

การพัฒนาตู้อนุบาลกล้วยไข่กำแพงเพชร โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

The Development of Acclimatization Champers for *Musa spp.* 'Kluai Khai'

Using by The Internet of Thing Technology

ภูมินทร์ ตันอุดม^{1*}, ปัทธพงศ์ คุณเมือง¹, ธนากร วงษ์ศา², ธนสิทธิ์ นิตยะประภา³

Bhoomin Tanut^{1*}, Pattarapong Koonmueang¹, Thanakorn Wongs², Thanasit Nitayaprapha³

¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

¹Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²Department of Biology, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University

³สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

³Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University

* E-mail: bhoomin_t@kpru.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาตู้อนุบาลต้นกล้วยไข่กำแพงเพชรเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการปรับสภาพต้นกล้าจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อก่อนนำออกปลูก โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง จึงได้มีการพัฒนาตู้อนุบาลต้นกล้วยไข่เพื่อควบคุมและติดตามสภาวะของการปรับสภาพของสภาวะภายในตู้อนุบาลได้จากทุกสถานที่ อีกทั้งยังมีการทดสอบประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์และระบบหลังจากที่ได้พัฒนาตู้อนุบาลพืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแล้ว การทดสอบประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) การทดสอบการควบคุมและการตรวจสอบความชื้นภายในตู้อนุบาล และ 2) การทดสอบการควบคุมจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับการแสดงผลและการส่งคำสั่งควบคุมการทำงานจากระยะไกลจากการทดลองพบว่า ตู้อนุบาลพืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 60 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ และควบคุมอุปกรณ์ภายในกล่องผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพต้นกล้วยไข่ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อให้มีอัตราการรอดชีวิตและสามารถออกปลูกในสภาพแวดล้อมปกติได้

คำสำคัญ : อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ตู้อนุบาลพืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ การรอดชีวิตของพืช

Abstract

The development of acclimatization chambers improves the efficiency for hardening-off *in vitro* plantlet of *Musa* spp. 'Kluai Khai' before transplantation using the internet of thing technology. This study has developed acclimatization chambers to control and monitor inner of the environment of acclimatization chambers. Moreover, to test the performance of the software and other systems. After the acclimatization chambers were developed, the performance testing was divided into two parts: 1) Test the controlled and detected humidity inside the chambers. 2) To test the control of the chambers from the Internet (cloud) to responding to the data and sending commands from a remote location. This experiment found that the acclimatization chambers controlled the humidity of the chambers at 60 to 90 percent, using automatic system control, and remote device in the chamber via the Internet. Consequently, it is also effective in improving the conditions of *in vitro* plantlet of *Musa* spp. 'Kluai Khai' obtained from tissue culture to have a survival rate and can be planted in normal conditions.

Keywords: Internet of Thing, Acclimatization chambers, Plants survival

บทนำ

กล้วยไข่เป็นพืชที่ดูแลง่ายสามารถเติบโตได้ในทุกสภาพพื้นที่ทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยจังหวัดกำแพงเพชรเป็นจังหวัดที่มีดินและแร่ธาตุภายในดินที่เหมาะสมกับการปลูกกล้วยไข่ ทำให้กล้วยไข่กำแพงเพชร (สันติพงษ์ ศุภกิจเจริญ, ธเนศ ศรีวิชัยลาพันธ์ และกาญจนา โชคถาวร, 2557) มีสารอาหารที่สูงและรสชาติที่อร่อยมากกว่าการปลูกในภูมิภาคอื่น ๆ อีกทั้งยังมีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนไทยมาอย่างยาวนาน ดังนั้นทางด้านการเกษตรและกรมส่งเสริมการเกษตรหลายแห่ง จึงได้มีการคัดเลือกสายพันธุ์กล้วยที่มีคุณภาพดี เพื่อนำมาทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และให้การส่งเสริมแก่เกษตรกรที่มีความต้องการปลูกกล้วยพันธุ์ดี มีความต้านทานโรค รสชาติดี และต้นพืชที่ผลิตได้มีขนาดสม่ำเสมอ จึงให้ผลผลิตที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในปริมาณมากพร้อมกัน

ขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากคือขั้นตอนของการปรับสภาพต้นกล้วยไข่ให้แข็งแรง เนื่องจากต้นกล้าของกล้วยที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตร จังหวัดสุพรรณบุรี, 2557) ในขณะนั้น ยังไม่สามารถนำไปปลูกลงสู่พื้นดินได้ในทันที เพราะต้นกล้าที่ได้ยังไม่แข็งแรงพอที่จะนำไปลงปลูกได้ ดังนั้นจึงต้องมีการอนุบาลกล้วยจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อก่อน โดยการอนุบาลกล้วยจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นกล้วยที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จะมีรูปร่างทรงต้นปกติในสภาพธรรมชาติเพียงแต่มีขนาดเล็ก โดยเฉลี่ยควรจะมี ความสูงประมาณ 4 ถึง 8 ซม. มีใบไม่ต่ำกว่า 4 ใบ จำนวนรากไม่ต่ำกว่า 4 เส้น ความยาวรากอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 ซม. เมื่อนำออกจากขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จำเป็นต้องได้รับการปรับสภาพของต้นกล้วยไข่ให้มีการพัฒนาทางสรีรวิทยา และการปรับสภาพของสัณฐานการเจริญด้านต่าง ๆ ของราก ลำต้น และใบ เนื่องจากเมื่อนำต้นกล้วยไข่ออกสัมผัสกับอากาศที่มีสภาพแวดล้อม ทั้งแสง อุณหภูมิ และความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอตลอดเวลา พืชจะคายน้ำมากขึ้นทำให้เหี่ยวเฉาและตายได้ง่าย ดังนั้นการย้ายพืชเนื้อเยื่อจากสภาพปลอดเชื้อ เพื่อนำไปปลูกในสภาพธรรมชาติ ต้องระมัดระวังเรื่องอัตราการสูญเสีย น้ำของพืชเป็นพิเศษ ควรให้ความสมดุลระหว่างอัตราการสูญเสีย น้ำกับอัตราการดูดน้ำขึ้นมาใช้ให้มากที่สุด

