การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับปรับสภาพแวดล้อมเพาะปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ด้วยพีแอลซี

Development of Automatic Control System for Adapting the Hydroponic Growing Environment by using PLC

วนายุทธ์ แสนเงิน, พิชชากร ไชยะเดชะ, สมมาต แสงงาม และ สุรพงษ์ ธุรี

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, wanayuth.sa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ สำหรับการเพาะปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ด้วยพีแอลซี โดยการควบคุมการปรับค่า pH และ EC ของน้ำ, ควบคุมการจ่ายสารละลายแร่ธาตุอาหาร, การปรับลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และการควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลา พร้อมแสดงผลข้อมูล สถานะของการทำงานของระบบควบคุม ผ่านจอแสดงผล HMI การทดลองระยะเวลา 15 วัน ปลูกพืชชนิดเดียวกัน จำนวน 36 ต้น กำหนดค่า pH อยู่ในช่วง 6.3-6.7 และค่า EC อยู่ในช่วง 1.150 – 1.250 mS/cm การเติมสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยค่าเฉลี่ยค่า pH เท่ากับ 6.5 และค่า EC มีค่าต่ำสุด 1.178 mS/cm ค่าสูงสุด 1.228 mS/cm กำหนดค่าอุณหภูมิภายใน 27 °C ผลลัพธ์จากการทดลองมีค่าเฉลี่ยค่า 27.96 °C มีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 65.8 - 79.7 %RH ดังนั้นตลอดช่วงเวลาการเพาะปลูกด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ถูกต้องและมีความแม่นยำสูง

คำสำคัญ: ระบบควบคุมอัตโนมัติ, ไฮโดรโปนิกส์, พีแอลซี

Abstract

This paper is propose the development of automatic control system for growing NFT hydroponics plant by using PLC control. To control the quality of water with pH and EC of water are presented. The simple technique is introducing for feeding fertilizer, reducing the temperature and humidity, and operating on-off lighting with period of time stamp, and also data monitoring by HMI. In the experiments with continue 15 days, 36 plants are presented to set threshold of pH value in range is 6.3-6.7 and EC value in range is 1.150 – 1.250 mS/cm. For feeding fertilizer result, average of pH value is 6.5 and EC value is 1.178 mS/cm as minimum value, 1.228 mS/cm as maximum value of electric conductivity. Temperature threshold is set at 27 °C as the experiments average is 27.96 °C with humidity between 65.8 - 79.7 %RH.

Keywords: Automatic Control System, Hydroponic Plant, PLC

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเพาะปลูกพืชผักทั้งในส่วนที่ปลูกไว้เพื่อรับประทานในครัวเรือน และเพาะปลูกเพื่อสร้างรายได้นั้นกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น อย่างไรก็ตามในการเพาะปลูกพืชผัก โดยอาศัยการปลูกตามธรรมชาตินั้นยังมีปัจจัยที่อาจทำให้ผลผลิตไม่เป็นไปตามต้องการ เช่น อุณหภูมิและความชื้น รวมถึงอุณหภูมิของน้ำ ที่ไม่เหมาะสม เกินต่อความจำเป็นของพืช ส่งผลทำให้พืชตายได้ หรือในช่วงที่มีแสงแดดจัดเกินไปก็ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน ทั้งยังมีปัจจัยในเรื่องของศัตรูพืชอีกด้วย ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการเพาะปลูกพืชในสภาพที่มีการควบคุมปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืช เช่น การเพาะปลูกภายในอาคาร หรือในโรงเรือนแบบปิด เป็นต้น การเพาะปลูกภายในโรงเรือนแบบปิดนั้นจะสามารถทำให้การใช้พื้นที่เพาะปลูกมีขนาดเล็กลง ซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีสมองกลมาควบคุมปัจจัยต่างๆ ในการเจริญเติบโตของพืช การปรับอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน การปรับอุณหภูมิของน้ำ การจ่ายแร่ธาตุสารอาหารแบบตรงตามความต้องการของพืชชนิดนั้นๆ การควบคุมแสงเทียม ในกรณีที่แสงธรรมชาติไม่เพียงพอ ซึ่งในงานชิ้นนี้ ได้นำอุปกรณ์ควบคุมด้วยพีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC) นำมาประยุกต์ใช้งาน พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมต่างๆ ด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์ เพื่อได้มาซึ่งข้อมูลของสภาพแวดล้อมของการตรวจวัดจริง และพัฒนาระบบควบคุมให้สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ ทำให้การจ่ายแร่ธาตุสารอาหารตรงจุดเหมาะสมกับพืชเพาะปลูก ลดค่าการใช้แรงงาน ทั้งประหยัดเวลาในการดูแลรักษาพืชอีกด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการปลูกผักไฮโดรโปรนิกส์ [1-2]

