

## การพัฒนาตู้เพาะปลูกพืชต้นทุ่นต่ำโดยใช้คลาวด์ไอโอที

วรัญญา อรรถเสนา<sup>1\*</sup> พิเชษฐ สืบสายพรหม<sup>1</sup> จูติพงษ์ สติระเมธีกุล<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10900

และ วรพจน์ ศตเดชากุล<sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

\* Corresponding Author: varunya.a@ku.ac.th

<sup>1</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และ นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และ นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

### ข้อมูลบทความ

### บทคัดย่อ

#### ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 2 มิถุนายน 2564

แก้ไข : 7 ธันวาคม 2564

ตอบรับ : 13 ธันวาคม 2564

DOI: 10.14456/kmuttrd.2022.2

#### คำสำคัญ :

คลาวด์ / ระบบควบคุม / ไอโอที / ตู้เพาะปลูกพืช

การวิจัยหรือการทดลองปลูกพืชในระบบเปิด ส่วนใหญ่จะได้ผลการทดลองที่ไม่ถูกต้องแม่นยำมากเพียงพอ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายๆ อย่างได้ จึงนิยมทำการวิจัยหรือการทดลองปลูกพืชในระบบปิดโดยใช้โรงเรือนหรือตู้เพาะปลูกพืช แต่การสร้างโรงเรือนปลูกพืชหรือการนำเข้าตู้เพาะปลูกพืชจากต่างประเทศต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูงและยังมีฟังก์ชันการใช้งานไม่เพียงพอต่อการวิจัยหรือการทดลองปลูกพืช ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตู้เพาะปลูกพืชที่ใช้ต้นทุ่นต่ำ รวมทั้งนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ทั้งคลาวด์และไอโอทีมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการทำวิจัย และอำนวยความสะดวกให้นักวิจัยสามารถทดลองปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมภายในตู้เพาะปลูกพืชได้ตามต้องการหรือเฝ้าสังเกตการเจริญเติบโตของพืชได้ตลอดเวลาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเวลาจริงที่เก็บไว้บนคลาวด์ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่าความเข้มของแสงสว่างและค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ต-โฟน ผลที่ได้จากงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ตู้เพาะปลูกพืชและระบบควบคุมปัจจัยต่างๆ ภายในตู้เพาะปลูกพืช ระบบคลาวด์ไอโอทีสำหรับเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล และโมบายแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนสำหรับเป็นส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ผลการทดสอบพบว่าสามารถควบคุมค่าของอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในแอปพลิเคชันได้นอกจากนี้ ยังสามารถควบคุมการเปิด/ปิดไฟแอลอีดีที่ให้แสงสว่าง และสามารถควบคุมปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืชได้อีกด้วย

---

## Development of a Low-Cost Plant Growth Chamber using IoT Cloud

Varunya Attasena<sup>1\*</sup> Pichet Suebsaiprom<sup>1</sup> Thitipong Satiramatekul<sup>2</sup>

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140  
Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG-BIO/MHESI), Chatuchak, Bangkok, 10900

and Worapot Satadaechakul<sup>3</sup>

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

\* Corresponding Author: varunya.a@ku.ac.th

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen and Researcher, Center for Agricultural Biotechnology, Kamphaeng Saen Campus.

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen and Researcher, Center for Agricultural Biotechnology, Kamphaeng Saen Campus.

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen.

---

### Article Info

### Abstract

#### Article History:

Received: June 2, 2021

Revised: December 7, 2021

Accepted: December 13, 2021

DOI: 10.14456/kmuttrd.2022.2

---

#### Keywords:

Cloud / Control System /

IoT / Plant Growth Chamber

Research or experiments on plant growth in open systems often produce results that are not sufficiently accurate. Due to an inability to control many plant growth factors, research or experiments on plant growth in closed systems by using greenhouses or plant growth chambers are preferred. However, greenhouse construction or plant growth chamber importing from abroad would require large budget and at the same time may still possess insufficient functionality for research or experiments. The present research therefore developed a low-cost plant growth chamber, which involved the adoption of modern technology viz. cloud and IoT. The objective was to reduce research costs and facilitate researchers to perform environment modifying experiments in the plant growth chamber as needed. Monitoring the growth of plants at any instant is also feasible through the application on a smartphone; this is done by monitoring various real-time parameters stored on the cloud, including temperature, humidity, light intensity and concentration of carbon dioxide. The research resulted in 3 main outputs: plant growth chamber and control system for various factors inside such a chamber, IoT cloud system for storage and analysis of data and mobile application on smartphone for user interface. Test results revealed that the temperature and humidity values could be controlled within the range specified in the application. It was also possible to control the on/off of the LED lighting and the amount of carbon dioxide in the plant growth chamber.

---

## 1. บทนำ

เกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของคนไทย และผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรก็เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทยแต่เนื่องจากเกษตรกรรมในประเทศไทยยังประสบปัญหาหลายด้าน เช่น ผลผลิตทางการเกษตรที่ไม่ได้ไม่ตรงตามเป้าหมาย สภาพภูมิอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูกพืช การระบาดของโรคพืช เป็นต้น และเนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาใช้ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมมากขึ้นจึงทำให้เกษตรกรต้องปรับเปลี่ยนจากการทำการเกษตรแบบดั้งเดิม (Traditional Agriculture) ไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ (Modern Agriculture) ที่มุ่งเน้นการบริหารจัดการฟาร์มแบบอัจฉริยะ (Smart Farming) โดยให้เกษตรกรหันมาใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ควบคู่ไปกับการทำการเกษตรกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการทำงานเกษตรให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงในเรื่อง

ของการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อนำไปสู่การเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรให้ยั่งยืนต่อไปในอนาคต [1-2]

ในปัจจุบัน ได้มีการทำวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรอย่างต่อเนื่อง ทำให้ใช้แรงงานน้อยและใช้ต้นทุนที่ต่ำลง แต่สามารถเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น ซึ่งมีนวัตกรรมทางการเกษตรเกิดขึ้นมากมายและหนึ่งในนั้นก็คือ ตู้เพาะปลูกพืช (Plant Growth Chamber หรือ PGC) ดังรูปที่ 1 โดยถูกนำมาใช้ในการเพาะปลูกพืชในสภาพแวดล้อมแบบระบบปิด แทนการเพาะปลูกพืชแบบระบบเปิดหรือแบบกลางแจ้ง (Open Air) ซึ่งส่วนใหญ่จะได้ผลการทดลองที่ไม่ถูกต้องแม่นยำมากเพียงพอ ตู้เพาะปลูกพืชมีสมบัติที่สามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ทำให้เกษตรกร



รูปที่ 1 ตัวอย่างตู้เพาะปลูกพืชของ CAB

ผู้ใช้สามารถทดลองปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมตามที่ต้องการได้ แต่จากการศึกษาข้อมูลของตู้เพาะปลูกพืชของศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร (CAB) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าตู้เพาะปลูกพืชนั้นมีราคาสูงและต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีฟังก์ชันการทำงานที่ไม่เพียงพอต่อการวิจัยหรือการทดลองปลูกพืช ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาตู้เพาะปลูกพืชที่ใช้ต้นทุนต่ำและเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่เพียงพอต่อการวิจัยหรือการทดลองปลูกพืช รวมทั้งนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ทั้งคลาวด์และไอโอทีมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการทำวิจัย และอำนวยความสะดวกให้แก่นักวิจัยสามารถทำการทดลองปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมภายในตู้เพาะปลูกพืชได้ตามต้องการ หรือเฝ้าสังเกตการเจริญเติบโตของพืชได้ตลอดเวลาโดยสามารถดูได้จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามเวลาจริง (Real-time) ที่เก็บไว้บนคลาวด์ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (T) ค่าความชื้น (RH) ค่าความเข้มของแสงสว่าง (PPFD) และค่าปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ตู้เพาะเลี้ยง (Growth Chamber) คือ ตู้ที่สามารถใช้ในการเพาะเลี้ยงสิ่งมีชีวิตได้ ไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ หรือแม้กระทั่งไซยาโนแบคทีเรีย ตู้เพาะปลูกพืช (Plant Growth Chamber หรือ PGC) เป็นตู้ที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช นั่นคือสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้น และยังสามารถให้แสงชนิดเดียวกับแสงธรรมชาติที่เหมาะสมกับพืชได้ [3-6] นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ได้ เช่น การทดสอบคุณภาพของผักหรือผลไม้สด การทดสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (Air Vapor Pressure Deficit หรือ VPD<sub>air</sub>) เป็นดัชนีบ่งบอกระดับความแห้งของอากาศ โดยคำนวณจากค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีหน่วยเป็น kPa [7] ที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ค่า VPD<sub>air</sub> จะลดลงจนถึง 0 kPa เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100 % ดังสมการที่ (1)

$$VPD_{air} = 0.6108 \times e^{\left(\frac{17.27 \times T}{T + 237.3}\right)} \times \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (1)$$

โดยที่ T คือค่าอุณหภูมิของอากาศในหน่วยองศาเซลเซียส และ RH คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแสดงในรูปของร้อยละ (%) [8]

สำหรับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของพืช ค่า VPD ต้องไม่เกิน 2 kPa ถ้าสูงเกินต้องลดลงมาด้วยการเพิ่มความชื้นในอากาศหรือการลดแสงสว่าง การเพิ่มความชื้นในอากาศสามารถทำได้โดยใช้เครื่องทำหมอกอัลตราโซนิคส์ ซึ่งมีหลักการทำงานคือ Piezoelectric Transducer ที่ถูกแช่ไว้ในน้ำจะทำการเปลี่ยนความถี่สูงทางไฟฟ้าให้เป็นความถี่สูงทางกลซึ่งจะทำให้หน้าเกิดการสั่นไหวชั่วขณะอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดสบูญอากาศและความดันสูงในน้ำผลักดันคลื่นให้พื้นผิวน้ำเกิดเป็นละอองขนาดเล็กแตกตัวหลุดลอยออกมาเป็นจำนวนมากจนเกิดเป็นหมอกขึ้น

PPF (Photosynthetic Photon Flux) คือ การวัดค่าแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชของแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น  $\mu\text{mol/s}$  สามารถนำมาใช้วัดประสิทธิภาพในการผลิตแสงสว่างของไฟ LED ปลูกพืชได้ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าพืชได้รับปริมาณของแสงเท่าไร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของค่า PPF ส่วน PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) คือ การวัดว่าพืชได้รับแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืชในปริมาณเท่าไรมีหน่วยเป็น  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพของไฟ LED ปลูกพืชโดยรวม การวัดค่า PPFD นิยมวัดบริเวณยอดพืช จะมีค่ามากขึ้นแตกต่างกันไปตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง ดังนั้นไฟ LED ปลูกพืชจึงควรแสดงให้เห็นถึงค่า PPFD ในระยะต่าง ๆ ด้วย [9-11]

การที่พืชจะสร้างอาหารสำหรับการเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้นั้น ต้องอาศัยกลไกทางชีวเคมีภายในของต้นพืช กลไกนี้จะขับเคลื่อนไปได้ก็ด้วยปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เรียกว่า การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ น้ำ แร่ธาตุหรือปุ๋ยและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยมีแสงเป็นพลังงานในการทำให้เป็นอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล แล้วส่งไปหล่อเลี้ยงทุกส่วนของต้นพืช ดังนั้น CO<sub>2</sub> จึงเป็นวัตถุดิบตัวหนึ่งที่สำคัญ จะเรียกว่าปุ๋ยอากาศ