จึงจะทำให้ต้นพืชรอดชีวิตอยู่ได้ จึงแบ่งช่วงเวลาการดูแลพันธุ์พืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เพิ่งนำออกมาปลูก ออกเป็น 3 ระยะ คือ การอนุบาลระยะที่ 1 เป็นระยะที่ต้นพืชต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด ด้วยการควบคุม บำรุงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิด นั้น ๆ เป็นช่วงเวลาการดูแลไม่ต่ำกว่า 30 วัน นับตั้งแต่วันที่เริ่มย้ายปลูก การอนุบาลระยะที่ 3 เป็นการดูแลต่อ จากระยะที่ 1 อีก 30 ถึง 45 วัน ระยะนี้พืชจะมีความแข็งแรงและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น เมื่อ ผ่านการอนุบาลระยะที่ 2 แล้ว รวมระยะเวลาทั้งสิ้น ประมาณ 60 ถึง 75 วัน ต้นพันธุ์พืชในบางชนิดนั้น จะ สามารถย้ายไปปลูกในสภาพปลูกเลี้ยงปกติได้ และการอนุบาลระยะที่ 3 เป็นการดูแลในสภาพโรงเรือนเปิด เพื่อ ปรับสภาพให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่จะนำไปปลูกในสภาพธรรมชาติ การอนุบาลพันธุ์พืชเพาะเลี้ยง เนื้อเยื่อตลอดระยะเวลา 60 ถึง 75 วัน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่ควบคู่ไปกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ หรือจัดเป็นส่วนหนึ่งในความสำเร็จของกระบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งมีพืชอยู่หลายชนิดด้วยกันที่สามารถ นำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ แต่ไม่สามารถหารูปแบบวิธีการอนุบาลพันธุ์พืชนั้น ๆ ให้มีชีวิตรอดจนนำไปปลูกใน สภาพธรรมชาติได้ ดังนั้นการศึกษาหาแนวทางการผลิตพันธุ์พืชโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในเชิงเศรษฐกิจ หรืออุตสาหกรรม ต้องควบคู่ไปกับการนำพืชออกไปปลูกในสภาพธรรมชาติด้วยเสมอ

จากปัญหาดังกล่าวในข้างต้น จึงมีแนวคิดในการพัฒนาและศึกษาวิธีการที่เหมาะสมต่อควบคุมการ ปรับสภาพก่อนออกปลูกด้วยการใช้ตู้อนุบาลต้นกล้า ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things : IOT) (Gubbi et al., 2013) เพื่อช่วยลดกระบวนการในการอนุบาลต้นกล้าที่จะต้องได้รับการดูแล อย่างใกล้ชิด ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ IOT ในงานต่าง ๆ ที่หลากหลาย เช่น ระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมรถยนต์ และระบบติดตามรถยนต์ ระบบเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น จึงมีการพัฒนาต้นแบบตู้อนุบาล ต้นกล้า (Chamber) โดยทำการศึกษาคู่มือต้นแบบที่สามารถควบคุมและตรวจสอบความชื้นได้จาก ระยะไกล และทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุม และระบบตรวจสอบความชื้นของตู้อนุบาลที่ พัฒนาขึ้นในการปรับสภาพต้นกล้ากล้วยไข่ให้แข็งแรงก่อนที่จะนำไปปลูกในสภาพแวดล้อมจริง อันจะ ส่งเสริมให้มีอัตราการรอดชีวิตได้มากขึ้นและประหยัดเวลา แรงงาน และลดพื้นที่ในการดูแลได้มากขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างต้นแบบที่สามารถควบคุมและตรวจสอบความชื้นได้จากระยะไกล
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุม และระบบตรวจสอบความชื้นของตู้อนุบาลที่พัฒนาขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยได้มีการพัฒนาตู้อนุบาลกล้วยไข่ก้ำแพงเพชร เพื่อใช้ในการอนุบาลกล้วยไข่ โดยงานวิจัยนี้จะเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้ทำการศึกษา มาใช้ในการพัฒนาตู้อนุบาลกล้วยไข่ก้ำแพงเพชร โดยได้แนวคิดมาจากการศึกษา ต้นแบบพัฒนาตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Katagiri & et al., 2015) ที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 22.2 องศาเซลเซียส บวกลบไม่เกิน 0.8 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงอยู่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ บวกลบไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ และมีราคาถูกกว่าท้องตลาด และการพัฒนาต้นแบบโรงเรือนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์ผ่านระบบเครือข่าย (พรรณวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกรธกล้า และปิจิราวุธ เวียงจินดา, 2558) ที่พัฒนาขึ้นเอง ซึ่งองค์ความรู้จาก งานวิจัยดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาตู้อนุบาลกล้วยไข่ก้ำแพงเพชร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การวิเคราะห์ระบบงานเก่าและระบบงานใหม่

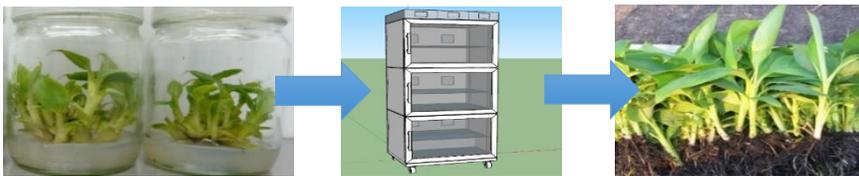
การเพาะเลี้ยงกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบงานเดิมนั้น เป็นกระบวนการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอน คือ 1) การคัดเลือกพันธุ์กล้วยเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งในการคัดเลือกพันธุ์ของกล้วยที่จะนำมาทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นมีส่วนที่สำคัญคือ ต้องเป็นพันธุ์ที่ดีและปลอดโรค ซึ่งจะส่งผลให้กล้วยที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นออกมาเป็นกล้วยพันธุ์ดีและปลอดโรค ตรงตามแบบที่ได้ทำการคัดเลือกไว้ 2) นำกล้วยที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาทำการอนุบาล ทั้งหมด 3 ระยะ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอนุบาลประมาณ 70 วัน โดยทั้ง 3 ระยะจะต้องอยู่ในสภาวะกึ่งเปิดกึ่งปิด เพื่อควบคุมความชื้นที่เหมาะสมให้กับกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 3) นำกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ผ่านการอนุบาลจนเสร็จสิ้นกระบวนการทั้ง 3 ระยะแล้ว ไปทำปลูกลงดินในสภาพแวดล้อมปกติต่อไป โดยกระบวนการของระบบเดิมแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเพาะเลี้ยงกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบงานเดิม