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์มีรูปแบบการปลูกที่นิยม 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบการปลูกแบบน้ำตื้น (Nutrient Film Technique: NFT) คือ การให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชที่ปลูกบนรางอย่างช้าๆ เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตร ระบบการปลูกแบบน้ำลึก (Deep Flow Technique: DFT) โดยให้รากพืชบางส่วนสัมผัสกับ อากาศ และระบบการปลูกแบบกึ่งน้ำลึก (Dynamic Root Floating Technique: DRFT) โดยระบบนี้พัฒนามาจากระบบ DFT โดยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารละลายธาตุอาหารพืช ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการ

เจริญเติบโตของพืช คือสารละลายแร่ธาตุอาหาร มีความสำคัญและจำเป็นต้องควบคุมให้เหมาะสม โดยพื้นฐานสำหรับ ค่า Electric Conductivity (EC) และ Potential of Hydrogen ion (pH) ซึ่งค่า EC คือค่าความนำกระแสไฟฟ้าในของเหลวที่ใช้ในการปลูกพืช ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1.1-1.6 mS/cm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุของพืชและสภาพแวดล้อมในการปลูกขณะนั้น และ ค่า pH คือค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายธาตุอาหารพืชโดยปกติค่า pH ที่ใช้ในการปลูกพืชมีค่าระหว่าง 5.5 - 7.0

2.2 การใช้แสงเทียมกับการปลูกพืช [3]

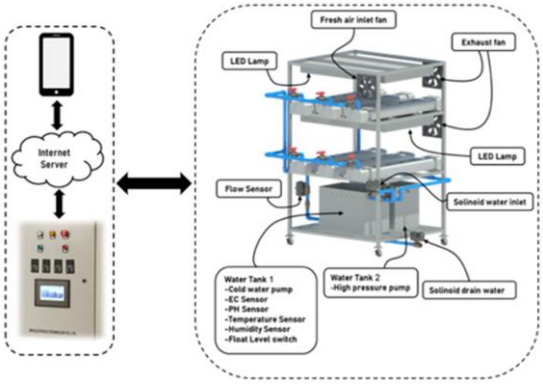
แสงมีความความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ที่เรียกว่า Photo synthetically active radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยพืชจะดูดซึมแสงเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400-480 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วงแสงสีน้ำเงินและช่วง 630-680 นาโนเมตรที่เป็นช่วงแสงสีแดง

2.3 อุณหภูมิและความชื้นในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ [4]

ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์หากพื้นที่เพาะปลูกมีอุณหภูมิสูงจะส่งผลกับการเจริญเติบโตของผักทำให้เติบโตช้า และหากมีความชื้นสูงเกินเป็นเวลานาน เช่นในช่วงหน้าฝนอาจทำให้ผักเกิดโรคต่างๆได้ การปลูกพืชไร้ดินระบบไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนเพาะปลูกระบบปิด ควรจะต้องควบคุมให้มีอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-80% การลดอุณหภูมิภายในพื้นที่เพาะปลูกสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อช่วยให้อากาศไหลเวียนได้ดี อีกทั้งยังช่วยลดอุณหภูมิและความชื้นได้ และการติดตั้งระบบพ่นละอองน้ำ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิได้ด้วยการระเหยของน้ำ และในขณะใช้งานระบบพ่นละอองน้ำ ยังสามารถช่วยเพิ่มความชื้นในพื้นที่เพาะปลูกด้วย