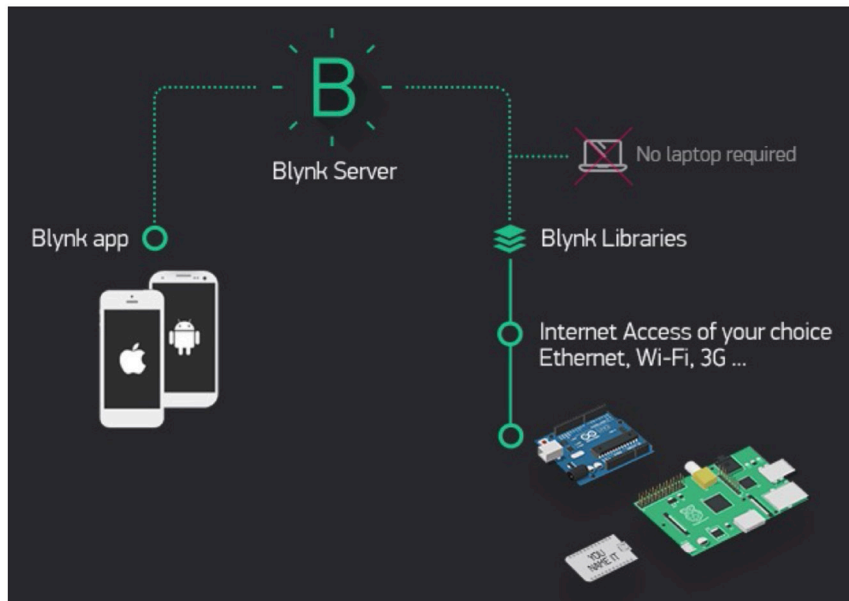
ก็ได้ เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแยกเอาคาร์บอน (C) ออกมารวมกับแร่ธาตุตัวอื่น จากนั้นจึงจับเอาแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และน้ำออกไปในบรรยากาศ ถ้าบรรยากาศที่บริเวณใดมีความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> สูง พืชในบริเวณนั้นก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าบริเวณอื่นที่มีความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> ต่ำ สรุปได้ว่าการที่จะปลูกพืชให้โตเร็วและให้ผลผลิตสูงนั้น ต้องมีการจัดการปัจจัยที่สำคัญ 4 อย่าง คือ แสงสว่าง น้ำ ดิน และ CO<sub>2</sub> ให้เพียงพอต่อความต้องการของต้นพืช [12-13]

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ ไอโอที (IoT) หมายถึง เครือข่ายของอุปกรณ์หรือสิ่งของที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซนเซอร์ และการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายฝังตัวอยู่ ทำให้อุปกรณ์หรือสิ่งของเหล่านั้นสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมและถูกควบคุมได้จากระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายที่มีอยู่นอกจากนี้ยังสามารถเก็บบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ ผลที่ตามมาก็คือ ประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และ

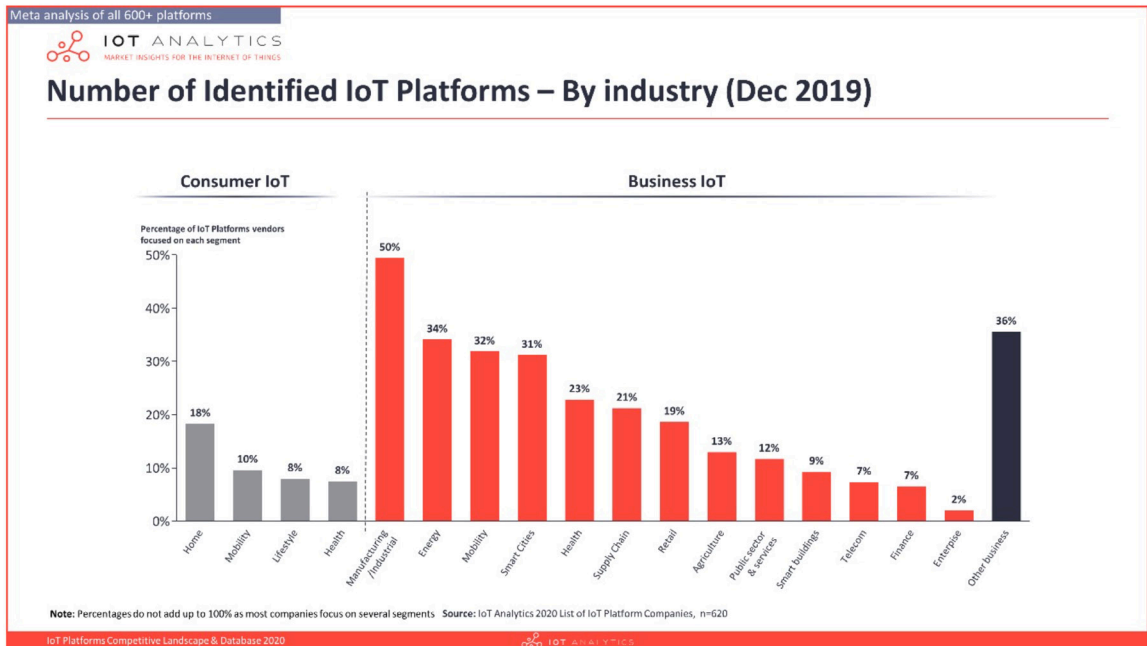
ประโยชน์ที่เพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์หรือสิ่งของแต่ละชิ้นสามารถถูกระบุตัวตนได้โดยไม่ซ้ำกันด้วยหมายเลขไอพี (IP Address) ผ่านระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) และสามารถทำงานร่วมกันได้บนโครงสร้างพื้นฐานอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน [14]

แอปพลิเคชัน Blynk (Blynk App) เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปสำหรับงานไอโอที สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีต่าง ๆ เข้ากับระบบอินเทอร์เน็ตได้อย่างง่ายดาย และสามารถใช้งานได้แบบเวลาจริง (Real Time) โดยรองรับทั้งในระบบปฏิบัติการ Android และ iOS แอปพลิเคชัน Blynk เป็นหนึ่งในสามองค์ประกอบหลักของแพลตฟอร์มไอโอที Blynk (Blynk IoT Platform) ดังรูปที่ 2 ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้หลายชนิด อาทิเช่น Node MCU (ESP), Arduino, Raspberry Pi เป็นต้น [15]

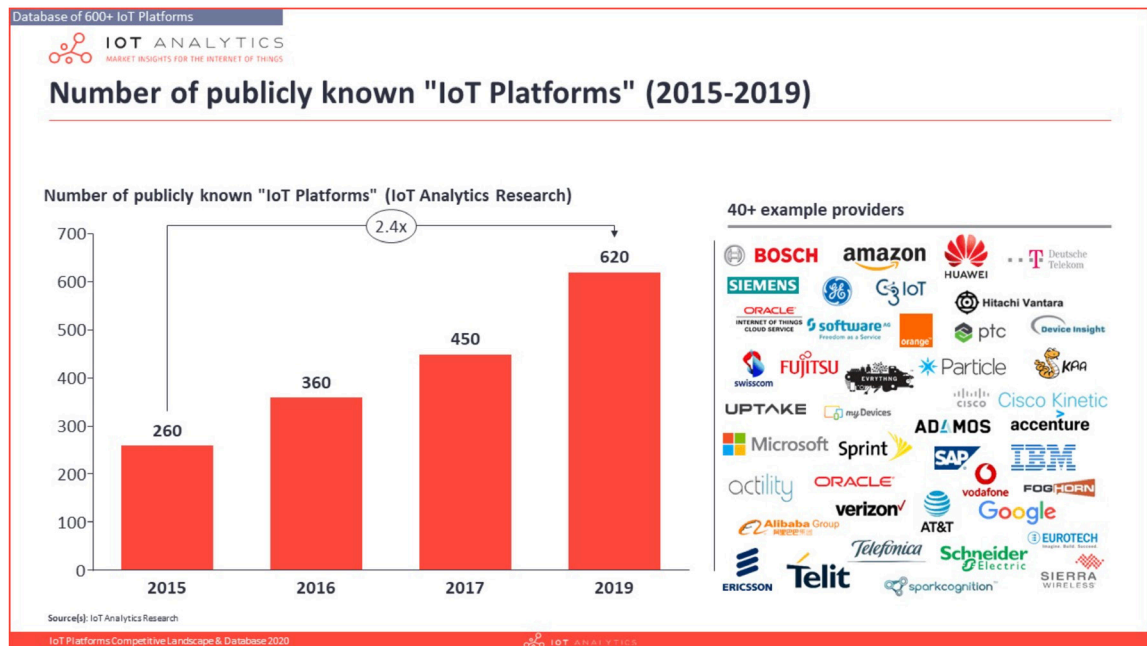
คลาวด์ไอโอที (IoT Cloud) คือ รูปแบบการให้บริการ PaaS (Platform-as-a-Service) รูปแบบหนึ่งของคลาวด์ (Cloud) สำหรับสนับสนุนการบริการ



รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานของ Blynk [16]



รูปที่ 3 ตัวอย่างผู้ให้บริการคลาวด์ไอโอที [17]

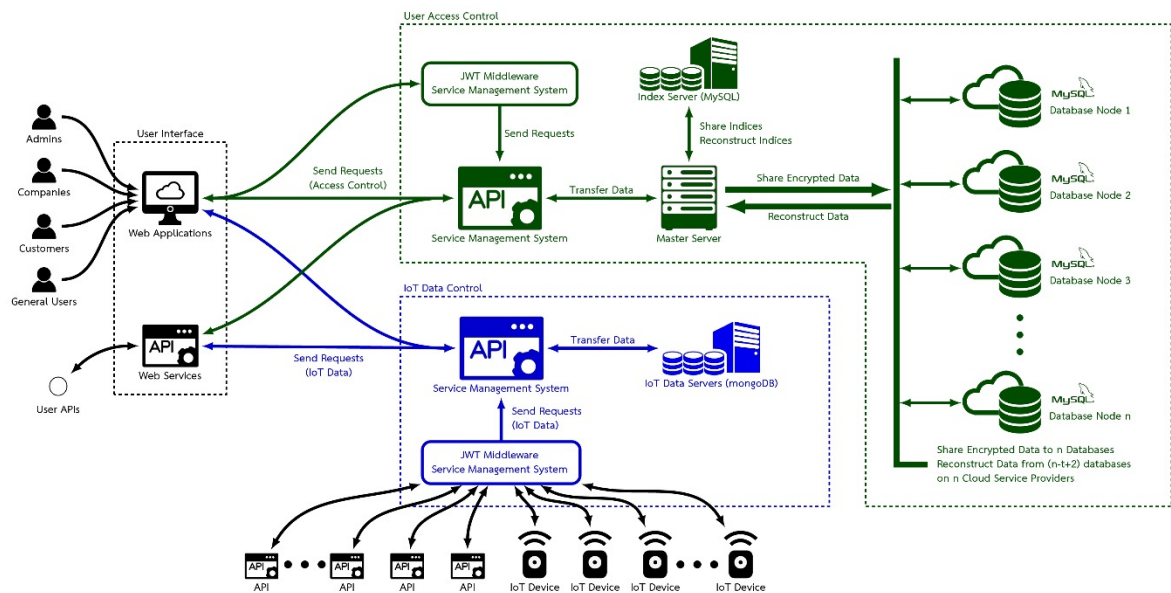


รูปที่ 4 สัดส่วนการใช้งานคลาวด์ไอโอทีในการเกษตร [17]