ที่มา : ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตร จังหวัดสุพรรณบุรี

สำหรับการเพาะเลี้ยงกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบงานใหม่นั้น จะมีกระบวนการทำงานที่สำคัญ 3 ขั้นตอน เช่นเดียวกับกับการเพาะเลี้ยงกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบงานเดิม แต่จะมีระบบงานที่เปลี่ยนไปในระบบงานใหม่นี้ ทำการเปลี่ยนระบบงานในขั้นตอนที่ 3 ที่จากเดิมจะเป็นการนำเอากล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไปอนุบาลตามปกติ เปลี่ยนเป็นการนำเอากล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาทำการอนุบาลในตู้อนุบาลที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา ซึ่งก็คือตู้อนุบาลกล้วยไข่กำแพงเพชร โดยกระบวนการของระบบเดิมแสดงดังภาพที่ 2

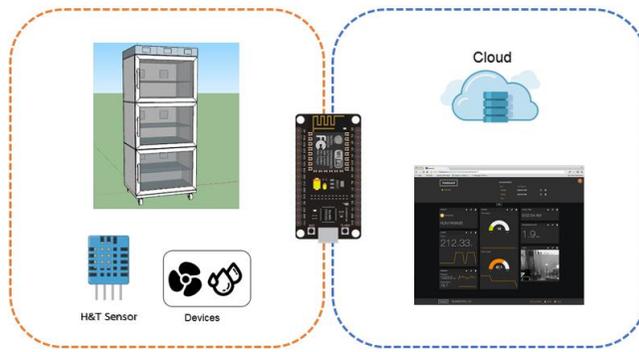


ภาพที่ 2 การเพาะเลี้ยงกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบงานใหม่

ที่มา : ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตร จังหวัดสุพรรณบุรี

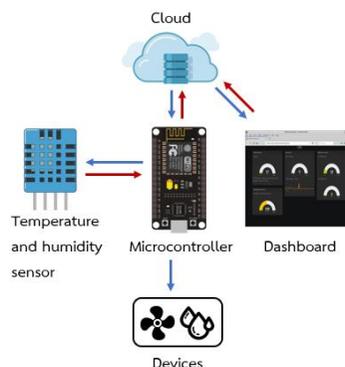
2. การออกแบบและพัฒนาระบบตู้อนุบาลกล้วยไข่

การออกแบบระบบตู้อนุบาลกล้วยไข่กำแพงเพชร มีส่วนที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ของตู้อนุบาล โดยฮาร์ดแวร์ คือโครงสร้างของตู้อนุบาลกล้วยไข่ และการออกแบบแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้อนุบาลกล้วยไข่ ส่วนซอฟต์แวร์ คือซอฟต์แวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และซอฟต์แวร์ที่อยู่ในส่วนของแดชบอร์ดที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผล แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพรวมของระบบ

การออกแบบระบบการทำงานของตู้อนุบาลกล้วยไข่ ประกอบด้วย 2 ส่วนที่มีการทำงานร่วมกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของระบบซึ่งประกอบด้วย (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) รุ่น NodeMCU (เฉาะภา ขจรฤทธิ, ปิยนุช ชัยพรแก้ว และหนึ่งฤทัย เอ็งฉ้วน, 2560), (2) คลาวด์ (Cloud) (ชลาริปี ทูมกานนท์ และคณะ, 2560), (3) แดชบอร์ด (Dashboard) จาก Freeboard ของ NETPIE (รัตนสุดา สุภตน์ยสร และคณะ, 2561), (4) เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Humidity Sensor : DHT11) (Setiyono, Sumardi & Harisuryo, 2015) และ (5) อุปกรณ์ต่าง ๆ (Devices) เช่น พัดลมและปั้มน้ำ เป็นต้น ในขั้นตอนแรกนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งการให้เซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นทำงาน เพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อนุบาล จากนั้นเซ็นเซอร์ทำการส่งค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ทำการตรวจวัดได้ในขณะนั้น กลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผล และทำการส่งค่าอุณหภูมิและความชื้นนั้นขึ้นไปจัดเก็บบนคลาวด์ และแดชบอร์ดที่มีการเชื่อมต่อกับคลาวด์อยู่ก่อนแล้วนั้น มีการดึงข้อมูลบนคลาวด์ไปแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ บนเว็บไซต์ โดยสามารถสั่งการจากหน้าเว็บไซต์ลงมาควบคุมอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านคลาวด์ได้ ซึ่งได้ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคลาวด์เพื่อรองรับคำสั่งการทำงาน เพื่อทำงานตามที่ผู้ใช้งานต้องการ แสดงดังภาพที่ 4



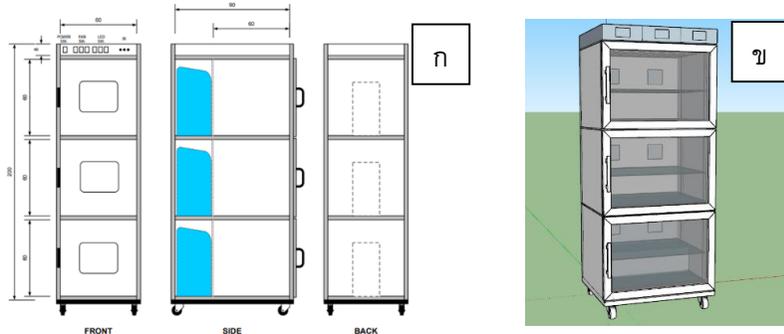
ภาพที่ 4 กระบวนการทำงานของระบบ

2.1 ฮาร์ดแวร์ของตู้อนุบาล

การออกแบบตู้อนุบาลที่เป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ของตู้อนุบาลจะมีส่วนที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ การออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติ การออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 3 มิติ และแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้อนุบาลกล้วยไข่ ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

1) การออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติ

สำหรับการออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติ เน้นให้สามารถมองเห็นมุมมองของตู้อนุบาลกล้วยไข่ได้ทั้งในแบบด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (ก) ตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติ และ (ข) แบบ 3 มิติ

ตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติดังภาพที่ 5 (ก) นั้น ได้แสดงถึงมุมมองด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง โดยมีสัดส่วนของขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง อ้างอิงตามลักษณะของกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งกำหนดไว้ที่ขนาด 60 x 60 x 60 เซนติเมตร สำหรับขนาดที่ยังไม่รวมโมดูลทำความชื้น ซึ่งหากรวมโมดูลทำความชื้นจะอยู่ที่ขนาด 60 x 90 x 60 เซนติเมตร สำหรับตู้อนุบาล 1 กล่องโดยได้ทำการออกแบบไว้ทั้งหมด 3 กล่อง อ้างอิงตามลักษณะการอนุบาลของกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ที่ต้องมีการเพาะเลี้ยงทั้งหมด 3 ระยะ ซึ่งเมื่อรวมแผงควบคุม และตู้อนุบาลทั้ง 3 กล่องแล้ว จะมีความสูงโดยรวมอยู่ที่ 200 เซนติเมตร

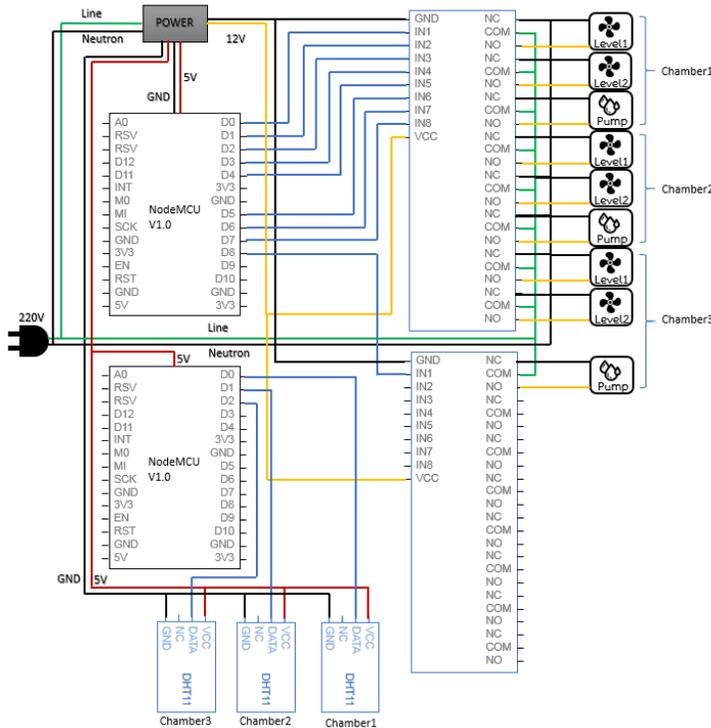
2) การออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 3 มิติ

การออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 3 มิติดังภาพที่ 5 (ข) มีใช้การอ้างอิงสัดส่วนของตู้อนุบาลจากการออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติ เพื่อให้เห็นภาพของตู้อนุบาลที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาได้อย่างชัดเจน โดยมีขนาดสัดส่วนของ ความกว้าง ความยาว และความสูง ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ใน การออกแบบตู้อนุบาลกล้วยไข่ในแบบ 2 มิติ

3) แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้อนุบาลกล้วยไข่

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้อนุบาลกล้วยไข่ มีอุปกรณ์ทั้งสิ้น 11 ตัว ประกอบด้วย (1) เป็นพาวเวอร์ซัพพลาย (12V,1A) จำนวน 1 ตัว (2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU) จำนวน 2 ตัว (3) รีเลย์ (4Channel) จำนวน 2 ตัว (4) เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) จำนวน 3 ตัว และ (5) โมดูลทำความชื้น (แผงรังผึ้งและปั้มน้ำ) จำนวน 3 ชุด โดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ของตู้อนุบาลทั้ง 3 กล่อง มี POWER คือ พาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้สำหรับจ่ายไฟ 5 โวลต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัว จ่ายไฟ 12 โวลต์ให้กับรีเลย์ 2 ตัว และจ่ายไฟ 5 โวลต์ให้กับเซนเซอร์ตรวจวัด

อุณหภูมิและความชื้น 3 ตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 ใช้สำหรับคอยรับค่าคำสั่งจากผู้ใช้ เพื่อควบคุมไมโครทำความชื้น โดยที่จะคอยส่งค่าสัญญาณให้กับรีเลย์ เพื่อให้รีเลย์สั่งเปิดหรือปิดไมโครทำความชื้นต่อไป และไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะคอยรับข้อมูลความชื้นจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น เพื่อส่งไปแสดงผลที่แดชบอร์ด แสดงแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้อนุบาลกล้วยไข่แสดงดังภาพที่ 6



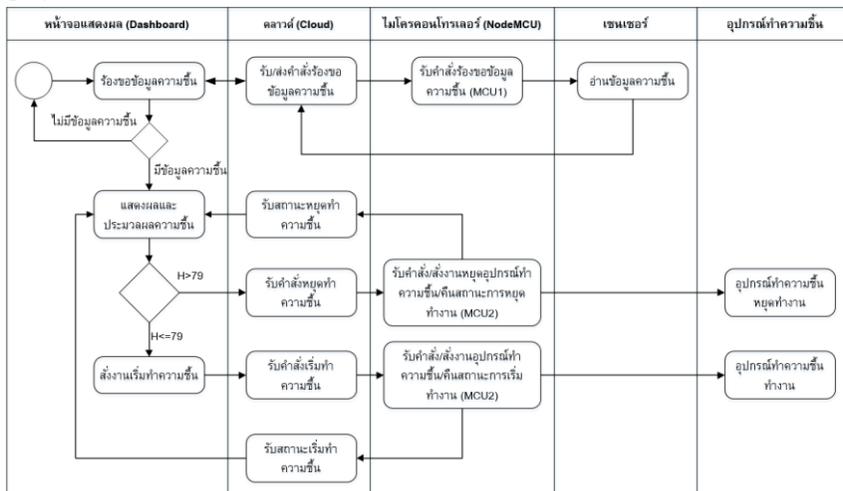
ภาพที่ 6 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้อนุบาลกล้วยไข่

2.2 ซอฟต์แวร์ของตู้อนุบาล

การออกแบบซอฟต์แวร์ของตู้อนุบาลกล้วยไข่จะมีส่วนที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือซอฟต์แวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบหน้าแดชบอร์ดสำหรับแสดงผลและควบคุมการทำงาน