3. การออกแบบโครงสร้างชิ้นงานและระบบควบคุม

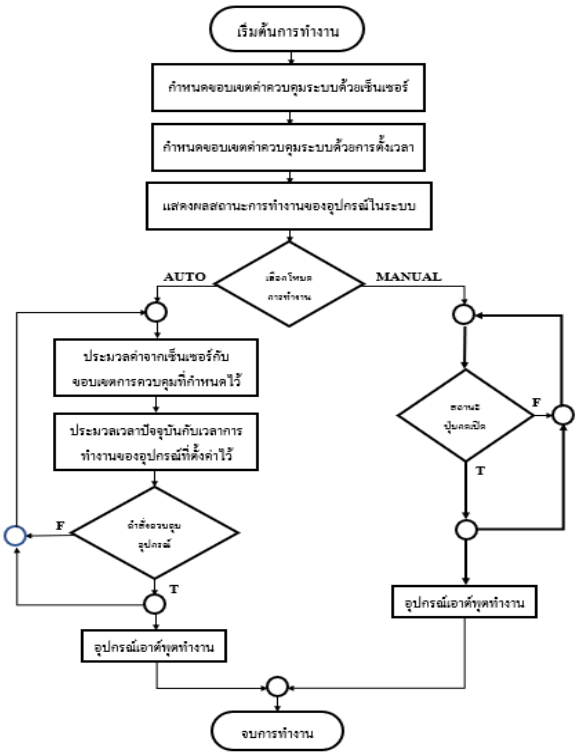
การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการเพาะปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบปิด ใช้ PLC เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ซึ่งตัวประมวลผล PLC จะรับค่าจากอุปกรณ์อินพุต จากอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดค่า pH, วัดค่า EC และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ในอากาศและวัดอุณหภูมิในน้ำ แล้วนำมาตรวจสอบเงื่อนไขและสั่งงาน โดยตัวประมวลผล PLC จะใช้งานร่วมกับหน้าจอแบบสัมผัส (Human Machine Interfacing: HMI) ที่ทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานของระบบควบคุม และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ โดยตัวประมวลผลหลักด้วยพีแอลซี จะส่งข้อมูลไปยัง HMI และสามารถดูข้อมูลสถานะ การทำงานของระบบผ่านเว็ปแอพพลิเคชั่น ด้วยเครือข่ายไร้สายไปยังอุปกรณ์สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ เพื่อดูข้อมูลแบบออนไลน์ โดยแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพรวมของระบบควบคุม

3.1 การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ

ออกแบบระบบควบคุมสำหรับการเพาะปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ จะแบ่งการควบคุมการทำงานหลักเป็น 2 โหมดการทำงาน ได้แก่ โหมดการควบคุมระบบสั่งการด้วยผู้ใช้งาน (Manual mode) ที่ผู้ใช้งานสามารถสั่งการโดยกดปุ่มจากจอแสดงผล HMI ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์เอาต์พุตได้ด้วยตัวเอง และโหมดการควบคุมระบบแบบอัตโนมัติ (Auto mode) การควบคุมระบบแบบอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็นส่วนควบคุมการทำงานย่อยได้แก่ การควบคุมระบบแสงสว่าง , การควบคุมระบบเติมสารละลาย , การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น และการควบคุมระบบจ่ายน้ำหลัก โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าบังคับขอบเขต (Threshold value) การควบคุมได้จาก HMI โดยการออกแบบระบบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังการทำงานโดยรวมของโปรแกรมควบคุม

3.1.1 ระบบควบคุม pH และ EC ด้วยการเติมสารละลาย

การควบคุมการเติมสารละลายจะต้องกำหนดค่า Set point และช่วงค่า Offset จากนั้นระบบจะคำนวณค่าขอบเขตสูงสุด (Max.) และต่ำสุด (Min.) กำหนดปริมาณการเติมสารละลายในหนึ่งครั้ง และกำหนดระยะห่างการเติมสารละลายครั้งต่อไป โดยเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ประกอบด้วยปั๊มโดสชิ่ง (Dosing pump) จำนวน 2 ชุด สำหรับชุดปั๊มโดสชิ่งสำหรับแร่ธาตุสารอาหาร AB และชุดปั๊มโดสชิ่งสำหรับกรดไนตริก เพื่อนำสารส่วนการเติมสารละลายอัตโนมัติ ตามข้อกำหนดดังนี้