และแอปพลิเคชันของอุปกรณ์ไอโอที (IoT Devices & Applications) โครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นต่างๆ เช่น อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Storage) ระบบเครือข่าย (Network) เซิร์ฟเวอร์ (Server) เป็นต้น ถูกรวมไว้ใน การบริการคลาวด์ไอโอที เพื่อการปฏิบัติการและการประมวลผลแบบทันที (Real Time Operations & Processing) ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน (Standard) และปลอดภัย (Secure) คลาวด์ไอโอทีได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายจากผู้พัฒนาอุปกรณ์ไอโอทีต่าง ๆ เนื่องจากเป็นรูปแบบการบริการที่สามารถปรับเปลี่ยน ได้ตลอดเวลาตามความต้องการของผู้รับบริการ (On-Demand Service) และมีผู้ให้บริการจำนวนมากในปัจจุบัน รูปที่ 3 แสดงการเพิ่มขึ้นของผู้ให้บริการคลาวด์ไอโอทีจำนวนมากในทุก ๆ ปี และแสดงตัวอย่างผู้ให้บริการคลาวด์ไอโอที เช่น Google (Cloud IoT Core), Microsoft (Azure IoT), Amazon (AWS IoT), IBM (Watson IoT Platform) เป็นต้นโดยสัดส่วนของการรับบริการคลาวด์ไอโอทีในภาคการเกษตรสูงถึงร้อยละ 13 ดังรูปที่ 4

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีผู้ให้บริการคลาวด์ไอโอทีเป็นจำนวนมากก็ตาม แต่ปัญหาในเรื่องของความไว

วางใจ (Trust) ก็ยังเป็นประเด็นที่สำคัญ [18-21] ดังนั้นที่วิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จึงได้ทำการพัฒนา ENG-KPS Cloud ซึ่งเป็นระบบคลาวด์ ไอโอทีเพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งแบบ Real Time และแบบ Ad-Hoc Query โดยรับประกันความปลอดภัยของข้อมูลและการสื่อสารด้วยกุญแจขนาด 512 บิต ซึ่งจัดเก็บในฐานข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสและจัดเก็บไว้ใน อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลแบบกระจาย โดยกำหนดการสื่อสารและการประมวลผลเฉพาะอุปกรณ์ไอโอทีที่อยู่ในประเทศไทยเท่านั้น จากแผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของ ENG-KPS Cloud ดังรูปที่ 5 ผู้ใช้จะสามารถเข้าถึงการบริการข้อมูลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน หรือผ่านทางเอพีไอ (API) การเข้าถึงข้อมูลในทุก ๆ การบริการจะถูกตรวจสอบสิทธิ์ (ในส่วนของ User Access Control) ข้อมูลของผู้ใช้ สิทธิ์ในการเข้าถึง และประวัติในการเข้าถึง จะถูกเก็บไว้ใน Log File และในฐานข้อมูลที่กระจายและปลอดภัย โดยการรับประกันความปลอดภัยด้วยขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสแบบ FVSS [22-23] เมื่อผ่านกระบวนการตรวจสอบสิทธิ์



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของ ENG-KPS Cloud

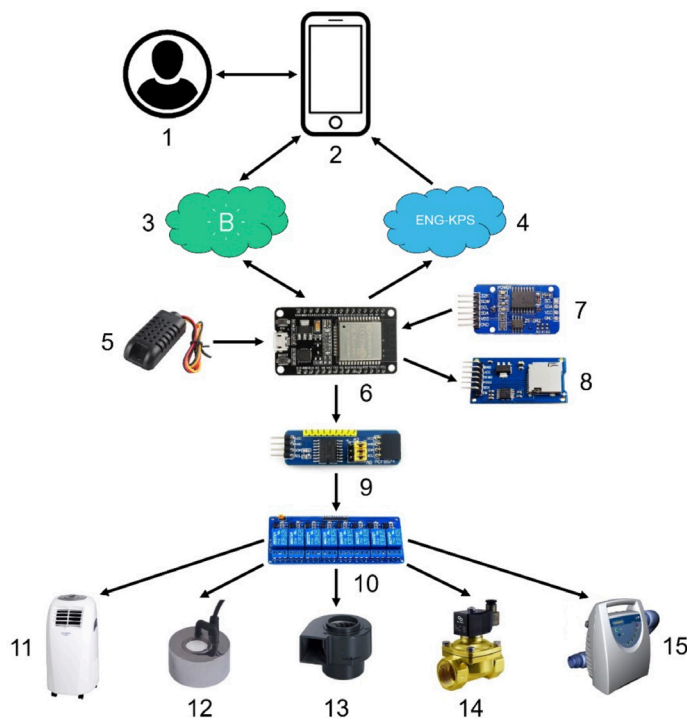
แล้วจึงจะสามารถเข้าถึงการบริการข้อมูลได้ (ในส่วนของ IoT Data Control) สำหรับข้อมูลจากอุปกรณ์ ไอโอทีและเอพีไอต่าง ๆ จะถูกตรวจสอบ วิเคราะห์ทางสถิติ และจัดเก็บในฐานข้อมูล NoSQL (mongoDB) เพื่อการบริการต่อไป

**2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย**

ระบบควบคุมภายในตู้เพาะปลูกพืชแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น กับระบบควบคุมแสงและคาร์บอนไดออกไซด์

การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแสดงดังรูปที่ 6 มีบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 (6) เป็นศูนย์กลางการประมวลผล โดยจะทำการรับค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ DHT21 (5) จากนั้นจะนำค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ไปเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ผู้ใช้ (1) ทำการป้อนเข้ามาทางแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน (2) ผ่านแพลตฟอร์ม ไอโอที Blynk (3) บนระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อควบคุมค่า

อุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชตามที่ผู้ใช้กำหนด หากค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เกินหรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้กำหนด บอร์ด ESP32 ซึ่งเชื่อมต่อด้วย บัส I<sup>2</sup>C โดยใช้โมดูลขยายพอร์ต PCF8574 (9) จะสั่งการให้รีเลย์ (10) ในแต่ละส่วนทำงานดังนี้ สั่งเปิดแอร์ (11) เพื่อลดอุณหภูมิหรือลดความชื้น สั่งเปิดเครื่องทำหมอกอัลตราโซนิคส์ (Ultrasonic Mist Maker) (12) เครื่องเป่าลม (Blower) แบบพัดลมแรงเหวี่ยง(Centrifugal Fan) (13) และวาล์วโซเลนอยด์ (Solenoid Valve) (14) เพื่อเพิ่มความชื้น หรือ สั่งเปิดฮีตเตอร์ (15) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ ในขณะที่ทำงานระบบจะทำการจัดส่งข้อมูล วันเวลา ค่าอุณหภูมิและความชื้น ไปเก็บไว้ที่ ENG-KPS Cloud (4) หรืออาจทำการจัดเก็บข้อมูลไว้ที่ Micro SD Card (8) ในกรณีที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับโมดูลนาฬิกา DS3231 (Real Time Clock หรือ RTC) (7) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสั่งการหรือเรียกดูค่าอุณหภูมิและความชื้นแบบ Real Time และแบบย้อนหลังได้ตลอดเวลาผ่านทาง



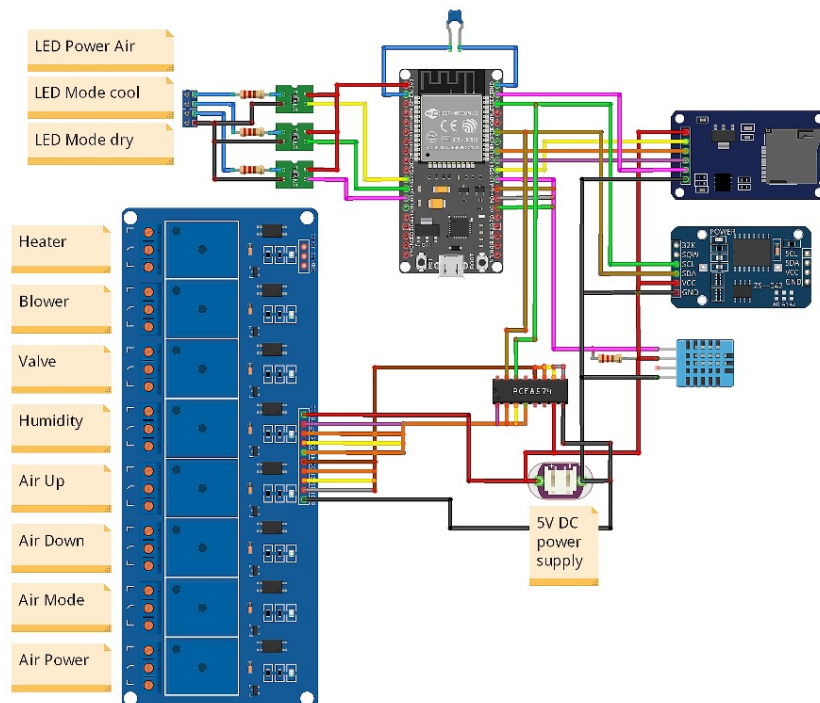
รูปที่ 6 ภาพรวมของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



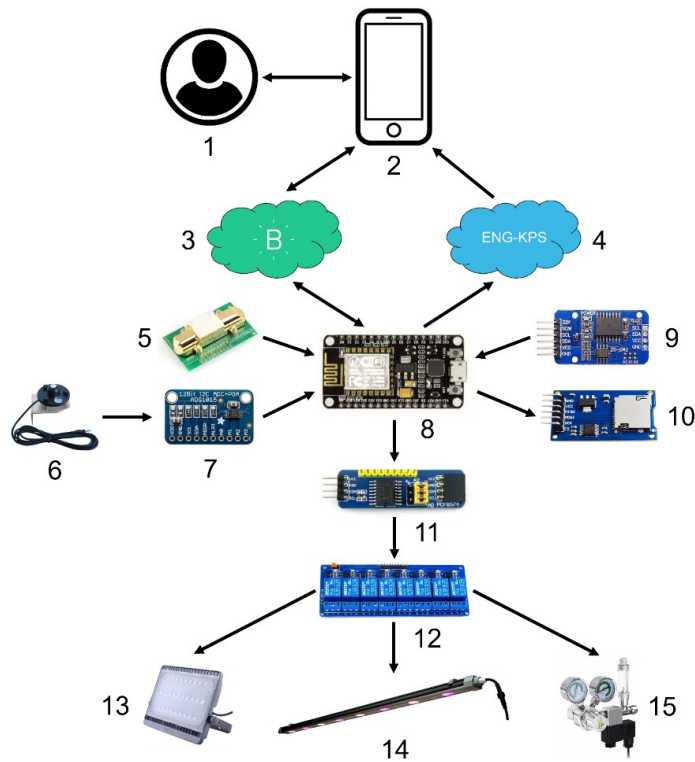
แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน สำหรับเซนเซอร์ DHT21 หรือโมดูล AM2301 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล สามารถวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นได้ในช่วง - 40 ถึง 80°C และ 0 ถึง 100 %RH ตามลำดับ มีความแม่นยำในการวัด  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  และ  $\pm 3\%$  RH ตามลำดับ โดยใช้การเชื่อมต่อด้วยสายสัญญาณเพียงเส้นเดียวแบบสองทิศทางคือ SDA (Serial Data) ในการอ่านข้อมูลแต่ละครั้งจะอ่านข้อมูลทั้งหมด 40 บิต ซึ่งจะแบ่งเป็น 16 บิตสำหรับค่าอุณหภูมิ 16 บิตสำหรับค่าความชื้น และ 8 บิตสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Parity Bits) การออกแบบการเชื่อมต่อวงจรในส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแสดงดังรูปที่ 7 โดยเพิ่มไอซี PC817B สำหรับใช้ดูสถานะในการทำงานของแอร์อีกด้วย