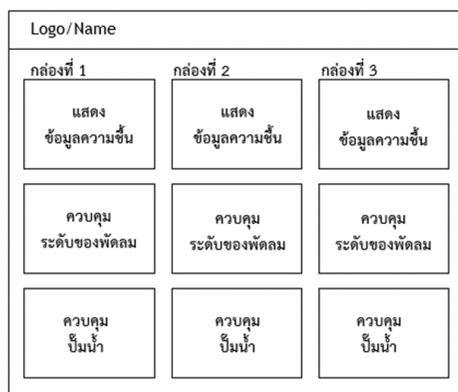
1) ซอฟต์แวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ การเขียนซอฟต์แวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยก่อนที่จะเริ่มทำการเขียนโปรแกรมจะต้องทำการเขียนแผนผังกิจกรรม (Activity Diagram) เพื่อลำดับขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ให้เป็นขั้นเป็นตอน โดยที่ผังงานนี้จะเป็นกระบวนการทำงานของโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 ตัว ที่ทำงานประสานกันผ่านคลาวด์ ซึ่งเมื่อเริ่มการทำงานของตู้อนุบาลไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 (MCU1) จะทำการรับค่าความชื้นเซนเซอร์ และส่งค่าความชื้นให้กับคลาวด์เพื่อไปแสดงผลบนแดชบอร์ด จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 (MCU2) จะทำการรับค่าความชื้นจากคลาวด์มาประมวลผลตามเงื่อนไขที่ว่า $H < 79$ (ค่าดังกล่าวได้จากการทดลองในการทดลองที่ 1.1 เพื่อใช้ความชื้นภายในตู้ อยู่ที่ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ตามที่ต้นกล้าต้องการ (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางเกษตร จังหวัดสุพรรณบุรี, 2557)) โดยที่ H คือตัวแปรที่เก็บค่าความชื้นที่รับมาจากคลาวด์ ค่าแปลของเงื่อนไขคือ

ค่าความชื้นมากกว่า 79 เปอร์เซ็นต์หรือไม่ ถ้าใช่ ให้โปรแกรมสั่งให้โมดูลทำความชื้นหยุดทำงาน และถ้าไม่ใช่ ให้โปรแกรมสั่งให้โมดูลทำความชื้นทำงาน โดยที่โปรแกรมนี้จะวนรอบการทำงานไปจนกว่าผู้ใช้จะหยุดการทำงานของตู้อนุบาล แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กระบวนการทำงานของโปรแกรม

2) การออกแบบหน้าแดชบอร์ด ในการออกแบบหน้าแดชบอร์ดสำหรับควบคุมและแสดงผล จะทำการออกแบบตามลักษณะของตู้อนุบาลโดยจะทำการแบ่งออกเป็น 3 คอลัมน์ เพื่อแยกส่วนควบคุมและแสดงผลของแต่ละห้องออกจากกันอย่างชัดเจน โดยมีการจัดวาง คือ แรกสุดของคอลัมน์จะแสดงค่าความชื้น ถัดมาจะเป็นส่วนควบคุมความแรงของพัดลม และสุดท้ายจะเป็นส่วนควบคุมปั้มน้ำแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 หน้าแดชบอร์ด

3. การทดลองปรับสภาพก่อนออกปลูกของต้นกล้วยไข่ไพเราะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยตู้อนุบาลต้นพีช ต้นกล้วยไข่ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออายุ 12 สัปดาห์ นำมาล้างทำความสะอาดอาหาร เพาะเลี้ยงออก นำไปย้ายปลูกในวัสดุปลูกที่เป็นแกลบดำ โดยแบ่งต้นกล้วยไข่ออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง

ซึ่งนำไปเลี้ยงในตู้อบอุณหภูมิแห้ง วางเลี้ยงทั้ง 3 กล่อง กล่องละ 40 ต้น และอีก 40 ต้น ทำการวางเลี้ยงไว้ภายนอกตู้อบอุณหภูมิแห้งในสภาพที่มีแสงแดดรำไร รดน้ำเป็นเวลา 2 ครั้ง (เช้าและเย็น) หรือเมื่อสังเกตพบว่าวัสดุปลูกแห้ง วางเลี้ยงภายในตู้อบอุณหภูมิแห้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นย้ายต้นกล้ากล้วยไข่ออกจากตู้อบอุณหภูมิแห้งมาปลูกลงในกระถางที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว ใช้ดินหมักสำหรับปลูกต้นไม้เป็นวัสดุปลูก และวางเลี้ยงต้นกล้ากล้วยไข่ภายในโรงเรือนเพาะชำที่มีการพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสง รดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้าและเย็น) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำการบันทึกอัตราการรอดชีวิตของต้นกล้ากล้วยไข่ที่ออกปลูก

ผลการวิจัย

ผลการทดลองของตู้อบอุณหภูมิแห้งไข่กำแพงเพชร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมและระบบตรวจสอบความชื้นของตู้อบอุณหภูมิแห้ง โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือการทดลองเพื่อทดสอบอุปกรณ์ควบคุม การทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ การทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล และการทดลองตู้อบอุณหภูมิแห้งกับกล้วยไข่เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยเมื่อดำเนินการจนเสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว ได้ตู้อบอุณหภูมิแห้งที่สามารถควบคุมและตรวจสอบความชื้นได้จากระยะไกล สามารถทำงานด้วยความถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้พืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีอัตราการรอดชีวิตมากยิ่งขึ้น

1. การทดลองเพื่อทดสอบอุปกรณ์ควบคุม

การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมและระบบตรวจสอบความชื้นของตู้อบอุณหภูมิแห้งซึ่งต้องใช้เครื่องมือในการทดลองคือ 1) ตู้อบอุณหภูมิแห้งไข่กำแพงเพชร และ 2) แดชบอร์ด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ตู้อบอุณหภูมิแห้งไข่กำแพงเพชร คือ ตู้ที่ได้จากการออกแบบไว้เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ซึ่งจะแสดงให้เห็นเป็น 2 ส่วน คือ ภาพรวมของตู้อบอุณหภูมิแห้ง และภาพภายในตู้อบอุณหภูมิแห้ง ในการทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยภาพ (ก) จะเป็นภาพรวมของตู้อบอุณหภูมิแห้ง ซึ่งประกอบไปด้วยตู้อบอุณหภูมิแห้ง 1, 2 และ 3 ตามลำดับโดยนับจากบนลงล่าง ภาพ (ข) เป็นภาพภายในของตู้อบอุณหภูมิแห้งที่ 1 โดยจะมีแผงควบคุมไฟอยู่ที่บนสุดของตู้อบอุณหภูมิแห้ง ซึ่งภายในกล่องของตู้อบอุณหภูมิแห้งจะประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ แผงไฟ LED ที่สามารถปรับสีได้โดยผู้วิจัยเลือกใช้สีขาว (Gupta & Jatothu, 2013) โมดูลควบคุมความชื้น และชั้นสำหรับวางถาดแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ตู้อบอุณหภูมิแห้งไข่กำแพงเพชร แสดงลักษณะโครงสร้างภายนอก (ก) และภายในตู้ (ข)