การปรับค่า pH เมื่อข้อกำหนดเงื่อนไข 3 เงื่อนไข คือ (1) เมื่อค่า pH ที่วัดได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับขอบเขตสูงสุดค่า pH ที่กำหนด และพ้นกำหนดระยะห่างการเติมสารลายที่กำหนดไว้ ปั๊มเติมกรดไนตริกจะทำงานโดยจะจ่ายกรดไนตริกตามปริมาณที่กำหนด, (2) เมื่อค่า pH ต่ำกว่าขอบเขตต่ำสุด โซลินอยวาล์วเติมน้ำประปาจะทำงานเพื่อปรับเพิ่มค่า pH, (3) เมื่อปั๊มเติมกรดไนตริกและโซลินอยวาล์วทำงานระบบจะสั่งหยุดการทำงาน เมื่อค่า pH ที่วัดได้มีเท่าค่า Set point

การปรับค่า EC เมื่อข้อกำหนดเงื่อนไข 3 เงื่อนไข คือ (1) เมื่อค่า EC ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับขอบเขตต่ำสุดค่า EC ที่กำหนด และพ้นกำหนดระยะห่างการเติมสารลายที่กำหนดไว้ ปั๊มเติมกรดธาตุอาหารจะทำงานโดยจะจ่ายปริมาณตามที่กำหนด, (2) เมื่อค่า EC มากกว่าขอบเขตสูงสุด โซลินอยวาล์วเติมน้ำประปาจะทำงานเพื่อปรับลดค่า EC, (3) เมื่อปั๊มเติมธาตุอาหารและโซลินอยวาล์วทำงานระบบจะสั่งหยุดการทำงาน เมื่อค่า EC ที่วัดได้ เท่ากับค่า Set point

3.1.2 ระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะต้องกำหนดค่า Set point และค่า Offset จากนั้นระบบจะคำนวณค่าขอบเขตสูงสุด (Max.) และต่ำสุด (Min.) ของอุณหภูมิและความชื้นก่อน โดยเงื่อนไขการทำงานมีดังนี้ (1) เมื่อค่าอุณหภูมิมากกว่าค่า Set point พัดลมเวียนอากาศจะทำงาน, (2) เมื่อค่าอุณหภูมิ มีค่ามากกว่าค่า Max พัดลมหมุนเวียนอากาศ และปั๊มพ่นหมอกจะทำงาน, (3) เมื่อค่าความชื้น น้อยกว่าค่า Min ปั๊มพ่นหมอกจะทำงาน, (4) เมื่ออุณหภูมิและความชื้น น้อยกว่า ขอบเขตต่ำสุดที่กำหนด พัดลมเวียนอากาศ และปั๊มพ่นหมอก จะหยุดทำงาน

3.1.3 ระบบควบคุมการจ่ายน้ำในรางเพาะปลูก

การควบคุมการจ่ายน้ำเข้าสู่รางเพาะปลูก ด้วยปั๊มน้ำมี ปริมาณการจ่ายน้ำ 47 ลิตรต่อนาที โดยจ่ายในระบบการทำงานตลอดเวลา และปริมาณถังพักน้ำ 70 ลิตร สำหรับถังพังน้ำสำหรับจ่ายการเพาะปลูกทั้งหมด โดยในถังพักน้ำจะมีลูกลอยไฟฟ้าสำหรับตรวจสอบระดับน้ำ เมื่อระดับน้ำในถังพักน้ำอยู่ในระดับปกติ เมื่อระดับน้ำในถังพักอยู่ในระดับต่ำสุด จะหยุดการทำงานด้วยโซลินอยล์วาล์ว จากภายนอกเข้ามาในถึง ซึ่งใช้น้ำของระบบการประปาปกติ

3.1.4 ระบบการควบคุมแสงสว่าง

การควบคุมแสงสว่างได้ออกแบบให้ควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ LED ตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยระบบจะตรวจสอบเปรียบเทียบเวลาปัจจุบันกับเวลาที่การเปิด-ปิด ตามที่กำหนดจากผู้ใช้งาน ผ่านชุด HMI โดยระบบควบคุมแสงสว่าง ยังไม่ได้นำแสงธรรมชาติมาเปรียบเทียบในบทความนี้