การทำงานของระบบควบคุมแสงและคาร์บอนไดออกไซด์แสดงดังรูปที่ 8 โดยจะมีบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 (8) รับค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเซนเซอร์ MH-Z14 Gas Sensor (5) ซึ่งใช้หลัก

การทำงานแบบ NDIR (Non-Dispersive Infrared) และรับค่าความเข้มของแสงจากเซนเซอร์ Quantum Light Sensor (6) โดยใช้โมดูล ADS1015 (7) แปลงค่าจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์จะถูกส่งผ่าน Blynk IoT Platform (3) บนระบบอินเทอร์เน็ตไปยัง Blynk App บนสมาร์ทโฟน (2) เพื่อแสดงข้อมูลให้กับผู้ใช้ (1) และผู้ใช้สามารถทำการควบคุมค่าความเข้มของแสงและค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยสั่งการผ่านทางแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนและใช้โมดูลขยายพอร์ต PCF8574 (11) เพื่อควบคุมสถานะการเปิด/ปิดรีเลย์ (12) ดังนี้ สั่งเปิดไฟแอลอีดีสีขาว (LED Day Light) (13) และไฟแอลอีดีสีม่วง (LED Grow Light) (14) เพื่อเพิ่มแสง หรือ สั่งเปิดวาล์วโซเลนอยด์ (Solenoid Valve) (15) เพื่อเพิ่มปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืช ในขณะที่ทำงานระบบจะทำการจัดส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่ ENG-KPS Cloud (4) หรือทำการจัดเก็บไว้ที่ Micro SD Card (10) ในกรณีที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ



รูปที่ 7 การออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 8 ภาพรวมของระบบควบคุมแสงและ CO<sub>2</sub>

อินเทอร์เน็ตได้ นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับโมดูลนาฬิกา DS3231 (9) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตั้งเวลาในการรับค่าจากเซนเซอร์และควบคุมการเปิด/ปิดไฟแอลอีดีแบบอัตโนมัติ สำหรับเซนเซอร์ Quantum Light Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดความเข้มของแสงที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 400 ถึง 700 nm สามารถวัดค่าความเข้มของแสงได้ในช่วง 0 ถึง 2,500  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีความแม่นยำในการวัด  $\pm 5\%$  ซึ่งคำนวณได้จากค่าแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ในช่วง 0 ถึง 2.5V แล้วแปลงค่ามาเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลขนาด 10 บิต ซึ่งจะมีค่าแอนะล็อกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1,023 ดังสมการที่ (2)

$$\text{Analog} = \text{PPFD} \times \frac{1023}{2500} \quad (2)$$

ส่วนเซนเซอร์ MH-Z14 Gas Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถวัดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ได้ในช่วง 0 ถึง 5,000 ppm มีความแม่นยำในการวัด  $\pm 50$  ppm โดยใช้หลักการที่ว่ารังสีอินฟราเรด (IR) จะถูกดูดกลืนด้วยสารต่างชนิดไม่เท่ากัน สารต่างชนิดกันก็จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 4.3  $\mu\text{m}$  ดังนั้นจึงนำเอาคลื่นความถี่นี้มาใช้ในเซนเซอร์แบบ NDIR ค่าความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> สามารถคำนวณได้จากปริมาณของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งมีสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของแก๊สตามกฎของ Beer-Lambert [24] ดังสมการที่ (3) และ (4)

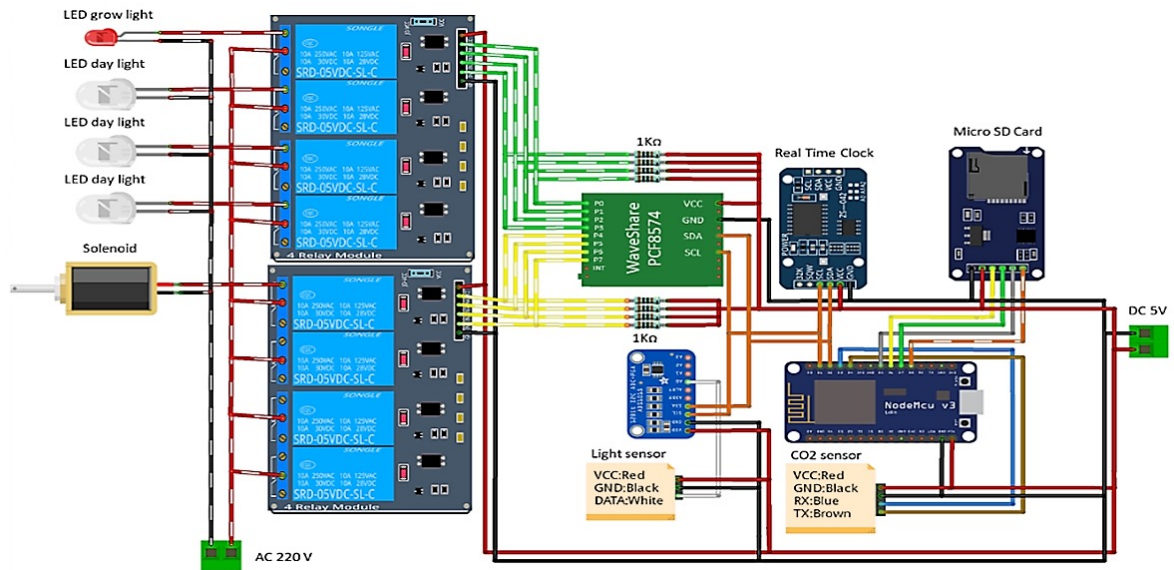
$$I = I_0 e^{-ALC} \quad (3)$$

$$C = -\frac{1}{AL} \times \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (4)$$

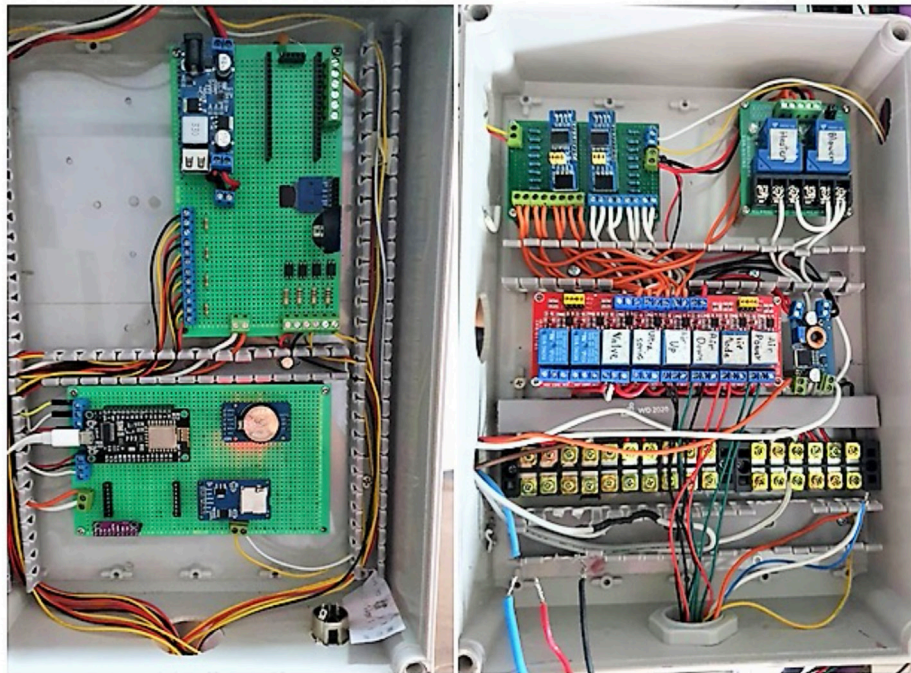
เมื่อ I คือความเข้มของแสงหลังผ่านสาร I<sub>0</sub> คือความเข้มของแสงเมื่อเริ่มตกกระทบสาร A คือค่าคงที่ของการ

ดูดกลืนแสง (Molar Absorptivity)  $L$  คือระยะทางที่แสงผ่านสาร และ  $C$  คือความเข้มข้นของสาร มีหน่วยเป็น mol/L หรือ M (Molar) เมื่อได้ค่าความเข้มข้นของสารแล้วจึงทำการแปลงหน่วยให้เป็น ppm (parts per million)

การออกแบบการเชื่อมต่อวงจรในส่วนของระบบควบคุมแสงและคาร์บอนไดออกไซด์แสดงดังรูปที่ 9 การเชื่อมต่อวงจรจริงในส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น และระบบควบคุมแสงและคาร์บอนไดออกไซด์แสดงดังรูปที่ 10

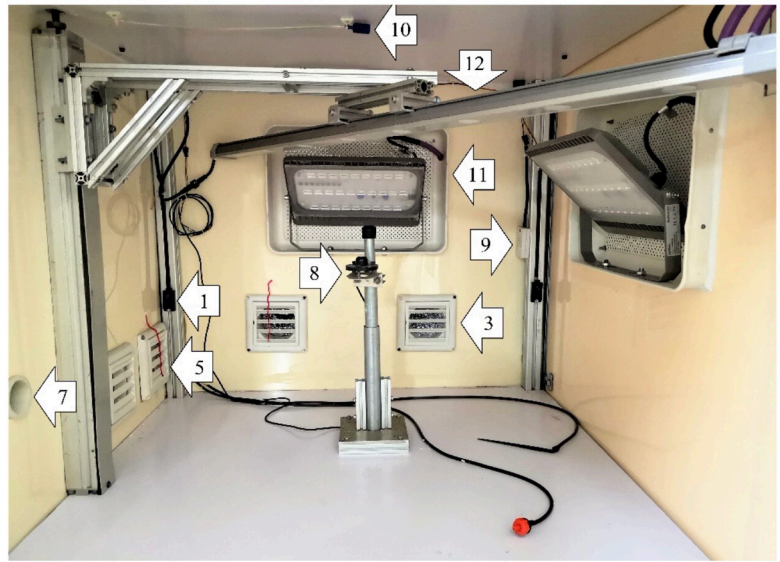


รูปที่ 9 การออกแบบวงจรควบคุมแสงและ CO<sub>2</sub>



รูปที่ 10 การเชื่อมต่อวงจรจริงของระบบควบคุม

รูปที่ 11 ส่วนประกอบต่าง ๆ  
ของตู้เพาะปลูกพืชที่พัฒนาขึ้น

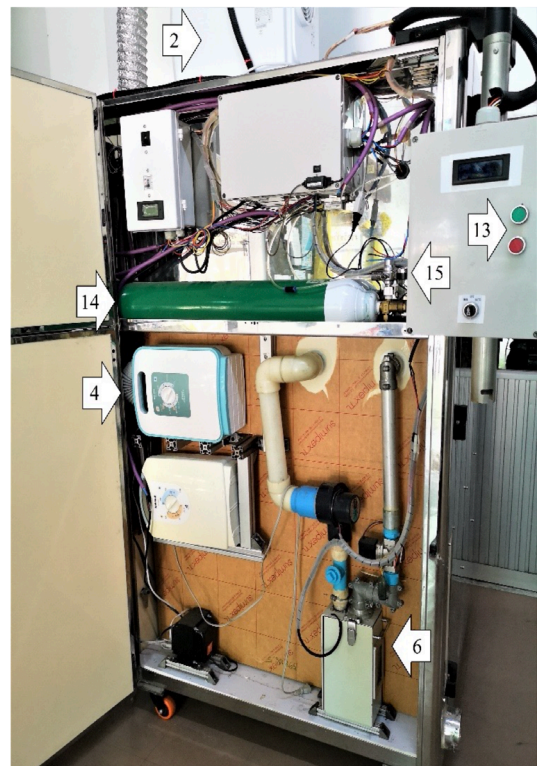


(a) ส่วนประกอบภายใน

### 3. ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การสร้างตู้เพาะปลูกพืชและระบบควบคุมภายในตู้เพาะปลูกพืช การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน และการพัฒนาระบบคลาวด์ไอโอที