2) แดชบอร์ด เป็นเครื่องมือที่จะใช้สำหรับการทดลองเพื่อทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล ซึ่งได้จัดทำตามรูปแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว โดยทำการจัดวางให้มี 3 คอนลัมน์ อ้างอิง

ตามจำนวนกล่องของตู้อนุบาล เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยที่คอลัมน์ของตู้อนุบาลกล่องที่ 1 อยู่ทางซ้ายสุด กล่องที่ 2 อยู่ตรงกลาง และขวาสุดคือตู้อนุบาลกล่องที่ 3 แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แดชบอร์ด

จากภาพที่ 10 เป็นภาพของแดชบอร์ดที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล โดยจะแบ่งเป็น 3 คอลัมน์ โดยที่ซ้ายสุดจะเป็นคอลัมน์ของกล่องที่ 1 ตรงกลางเป็นคอลัมน์ของกล่องที่ 2 และขวาสุดเป็นคอลัมน์ของกล่องที่ 3 ซึ่งแต่ละคอลัมน์จะประกอบไปด้วยส่วนที่แสดงความชื้น ส่วนควบคุมพัดลมระดับที่ 1 ส่วนควบคุมพัดลมระดับที่ 2 และส่วนควบคุมบิ๊มน้ำ

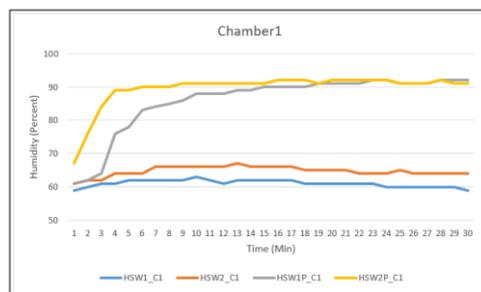
การทดสอบอุปกรณ์ควบคุมภายในกล่องที่ 1, 2 และ 3 เพื่อหาช่วงของความชื้นจากอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมของตู้ที่จะสามารถควบคุมความชื้นได้ ที่จะใช้ในการตั้งค่าเงื่อนไขของตู้อนุบาลแต่ละกล่องออกมาในรูปแบบของแผนผังกิจกรรม (Activity Diagram) แล้วใช้เงื่อนไขที่ได้จากการทดลองการทำงานในโหมดอัตโนมัติ โดยมีวิธีการทดลองทั้ง 3 กล่อง ดังนี้

- 1) ทำการทดสอบกับกล่องแต่ละกล่องโดยให้ความชื้นเริ่มต้นไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์
- 2) จากนั้นทำการเปิดอุปกรณ์ภายในกล่อง ได้แก่ พัดลมระดับที่ 1 พัดลมระดับที่ 2 และบิ๊มน้ำ

ของแต่ละกล่องตามลำดับ

- 3) บันทึกผลค่าความชื้นของการทดลองของแต่ละกล่องออกเป็น 3 การทดลองย่อย ดังนี้

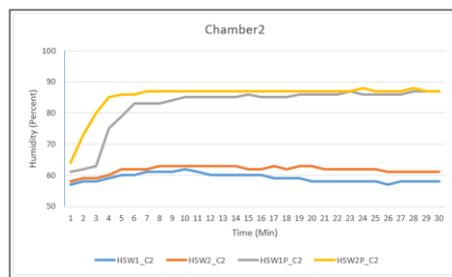
- การทดลองที่ 1.1 การทดสอบอุปกรณ์ทำความชื้นของกล่องที่ 1 ดำเนินการตามขั้นตอนของการทดลองควบคุมความชื้นของอุปกรณ์ภายในสภาพแวดล้อมของตู้ในกล่องที่ 1 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟของการทดลองที่ 1

จากภาพที่ 11 จะเป็นผลการทดลองของกล่องที่ 1 ที่ได้จากการทดลองโดยจะนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า จากกราฟเส้นสีน้ำเงิน คือ เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 1 ค่าความชื้นจะไม่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 61 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟเส้นสีส้ม เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 2 ค่าความชื้นจะไม่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 65 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟเส้นสีเทา เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 1 ร่วมกับการเปิดปั้มน้ำ ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 5 และค่าความชื้นจะคงที่ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 15 โดยทั้ง 30 นาทีจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 91 เปอร์เซ็นต์ และจากกราฟเส้นสีเหลือง เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 2 ร่วมกับการเปิดปั้มน้ำ ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 3 และค่าความชื้นจะคงที่ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 5 โดยทั้ง 30 นาทีจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 92 เปอร์เซ็นต์

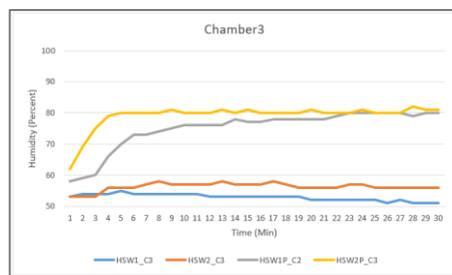
- การทดลองที่ 1.2 การทดสอบอุปกรณ์ทำความชื้นของกล่องที่ 2 ดำเนินการตามขั้นตอนของการทดลองควบคุมความชื้นของอุปกรณ์ภายในสภาพแวดล้อมของตู้ในกล่องที่ 2 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟของการทดลองที่ 2