3.2 การสร้างชิ้นงานระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

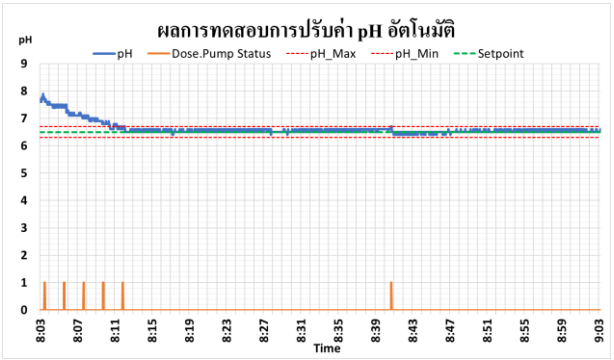
ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบการเพาะปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT จำนวน 2 ชั้น แบ่งเป็นชั้นละ 18 หลุม ในชั้นปลูกติดตั้งหลอด LED, หัวพ่นหมอก, พัดลมเวียนอากาศ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น โดยชั้นล่างสุดเป็นส่วนติดตั้งถังพักน้ำสำหรับเพาะปลูกที่ภายในติดตั้ง เซนเซอร์วัดค่า EC, pH, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำ และวัดระดับน้ำ ปั๊มพ่นหมอก ปั๊มจ่ายน้ำในราง และอุปกรณ์ปั๊มโดสชิ่ง สำหรับปรับค่าสารละลาย ระบบควบคุมด้วยพีแอลซีและ HMI บรรจุภายในตู้ควบคุม แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 โครงสร้างชั้นเพาะปลูกพืช และตู้ควบคุมระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ด้วยพีแอลซี

4. ผลการทดสอบการทำงาน

4.1 การทดสอบระบบควบคุมการปรับค่า pH อัตโนมัติ

กำหนดค่า pH Set point = 6.5, ค่า Offset = 0.2, กำหนดปริมาณเติมกรดไนตริกในแต่ละครั้ง 10 มิลลิลิตร และกำหนดระยะห่างในการเติมกรดไนตริก 2 นาที ขอบเขตการควบคุมค่า pH อยู่ในช่วง 6.3-6.7 แสดงดังรูปที่ 6



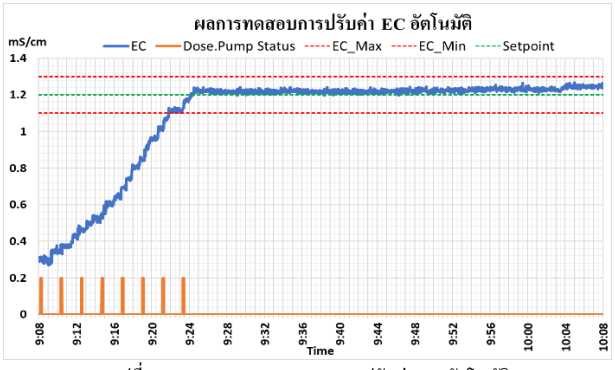
รูปที่ 6 ผลการทดสอบระบบควบคุมปรับค่า pH อัตโนมัติ

เริ่มต้นค่า pH มีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการปรับโดยปั๊มโดสชิ่งทำงาน โดยค่า pH จะค่อยๆลดลง สอดคล้องกับการทำงานของ

ปั๊มโดสซิ่งโดยใช้เวลาประมาณ 8 นาที ระดับค่า Set point และ Offset อยู่ในช่วงที่กำหนด

4.2 การทดสอบระบบควบคุมการปรับค่า EC อัตโนมัติ

กำหนดค่า Set point = 1.200 mS/cm , ค่า Offset = 100 mS/cm , จำนวนการเติมสารลาย 10 มิลลิลิตรและระยะห่างการเติมสารละลาย 2 นาที ขอบเขตการควบคุมค่า EC อยู่ในช่วง 1.100-1.300 mS/cm แสดงดังรูปที่ 7