ตู้เพาะปลูกพืชที่พัฒนาขึ้น (ดังรูปที่ 11) แบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนและชั้นล่าง แต่ละชั้นมีขนาด  $1 \times 1 \times 1$  m เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้น (1) จำนวน 4 ตัวถูกติดตั้งไว้ที่มุมทั้ง 4 ของตู้เพาะปลูกพืช เพื่อนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืช แอร์ (2) ถูกติดตั้งไว้ที่ด้านบนของตู้เพาะปลูกพืช มีการต่อท่อ 2 ท่อ (3) เพื่อดูดอากาศภายในตู้เพาะปลูกออกมาปรับอากาศที่แอร์และปล่อยอากาศกลับเข้าไปภายในตู้เพาะปลูกพืช ซึ่งแอร์จะมี 2 โหมดการทำงาน คือ โหมดการลดอุณหภูมิและโหมดการลดความชื้น โดยจะทำงานเมื่อมีการสั่งงานมาจากแอปพลิเคชันฮีตเตอร์ (4) ถูกติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของตู้เพาะปลูกพืช มีการต่อท่อ 2 ท่อ (5) เพื่อดูดอากาศภายในตู้เพาะปลูกออกมาปรับอากาศที่ฮีตเตอร์และปล่อยอากาศกลับเข้าไปภายในตู้เพาะปลูกพืช โดยฮีตเตอร์จะทำงานเมื่อผู้ใช้ต้องการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืช ระบบทำความชื้น (6) ถูกติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของตู้เพาะปลูกพืช มีเครื่องทำ



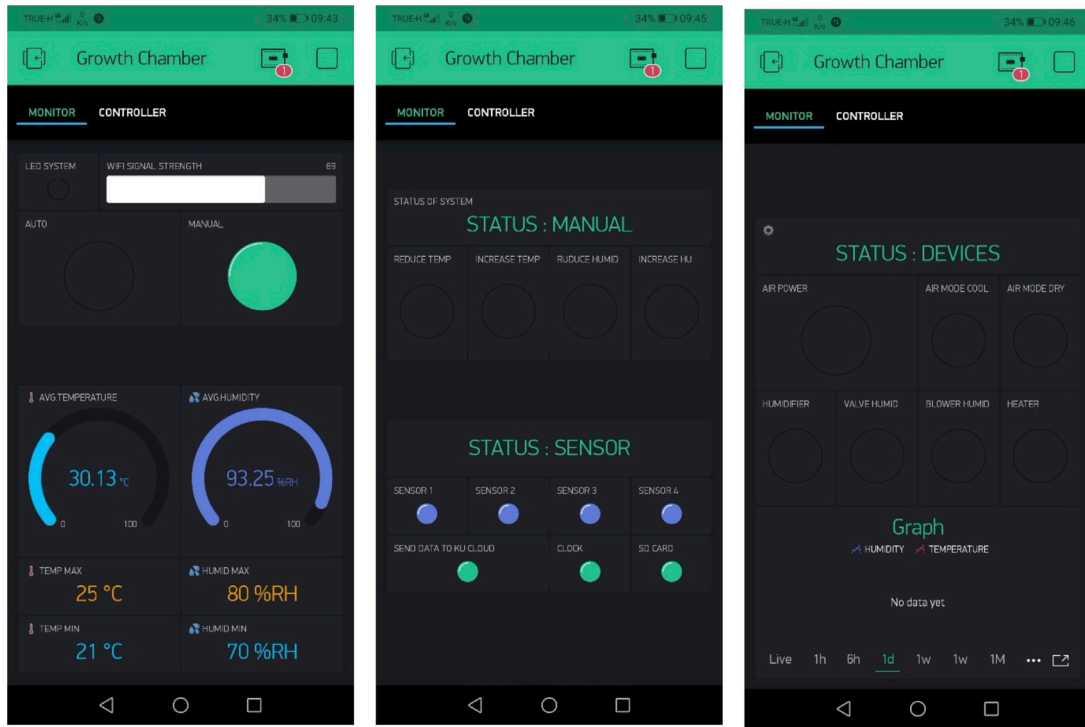
(b) ส่วนประกอบภายนอก

หมอกอัลตราโซนิคอยู่ภายในกล่องที่บรรจุน้ำ โดยมีพัดลมแรงเหวี่ยงทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายในตู้เพาะปลูกพืชมาผสมกับไอน้ำที่สร้างขึ้นภายในกล่อง ทำให้เกิดเป็นละอองความชื้นและปล่อยกลับเข้าไปภายในตู้เพาะปลูกพืช (7) ซึ่งจะทำความชื้นภายในตู้เพาะปลูกสูงขึ้น เซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสง (8) ถูกติดตั้งไว้ที่เสาปรับระดับได้และตั้งไว้ใกล้กับต้นพืชเพื่อวัดค่าความเข้มของแสงในระดับเดียวกับใบพืช เซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (9) ถูกติดตั้งไว้ที่มุมของตู้เพาะปลูกพืชซึ่งอยู่ห่างจากหัวปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (10) บนเพดานของตู้เพาะปลูกพืชเพื่อให้วัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างแม่นยำ แผงไฟแอลอีดีสีขาว (11) ถูกติดตั้งไว้ 3 ด้านคือ ที่ผนังของตู้เพาะปลูกพืช 2 ด้าน และที่ประตูของตู้เพาะปลูกพืช ซึ่งสามารถปรับมุมของแผงไฟแอลอีดีสีขาวได้ แผงไฟแอลอีดีสีม่วง (12) ถูกติดตั้งไว้ตรงกลางของตู้เพาะปลูกพืช ซึ่งสามารถปรับระดับความสูงของแผงไฟแอลอีดีสีม่วงตามขนาดความสูงของต้นพืชได้โดยกดที่ปุ่มเลื่อนระดับความสูง (13) ถึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (14) และวาล์วโซเลนอยด์ (15) ถูกติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของตู้เพาะปลูกพืช มีการต่อท่อเข้าไปภายในตู้เพื่อปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ในส่วนของโมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจาก Blynk ผู้ใช้สามารถดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเวลาจริงบนสมาร์ตโฟนได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งจะดึงค่ามาจากระบบคลาวด์ไอโอที แบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบควบคุมและสังเกตการณ์ค่าอุณหภูมิและความชื้น กับ ระบบควบคุมและสังเกตการณ์ค่าแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนของการสังเกตการณ์ของระบบที่หนึ่ง (Monitor) แสดงดังรูปที่ 12 (a) ถึง (c) ประกอบด้วย ไฟแสดงสถานะการทำงานของระบบว่าอยู่ในโหมดใดแถบแสดงความแรงของสัญญาณอินเทอร์เน็ต ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชแบบ Real Time ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิและความชื้นที่ผู้ใช้กำหนดไฟแสดงสถานะการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นทั้ง 4 ตัว ไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์และโมดูลต่างๆ ของระบบ

กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นแบบ Real Time และแบบย้อนหลัง ส่วนของการควบคุมของระบบที่หนึ่ง (Controller) ดังรูปที่ 12 (d) และ (e) ประกอบด้วย ปุ่มเลือกโหมดการทำงานของระบบแบบ Auto หรือแบบ Manual สำหรับการทำงานแบบ Auto ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการ สำหรับการทำงานแบบ Manual ผู้ใช้สามารถปรับค่าอุณหภูมิและสั่งเปิด/ปิดอุปกรณ์ต่างๆ ได้ตามต้องการ ส่วนของการสังเกตการณ์ของระบบที่สอง แสดงดังรูปที่ 13 (a) และ (b) ประกอบด้วย ค่าความเข้มของแสงและค่าความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืชแบบ Real Time ไฟแสดงสถานะการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ ไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์และโมดูลต่างๆ ของระบบ โหมดการทำงานของระบบ กราฟแสดงค่าความเข้มของแสงและค่าความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Real Time และแบบย้อนหลัง ส่วนของการควบคุมของระบบที่สอง ดังรูปที่ 13 (c) ประกอบด้วย ปุ่มเลือกโหมดการทำงานของระบบแบบ Auto หรือแบบ Manual สำหรับการทำงานแบบ Auto ผู้ใช้ต้องเลือกไฟแอลอีดีที่ต้องการและต้องกำหนดเวลาเปิดและเวลาปิด สำหรับการทำงานแบบ Manual ผู้ใช้สามารถสั่งเปิด/ปิดไฟแอลอีดีทั้งสีขาวและสีม่วงได้ตามต้องการ สำหรับการควบคุมปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืช ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการ

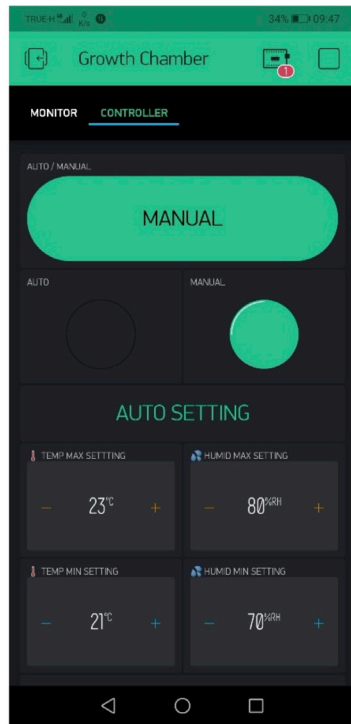
การทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนและระบบควบคุมภายในตู้เพาะปลูกพืช ได้ทำการทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามที่ได้กำหนดค่าไว้ในแอปพลิเคชัน จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืชโดยการใช้ฮีตเตอร์นั้น จะส่งผลให้ความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชลดต่ำลง ส่วนการลดอุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืชโดยการใช้แอร์ในโหมด Cool นั้น จะส่งผลให้ความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชเพิ่มสูงขึ้น และในทางกลับกันการเพิ่มความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชโดยการใช้ระบบทำความชื้นนั้น จะส่งผล