จากภาพที่ 12 จะเป็นผลการทดลองของกล่องที่ 2 ที่ได้จากการทดลองโดยจะนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า จากกราฟเส้นสีน้ำเงิน คือ เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 1 ค่าความชื้นจะไม่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 58 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟเส้นสีส้ม เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 2 ค่าความชื้นจะไม่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 63 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟเส้นสีเทา เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 1 ร่วมกับการเปิดปั้มน้ำ ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 5 และค่าความชื้นจะคงที่ 87 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 10 โดยทั้ง 30 นาทีจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจากกราฟเส้นสีเหลือง เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 2 ร่วมกับการเปิดปั้มน้ำ ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาที่ที่ 3 และค่าความชื้นจะคงที่ 87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อถึงนาที่ที่ 6 โดยทั้ง 30 นาทีจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 87 เปอร์เซ็นต์

- การทดลองที่ 1.3 การทดสอบอุปกรณ์ทำความชื้นของกล่องที่ 3 ดำเนินการตามขั้นตอนของการทดลองควบคุมความชื้นของอุปกรณ์ภายในสภาพแวดล้อมของตู้ในกล่องที่ 3 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 13



ภาพที่ 13 กราฟของการทดลองที่ 3

จากภาพที่ 13 จะเป็นผลการทดลองของกล่องที่ 3 ที่ได้จากการทดลองโดยจะนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า จากกราฟเส้นสีน้ำเงิน คือ เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 1 ค่าความชื้นจะไม่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 52 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟเส้นสีส้ม เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 2 ค่าความชื้นจะไม่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 56 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟเส้นสีเทา เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 1 ร่วมกับการเปิดปั้มน้ำ ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาฬิกาที่ 22 และค่าความชื้นจะคงที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาฬิกาที่ 22 โดยทั้ง 30 นาทีจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 78 เปอร์เซ็นต์ และจากกราฟเส้นสีเหลือง เมื่อเปิดพัดลมระดับที่ 2 ร่วมกับการเปิดปั้มน้ำ ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาฬิกาที่ 5 และค่าความชื้นจะคงที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงนาฬิกาที่ 5 โดยทั้ง 30 นาทีจะมีความชื้นเฉลี่ยที่ 81 เปอร์เซ็นต์

2. การทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ

การทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ จะทำการทดสอบการควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งได้เงื่อนไขการทำงานของระบบมาจากการทดลองที่ 1 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยจะทำการแบ่งการทดสอบการควบคุมอัตโนมัติออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ที่ความชื้นน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สั่งให้ปั้มน้ำทำงาน และ 2) ที่ความชื้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ตัดการทำงานของปั้มน้ำแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการควบคุมอัตโนมัติที่ความชื้นน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มครั้ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าเฉลี่ย
กล่องที่ 1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
กล่องที่ 2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
กล่องที่ 3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการควบคุมอัตโนมัติที่ความชื้นน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของกล่องที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งจะเป็นผลการทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยเมื่อภายในตู้มีความชื้นน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้โมดูลทำความชื้นทำงาน ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 10 ครั้ง โดยความชื้นเริ่มต้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์จากตารางที่ 1 พบว่าผลการทดสอบทั้งสิ้น 10 ครั้งของตู้อนุบาลกล่องที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า การทดสอบการควบคุมอัตโนมัติที่ความชื้นน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมสามารถทำงานได้ตรงตามเงื่อนไข 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความถูกต้องและความแม่นยำอย่างมาก

3. การทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล

การทำการทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล จะใช้แดชบอร์ดที่ได้ทำการออกแบบไว้มาทำการทดสอบ เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล ซึ่งจะมีรายการที่จะทำการทดสอบ คือ การแสดงผลค่าความชื้น การเปิดพัดลมระดับที่ 1 การเปิดพัดลมระดับที่ 1 การเปิดพัดลมระดับที่ 2 การเปิดพัดลมระดับที่ 2 การเปิดปั้มน้ำ และการปิดปั้มน้ำ โดยจะมีผลการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2

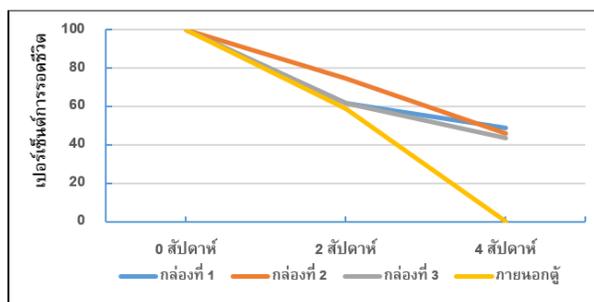
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล

การทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าเฉลี่ย
แสดงค่าความชื้น	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
เปิดพัดลมระดับที่ 1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
ปิดพัดลมระดับที่ 1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
เปิดพัดลมระดับที่ 2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
ปิดพัดลมระดับที่ 2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
เปิดปั้มน้ำ	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%
เปิดปั้มน้ำ	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100%

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล โดยที่จะทำการทดสอบทั้งสิ้น 10 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะมีรายการที่จะทำการทดสอบ คือ 1) การแสดงผลค่าความชื้น พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ 2) การสั่งเปิดพัดลมระดับที่ 1 พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ 3) การสั่งปิดพัดลมระดับที่ 1 พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ 4) การสั่งเปิดพัดลมระดับที่ 2 พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ 5) การสั่งปิดพัดลมระดับที่ 2 พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ 6) การสั่งเปิดปั้มน้ำ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์ และ 7) การสั่งปิดปั้มน้ำ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 100 เปอร์เซ็นต์

4. การทดลองปรับสภาพก่อนออกปลูกของต้นกล้วยไข่เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยตู้อบอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่าต้นกล้วยไข่ที่ได้รับการปรับสภาพหลังการออกปลูกในตู้อบอุณหภูมิ นั้นมีการเจริญเติบโตได้ดี แม้ว่าจะมีการตายเกิดขึ้นเนื่องจากต้นกล้วยบางต้นไม่สามารถปรับตัวได้ ทำให้อัตราการรอดชีวิตลดลงต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในทุกกลุ่มทดลอง และเมื่อเลี้ยงผ่านไปเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าต้นกล้วยไข่ที่เลี้ยงภายนอกตู้อบอุณหภูมิเหี่ยวตายลงทั้งหมด และต้นกล้วยไข่ที่เลี้ยงในกล่องทั้ง 3 กล่อง ของตู้อบอุณหภูมิพบว่ามีอัตราการรอดชีวิตมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 อัตราการรอดชีวิตของต้นกล้วยไข่ในตู้อบเนื้อเยื่อเมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

