*. 211-216.

13 Sakr S, Liu A, Batista D.M., and Alomari M. 2011. A survey of large scale data management approaches in cloud environments. *IEEE Commun Surv Tutorials.* 13(3): 311–336.

14 นันทรัตน์ ศุภกำเนิด. 2558. *การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน*. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.