(a)

(b)

(c)

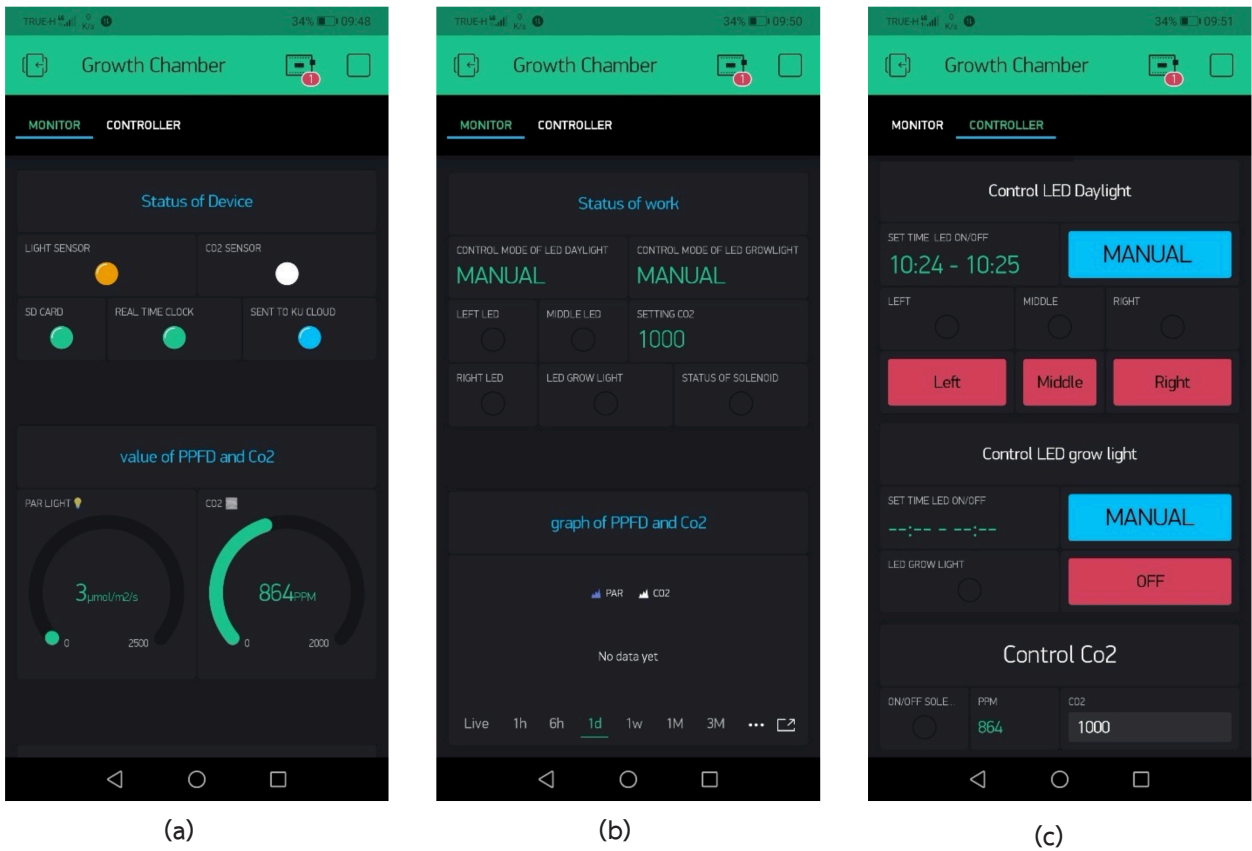


(d)



(e)

รูปที่ 12 ระบบควบคุมและสังเกตการณ์ค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืช



(a)

(b)

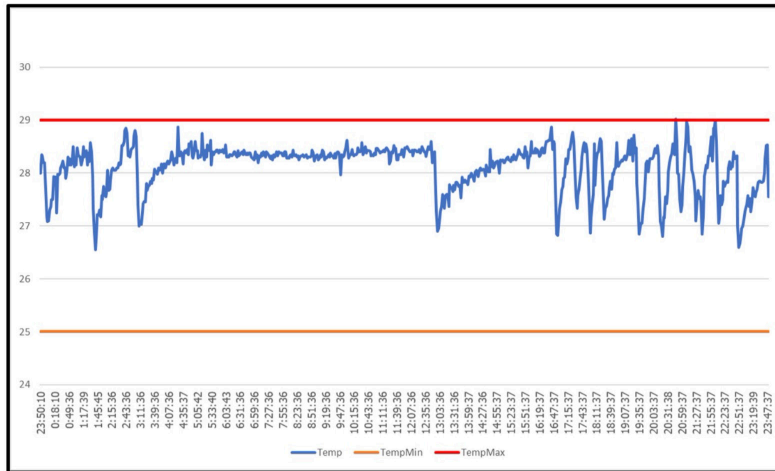
(c)

รูปที่ 13 ระบบควบคุมและสังเกตการณ์ค่าแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืช

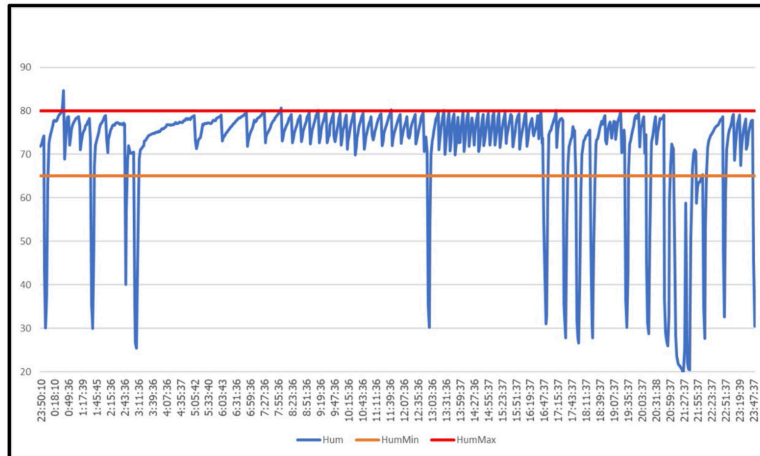
ให้อุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืชลดต่ำลง ส่วนการลดความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชโดยการใช้แอร์ในโหมด Dry นั้น จะส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืชเพิ่มสูงขึ้นนอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเก็บผลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 23:50:10 น. ของวันที่หนึ่ง จนถึงเวลา 23:47:37 น. ของวันที่สอง โดยได้ทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืชให้มีค่าอยู่ระหว่าง 25 ถึง 29 °C และทดลองควบคุมความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชให้มีค่าอยู่ระหว่าง 65 ถึง 80 %RH ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 14 และ 15 ตามลำดับ จะได้ว่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.1 °C และ 71.0 %RH ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น

รูปที่ 16 แสดงผลการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของค่าแสงที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ติดตั้งภายในตู้เพาะปลูกพืช โดยการนำเซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสงที่ใช้ (1)

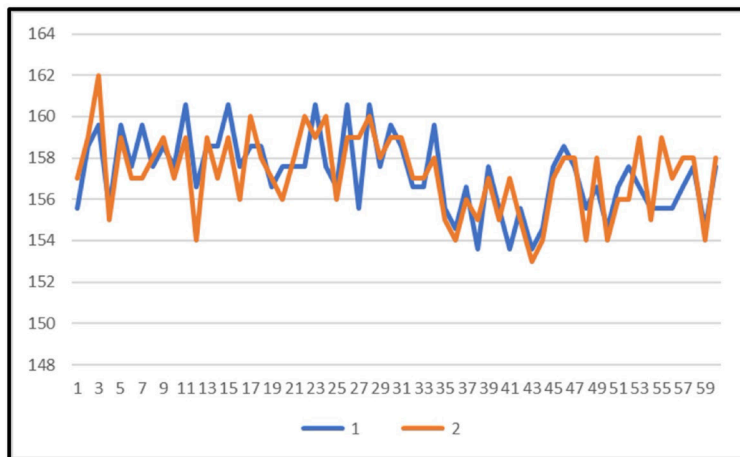
มาทดสอบการทำงานเทียบกับเซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสงของศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร (2) จำนวน 60 ครั้ง ซึ่งพบว่าค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.1 % ทำการทดสอบวัดค่า PPFD จากไฟแอลอีดีสีขาว (Day Light) จำนวน 50 ครั้ง โดยตั้งเซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสงไว้ตรงกลางตู้เพาะปลูกพืชและอยู่สูงจากพื้น 30 cm โดยให้แผงไฟแอลอีดีทุกแผงทำมุมตั้งฉากกับเซนเซอร์ ได้ผลการทดสอบดังนี้ เมื่อเปิดไฟแอลอีดีสีขาวเพียงด้านเดียวจะได้ค่า PPFD ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า PPFD เฉลี่ยเท่ากับ 92.3, 96.3 และ 111.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ เมื่อเปิดไฟแอลอีดีสีขาวสองด้านจะได้ค่า PPFD เฉลี่ยเท่ากับ 154.7, 188.0 และ 214.1  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ และเมื่อเปิดไฟแอลอีดีสีขาวทั้งสามด้านจะได้ค่า PPFD เฉลี่ยเท่ากับ 280.3  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  จากนั้นทำการทดสอบวัดค่า PPFD จากไฟแอลอีดีสีม่วง



รูปที่ 14 การทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เพาะปลุกพืช



รูปที่ 15 การทดลองควบคุมความชื้นภายในตู้เพาะปลุกพืช

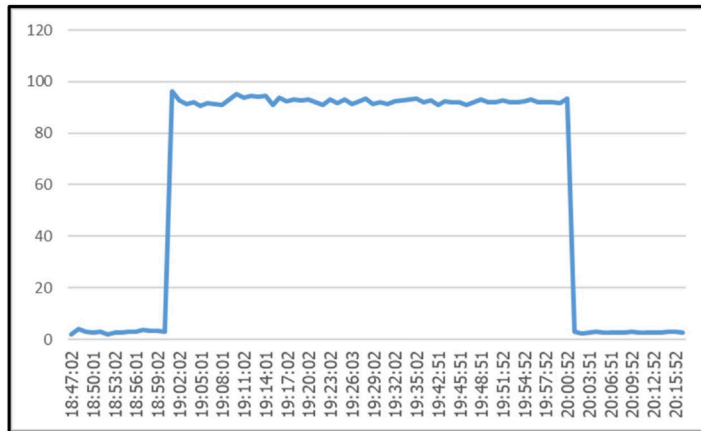


รูปที่ 16 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าแสง

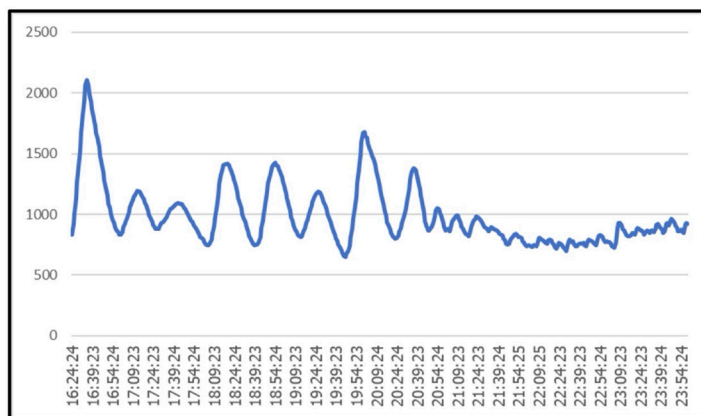


(Grow Light) จำนวน 50 ครั้ง โดยตั้งเซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสงไว้ตรงกลางตู้เพาะปลูกพืชและอยู่ห่างจากแผงไฟแอลอีดีสีม่วง 10, 20 และ 30 cm จะได้ค่า PPFd เฉลี่ยเท่ากับ 130.5, 74.6 และ 47.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองควบคุมการเปิด/ปิดไฟแอลอีดีแบบ Auto ตั้งแต่วันที่ 19:00:00 น. จนถึงเวลา 20:00:00 น. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 17 สำหรับการทดลองหาอัตราการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยการนำเซนเซอร์วัดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาวัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืช พบว่าเมื่อเปิด