ต้นกล้วยไข่ที่ได้รับการปรับสภาพก่อนการออกปลูกภายในตู้อบอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำต้นกล้วยไข่ได้ผ่านการปรับสภาพแล้ว มาย้ายปลูกลงในกระถางที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว เมื่อเลี้ยงต้นกล้วยไข่ต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าต้นกล้วยไข่มีการเจริญเติบโตขึ้น และมีอัตราการรอดชีวิตสูงมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในทุกกลุ่มทดลอง แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ตัวอย่างต้นกล้ากล้วยไข่ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีการปรับสภาพหลังการออกปลูกที่เลี้ยงปรับสภาพในตู้อนุบาลพืชโดยเลี้ยงไว้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ก) และต้นกล้ากล้วยไข่ที่วางเลี้ยงภายในโรงเรือนเพาะชำที่มีการพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงอีกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ข)

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอนะ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตู้อนุบาลกล้วยไข่กำแพงเพชร โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ข้อ คือ 1) เพื่อสร้างตู้ต้นแบบที่สามารถควบคุมและตรวจสอบความชื้นได้จากระยะไกล และ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุม ซึ่งทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าจนสามารถพัฒนาตู้ต้นแบบตู้อนุบาล แดชบอร์ดที่ใช้สำหรับควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล และชุดโปรแกรมการทำงานของตู้อนุบาลขึ้นมาได้ ซึ่งได้มีการออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมและระบบตรวจสอบความชื้นของตู้อนุบาล โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ 1) การทดลองเพื่อทดสอบอุปกรณ์ควบคุม 2) การทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ 3) การทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล และ 4) การทดสอบการปรับสภาพต้นกล้าเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งผลของการทดลองที่ 1 เพื่อทดสอบอุปกรณ์ควบคุม คือ ตู้อนุบาลทั้ง 3 กล่องสามารถควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 60-90 เปอร์เซ็นต์ได้ สามารถสรุปผลของการทดลองได้ การทดลองที่ 2 การทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ มีค่าเฉลี่ยของตู้อนุบาลทั้ง 3 กล่อง คือ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถทำงานตามที่เขียนโปรแกรมกำหนดเงื่อนไขได้เป็นอย่างดี แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องของระบบควบคุมความชื้นที่ไม่สามารถปรับลดความชื้นได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ของตู้อนุบาล การทดลองที่ 3 การทดสอบระบบควบคุมและแสดงผลจากระยะไกล โดยมีค่าเฉลี่ยของการทดสอบอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าแดชบอร์ดที่ใช้ในการสั่งการและแสดงผลค่าความชื้นมีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับดีมาก และสุดท้ายการทดลองที่ 4 การทดสอบการปรับสภาพต้นกล้าเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพบว่า เมื่อต้นกล้าอยู่ภายในตู้อนุบาลมีอัตราการรอดชีวิตมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ผลดีกว่าการปรับสภาพภายนอกตู้อนุบาล แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของซอฟต์แวร์ที่ไม่สามารถจัดการพีเอเจอร์ได้ตามต้องการ เนื่องจากไม่ใช่ซอฟต์แวร์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาเอง จากข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น ในการวิจัยนี้จึงควรได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคตเพื่อให้ระบบควบคุมความชื้นและแดชบอร์ดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาให้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและแสงสว่างได้ และสามารถปรับลดอุณหภูมิและแสงสว่างได้
2. ควรพัฒนาให้มีระบบการสเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นในดินให้กับพืช
3. ควรพัฒนาให้ตู้อนุบาลใช้ในการอนุบาลกับพืชชนิดอื่น ๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่สนับสนุนด้านทุนวิจัย โดยมอบทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

- เฉษฐา ขจรฤทธิ์, ปิยนุช ชัยพรแก้ว และหนึ่งฤทัย เอ็งจันวน. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในการควบคุมระบบส่องสว่างสำหรับบ้านอัจฉริยะ. *วารสารวิชาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร*, 7(1), 1-11.
- ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตร จังหวัดสุพรรณบุรี. (2557). *องค์ความรู้ที่ 1 เรื่อง กล้วยจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ*. สืบค้นจาก <http://www.aopdt01.doae.go.th/KM/กล้วยจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.pdf>
- ชลธิศ ทุมกานนท์, สุธรรม อัครศักดิ์สกุล, นิกร โภคอุดม และกัญจน์นิชา โภคอุดม. (2560). การประมวลผลบนคลาวด์ : โครงสร้างพื้นฐานสำหรับ Internet of Things. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*, 11(1), 31-37.
- พรรณวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกรธกล้า และปิจิราวุธ เวียงจันดา. (2558). โรงเรือนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติครั้งที่ 8* (หน้า 52-59). กรุงเทพฯ: ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา.
- รัตนสุดา สุกตัญญูสร, ชีรณวัลย์ ปานกลาง, วีรพล วงศ์บุตตี และกษิณีเดช สันโตษ. (2561). ระบบควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วย NETPIE. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH*, 13(1), 19-28.
- สันติพงษ์ ศุกกิจเจริญ, ธเนศ ศรีวิชัยลาพันธ์ และกาญจนา โชคถาวร. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการปลูกกล้วยไข่ของเกษตรกรในจังหวัดกำแพงเพชร. *สัปดาห์ : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (สทมส.)*, 20 (3), 115-123.
- Gupta, S.D. & Jatothu, B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, 7 (3), 211-220.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013). Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29 (7), 1645-1660.
- Katagiri, F., Canelon-Suarez, D.o, Griffin, K., Petersen, J., Meyer, R.K., Siegle, M. & Mase,K. (2015). *Design and construction of an inexpensive homemade plant growth chamber*. PloS one, 10(5).
- Setiyono, B., Sumardi. & Harisuryo, R. (2015). Measurement system of temperature, humidity and air pressure over 433 MHz radio frequency: An application on quadrotor. *2015 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)* (pp. 438-441). Semarang: Diponegoro University.

วันที่รับบทความ 13 ธ.ค. 62, วันที่แก้ไขบทความ 11 มี.ค. 63, วันที่ตอบรับบทความ 3 เม.ย. 63