วาล์วโซเลนอยด์ที่ถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 1 วินาทีแล้วทิ้งไว้ 1.5 ชั่วโมง จะได้ค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืชเพิ่มขึ้น 350 ppm นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองควบคุมปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืช โดยได้กำหนดค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ที่ 1,000 ppm ตั้งแต่วันที่ 16:24:24 น. จนถึงเวลา 23:54:24 น. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 18 จะได้ค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 990.5 ppm ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.95 % ENG-KPS Cloud เป็นระบบคลาวด์ไอโอทีที่ใช้ในการ



รูปที่ 17 การทดลองควบคุมการเปิด/ปิดไฟแอลอีดี



รูปที่ 18 การทดลองควบคุม  $\text{CO}_2$  ภายในตู้เพาะปลูกพืช

เก็บข้อมูล ผู้ใช้สามารถที่จะดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเวลาจริงได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งจะดึงค่าจากคลาวด์ เซิร์ฟเวอร์มาแสดงบนหน้าเว็บทั้งแบบ Real Time และแบบกราฟ รูปที่ 19 เป็นตัวอย่างการแสดงผลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืช ส่วนรูปที่ 20 เป็นตัวอย่างการแสดงผลค่าความเข้มของแสงและค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในตู้เพาะปลูกพืช เมื่อนำค่าอุณหภูมิและความชื้น มาคำนวณหาค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD<sub>air</sub>) ตามสมการที่ (1) แล้วนำมาแสดงเป็นกราฟจะได้ดัง รูปที่ 21 จะได้ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 1.28 kPa ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของพืช หรือการเปิดปากใบเพื่อการสังเคราะห์แสง ของพืชนั่นเอง

ผู้ใช้สามารถแบ่งปันข้อมูลสภาพแวดล้อมภายใน ภายในตู้เพาะปลูกพืชที่เก็บไว้ให้แก่ผู้ใช้งานหรือนักวิจัยท่านอื่นๆ ผ่านทางระบบ ENG-KPS Cloud โดย

ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการนำเสนอข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบ เช่น มิเตอร์วัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ (อุณหภูมิ, ความชื้น, แสงสว่าง และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) กราฟเส้น กราฟแท่ง ตาราง เป็นต้น โดยมีทั้งข้อมูลแบบ Real Time ข้อมูลแบบระยะเวลาย้อนหลัง และข้อมูลแบบสรุปรายวัน/รายเดือน/รายปี รวมทั้งสามารถสร้างรายงานสรุปในรูปแบบไฟล์ PDF จากข้อมูลต่างๆ ที่ถูกเก็บไว้ โดยวิธีการสร้างรายงานนี้จะคล้ายคลึงกับการสร้างเอกสารใน Google Docs

นอกจากนี้เพื่อเป็นการลดภาระในการถ่ายโอนข้อมูล และช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ENG-KPS Cloud ยังมีเครื่องมือเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Tools) จำนวนทั้งสิ้น 4 เทคนิค คือ (1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปัจจัยที่สนใจ เช่น การวิเคราะห์ความ



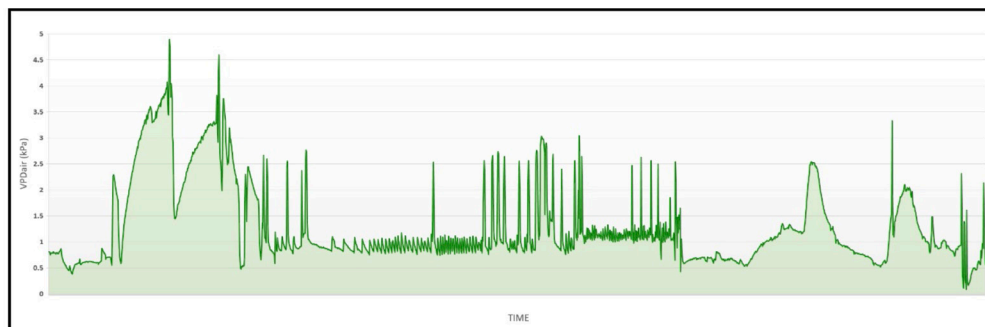
รูปที่ 19 หน้าเว็บแสดงผลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืช

สัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและความชื้นต่อการกระตุ้นการออกดอกของต้นพืช เป็นต้น (2) การจัดกลุ่ม (Classification) เพื่อนำปัจจัยต่าง ๆ มาใช้ในการสร้างกฎหรือโมเดลในการทำนายปัจจัยที่สนใจ เช่น โมเดลเพื่อทำนายความเครียดหรือไม่เครียดของต้นพืชจากสภาพแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ ที่แตกต่างกัน

ที่ผู้ใช้ทดลองในตู้เพาะปลูกพืช เป็นต้น (3) การแบ่งกลุ่ม (Clustering) เพื่อแบ่งกลุ่มปัจจัยต่างๆ ออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ทำให้ง่ายต่อการนำไปศึกษาวิจัยต่อไป เช่น การแบ่งสภาพแวดล้อมภายในตู้เพาะปลูกพืชออกเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาว่าสภาพแวดล้อมแต่ละกลุ่มส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช



รูปที่ 20 หน้าเว็บแสดงผลค่าความเข้มของแสงและค่าความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ภายในตู้เพาะปลูกพืช

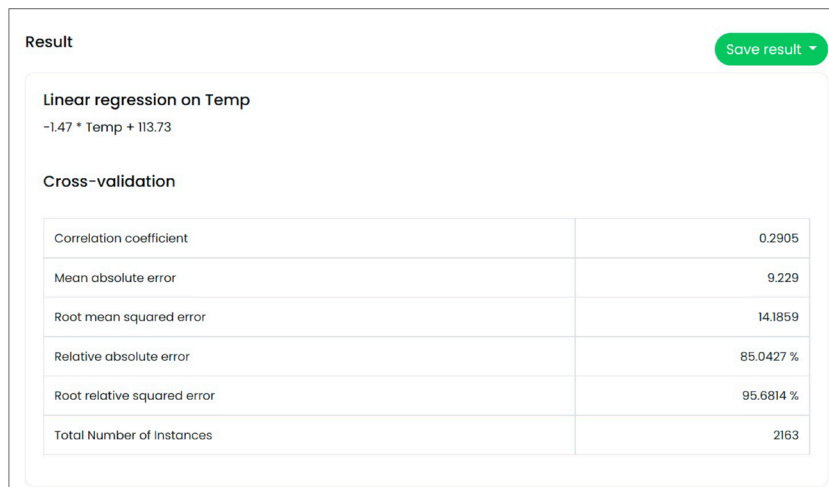


รูปที่ 21 กราฟแสดงผลค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ

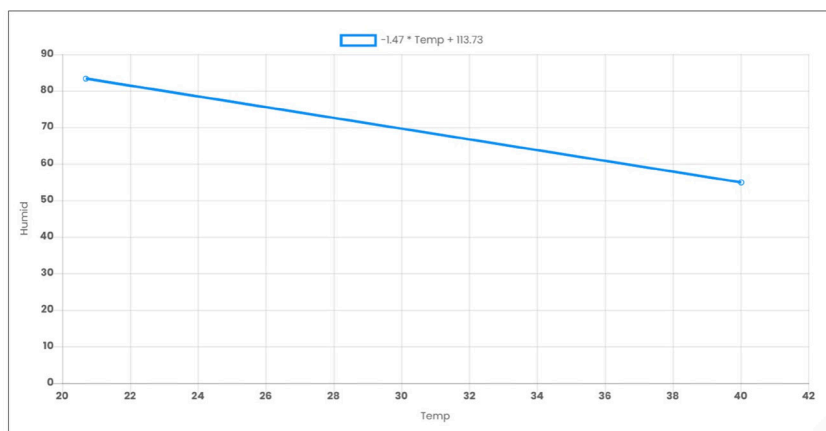
อย่างไร เป็นต้น (4) กฎความสัมพันธ์ (Association Rule) เพื่อหาปัจจัยที่เกิดร่วมกัน หรือปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดอีกปัจจัยหนึ่ง เช่น ความชื้นที่เพิ่มขึ้นภายในตู้เพาะปลูกพืชจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับอุณหภูมิที่ลดลง หรือเมื่อค่าของอุณหภูมิและความชื้นเหมาะสมที่ระยะเวลาหนึ่ง (ความถี่เพียงพอ) พืชก็จะเกิดโรค เป็นต้น ดังนั้นผู้ใช้จะสามารถวิเคราะห์ถึงเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดได้ง่ายและรวดเร็วโดยการทดลองปลูกพืชในตู้เพาะปลูกพืชที่พัฒนาขึ้นนี้

รูปที่ 22 และ 23 แสดงตัวอย่างการนำเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจใน ENG-KPS Cloud มาใช้ใน

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จากตู้เพาะปลูกพืช เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่าความชื้นภายในตู้เพาะปลูกพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการควบคุมให้อุณหภูมิภายในตู้เพาะปลูกพืชลดลง ดังสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นในรูปที่ 22 (a) และจะได้กราฟของสมการดังรูปที่ 22 (b) โดยประสิทธิภาพของโมเดลมีค่า Root Relative Squared Error เท่ากับ 95.68 % ซึ่งเป็นโมเดลที่ค่อนข้างถูกต้องแม่นยำ และเมื่อใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธี K-Means พบว่าสามารถจัดแบ่งสภาพแวดล้อมในตู้เพาะปลูกพืชออก



(a)



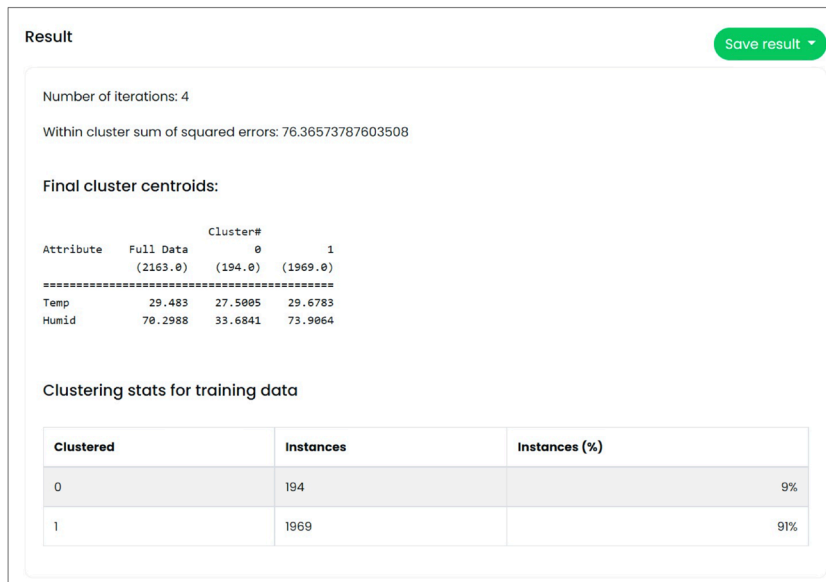
(b)

รูปที่ 22 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นใน ENG-KPS Cloud

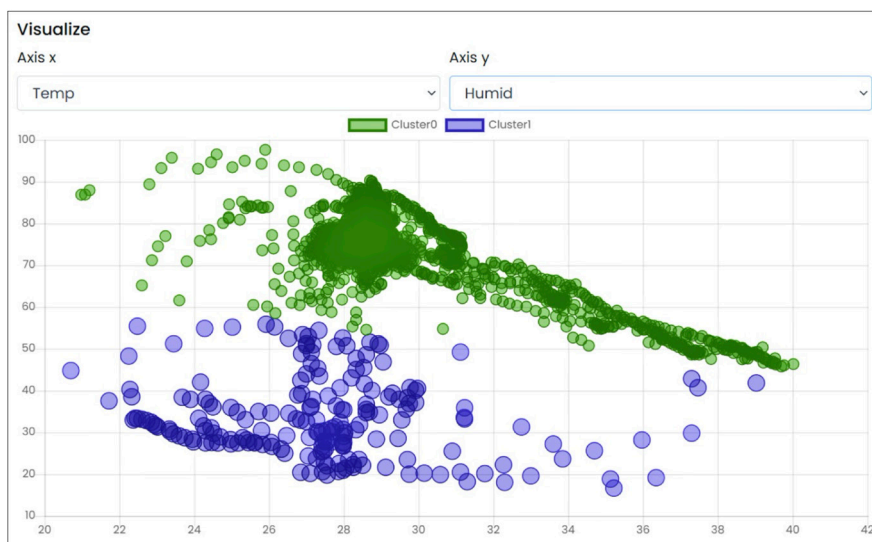
ได้เป็น 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 23 คือ กลุ่มที่ 1 (Cluster 0) มีค่าความชื้นต่ำมากกับค่าอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และกลุ่มที่ 2 (Cluster 1) มีค่าความชื้นค่อนข้างสูงกับค่าอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่

ได้จากการจำลองสภาพแวดล้อมภายในตู้เพาะปลูกพืชที่มีค่าความชื้นต่ำและมีค่าความชื้นสูงตามลำดับ

#### 4. วิจัยารณ์ผลและสรุป



(a)



(b)

รูปที่ 23 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธี K-Means ใน ENG-KPS Cloud

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตู้เพาะปลูกพืชโดยใช้ต้นทุนต่ำ และได้นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ นั่นคือ คลาวด์ไอโอที จากผลการทดสอบการทำงานของโมบาย แอปพลิเคชันและระบบควบคุมภายในตู้เพาะปลูกพืช พบว่าสามารถควบคุมค่าของอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ในแอปพลิเคชันได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการเปิด/ปิดไฟแอลอีดีสีขาว (แทนแสงอาทิตย์) และไฟแอลอีดีสีม่วง (สำหรับเร่งการเจริญเติบโตของพืช) ได้ทั้งแบบ Auto และแบบ Manual และสามารถควบคุมปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้เพาะปลูกพืชได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 % จากค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่กำหนดไว้ในแอปพลิเคชัน

ตู้เพาะปลูกพืชต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นนี้จะช่วยลดต้นทุนในการทำวิจัยและอำนวยความสะดวกให้แก่ นักวิจัยสามารถทำการทดลองปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมภายในตู้เพาะปลูกพืชได้ตามต้องการ หรือเฝ้าสังเกตการเจริญเติบโตของพืชได้ตลอดเวลาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามเวลาจริงที่เก็บไว้บนระบบคลาวด์ไอโอทีของมหาวิทยาลัย งานวิจัยในขั้นต้นแรกเป็นการพัฒนาและทดสอบการทำงานเบื้องต้นของตู้เพาะปลูกพืช สำหรับงานวิจัยในขั้นต่อไปจะทำการทดลองกับพืชจริง ได้แก่ กะเพรา มะเขือเทศ และพริก ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งจะมีการวางแผนการทดลองและการเก็บข้อมูล เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตและความต้องการของพืช พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการปลูกพืชภายในและภายนอกตู้เพาะปลูกพืช เพื่อประเมินสมรรถนะของตู้เพาะปลูกพืชต่อไป

ในการพัฒนาตู้เพาะปลูกพืชโดยใช้ต้นทุนต่ำในราคาไม่เกิน 300,000 บาท สามารถทำให้ลดต้นทุนในการทำวิจัยจากการนำเข้าตู้เพาะปลูกพืชจากต่างประเทศ ประมาณ 900,000 บาท เมื่อทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นระยะเวลา 5 ปี โดยใช้อัตราคิดลดร้อยละ 7 ต่อปี และค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ต่อปี จะได้มูลค่าปัจจุบันของการลงทุนทำวิจัย (PVC) เท่ากับ

423,006 บาท และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์จากงานวิจัย (PVB) เท่ากับ 1,230,059 บาท ดังนั้นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 807,053 บาท จึงสรุปได้ว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนทำวิจัย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กับศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนขอขอบคุณ ชยธร หลีกทอง, นพณัฐ ปญญาหิงสกุล, พิพัฒพงศ์ คงวาราคม และ ยุพารัตน์ สิทธิสมาน นิสิตระดับปริญญาตรีของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ช่วยในการทำวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. Thailand Board of Investment, 2018, "Smart Farming: The Future of Agriculture in Thailand," *Thailand Investment Review*, 28 (2), pp. 3-4.
2. Smart Farming, 2020, National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand, pp. 8-9. (In Thai)
3. Vickers, E.H. and Bennett, J.E., 1989, "Optimal Estimation and Control of an Environmental Plant Growth Chamber," *Proceedings of the 21<sup>st</sup> Southeastern Symposium on System Theory*, Tallahassee, Florida, USA, pp. 47-49.
4. Kim, J. and Kim, K., 2008, "Parametric Study for Bio-plasma Plant Growth," *Proceedings of the IEEE 35<sup>th</sup> International Conference on Plasma Science*, Karlsruhe, Germany, p. 1-1.
5. Xu, Y., Wang, H. and Nsengiyumva, W., 2018, "Analysis of the Uniformity of Light in a Plant Growth Chamber," *Proceedings of the*

*IEEE 4<sup>th</sup> International Conference on Universal Village*, Boston, MA, USA, pp. 1-7.

6. Tawegoum, R., Teixeira, R. and Chasseriaux, G., 2006, "Simulation of Humidity Control and Greenhouse Temperature Tracking in a Growth Chamber using a Passive Air Conditioning Unit," *Control Engineering Practice*, 14 (8), pp. 853-861.

7. Yingjajaval, S. and Paiboon, P., 2017, "Example of the Success of Farmers in Adjusting the Greenhouse Conditions According to the VPD Value," *AG-BIO Newsletter*, 9 (2), pp. 5-12. (In Thai)

8. Koverda, P., 2020, The Ultimate Vapor Pressure Deficit (VPD) Guide, Pulse Labs [Online], Available: <https://pulsegrow.com/blogs/learn/vpd>. [1 May 2021]

9. Lee, S. and Park, S., 2013, "Energy Savings of Home Growing Plants by using Daylight and LED," *Proceedings of the IEEE Sensors Applications Symposium*, Galveston, Texas, USA, pp. 202-204.

10. Jiang, J. and Moallem, M., 2020, "Development of an Intelligent LED Lighting Control Testbed for IoT-based Smart Greenhouses," *Proceedings of the 46<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Singapore, pp. 5226-5231.

11. Balazs, L. and Nadas, J., 2020, "Spatial Distribution of Photon Flux Density Created by LED Grow Lights," *Proceedings of the IEEE 3<sup>rd</sup> International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering*, Budapest, Hungary, pp. 147-150.

12. Rakocevic, M., Ferrandes, R., Marchiori, P.E.R. and Ribeiro, R.V., 2016, "Estimating the Canopy Architecture and Photosynthesis of *Coffea Arabica* L. Plants Cultivated under Long-term

Elevated Air CO<sub>2</sub> Concentration," *Proceedings of the IEEE International Conference on Functional-Structural Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications*, Qingdao, China, pp. 175-182.

13. Ponce-Guevara, K.L., Palacios-Echeverria, J.A., Maya-Olalla, E., Dominguez-Limaico, H.M., Suarez-Zambrano, L.E., Rosero-Montalvo, P.D., Peluffo-Ordonez, D.H. and Alvarado-Perez, J.C., 2017, "Green Farm-DM: A Tool for Analyzing Vegetable Crops Data from a Greenhouse using Data Mining Techniques (First Trial)," *Proceedings of the IEEE 2<sup>nd</sup> Ecuador Technical Chapters Meeting*, Salinas, Ecuador, pp. 1-6.

14. Vermesan, O. and Friess, P., 2013, *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*, River Publishers, Aalborg, Denmark, pp. 7-16.

15. Serikul, P., Nakpong, N. and Nakjuatong, N., 2018, "Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform: Case Study: Humidity Monitoring and Data Recording," *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, Bangkok, Thailand, pp. 1-6.

16. How Blynk Works, Blynk [Online], Available: <http://docs.blynk.cc>. [10 May 2021]

17. Lueth, K.L., 2019, IoT Platform Companies Landscape 2019/2020: 620 IoT Platforms Globally, IoT Analytics [Online], Available: <https://iot-analytics.com/iot-platform-companies-landscape-2020>. [10 May 2021]

18. Porambage, P., Okwuibe, J., Liyanage, M., Ylianttila, M. and Taleb, T., 2018, "Survey on Multi-access Edge Computing for Internet of Things Realization," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 20 (4), pp. 2961-2991.

19. Liu, D., Yan, Z., Ding, W. and Atiquzzaman,

M., 2019, "A Survey on Secure Data Analytics in Edge Computing," *IEEE Internet of Things Journal*, 6 (3), pp. 4946-4967.

20. Stoyanova, M., Nikoloudakis, Y., Panagiotakis, S., Pallis, E. and Markakis, E.K., 2020, "A Survey on the Internet of Things (IoT) Forensics: Challenges, Approaches, and Open Issues," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 22 (2), pp. 1191-1221.

21. Junior, F.M.R. and Kamienski, C.A., 2021, "A Survey on Trustworthiness for the Internet of Things," *IEEE Access*, 9, pp. 42493-42514.

22. Attasena, V., Harbi, N. and Darmont, J.,

2014, "fVSS: A New Secure and Cost-Efficient Scheme for Cloud Data Warehouses," *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Workshop on Data Warehousing and OLAP*, Shanghai, China, pp. 81-90.

23. Attasena, V., Darmont, J. and Harbi, N., 2017, "Secret Sharing for Cloud Data Security: a Survey," *International Journal on Very Large Data Bases*, 26 (5), pp. 657-681.

24. Handbook for Continuous Emission Monitoring System (CEMS), 2013, Department of Industrial Works, Bangkok, Thailand, pp. 2-12. (In Thai)