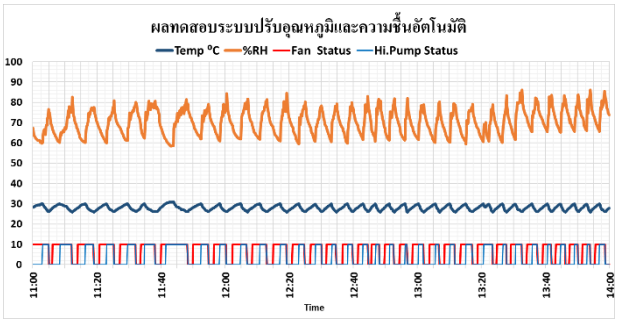


รูปที่ 7 ผลการทดสอบระบบควบคุมปรับค่า pH อัตโนมัติ

เริ่มต้นค่า EC มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะทำการปรับปั๊มโดสซิ่งให้ทำงาน โดยค่า EC จะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการทำงานของปั๊มโดสซิ่ง โดยใช้เวลาประมาณ 17 นาที ระดับค่า Set point และ Offset อยู่ในช่วงที่กำหนด

4.3 การทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การทดสอบระบบควบคุมการปรับค่าอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ โดยตั้งค่าระบบให้สั่งการทำงานของพัดลมเวียนอากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงเกินค่า Set point ที่ 28 องศา, สั่งการทำงานของปั๊มพ่นหมอกเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 30 องศา และอุปกรณ์เอาต์พุตจะหยุดการทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 26 องศา เก็บผลการทดลอง 3 ช่วงเวลา แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ ช่วงการทดสอบระบบช่วงเวลา 11.00-14.00 น.

4.4 ผลการทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ

ทดสอบโดยทำการตั้งค่าขอบเขตของการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ทำการตั้งค่าการควบคุมให้อยู่ในช่วง 60-80 %RH ตั้งค่าการควบคุมค่า EC ให้อยู่ในช่วง 1.150-1.250 mS/cm โดยค่า Set point ของค่า EC = 1.200 mS/cm และตั้งค่าการควบคุมค่า pH โดยทำการตั้งค่า Set point = 6.5 โดยทำการเก็บผลการทดสอบระบบเป็นเวลา 15 วัน จากการทดสอบระบบควบคุมการเพาะปลูก เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิมีค่าสูงสุด 28.8 °C ต่ำสุด 25.7 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุด 79.7 % RH ต่ำสุด 65.8 % RH ค่าเฉลี่ยค่า EC สูงสุด 1.23 mS/cm ต่ำสุด 1.2 mS/cm และค่า pH เฉลี่ยอยู่ที่ 6.5 ซึ่งระบบสามารถควบคุมค่าต่างๆ ให้อยู่ในขอบเขตการควบคุมที่ได้กำหนดไว้

5. สรุปผล

การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการเพาะปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำไหลผ่าน เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้สอดคล้องกับพืช และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเพาะปลูก ด้วยพีแอลซี จากการทดสอบระบบสามารถลดอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 25.7 °C และความชื้นในช่วง 65.8 – 79.7 %RH ระบบควบคุมจะรักษาระดับค่า EC ต่ำสุดที่ 1.204 mS/cm สูงสุดที่ 1.228 mS/cm ระบบจะรักษาระดับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.3-6.7 จากการทำงานแบบอัตโนมัติสามารถควบคุมประสิทธิภาพของผลผลิต รวมถึงสามารถเก็บข้อมูลจากการเพาะปลูก ข้อมูลค่า pH ที่การจ่ายแร่ธาตุสารอาหารตรงจุด อุณหภูมิและความชื้น ที่เหมาะสมในกระบวนการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิด

เอกสารอ้างอิง

[1] สุวรรณ ภู่เชย, ธนโชติ ทับชาวนา, กิตติพงษ์ มาตรักชาติ และเดือนแรม แพ่งเกี่ยว. “ตู้ควบคุมการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ด้วยแสงเทียมและเทคโนโลยีนาโนบับเบิ้ล,” วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้าที่ 1-10, 2562.

[2] ดิเรก ทองอร่าม, “ค่า EC/pH ในระบบไฮโดรโปนิกส์,” 22 มีนาคม 2561, [ออนไลน์], สืบค้นจาก: https://www.speedyaccess.co.th/th/articles/115910-ค่า-ec/ph-ในระบบไฮโดรโปนิกส์, 2561.

[3] นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี, “ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช?,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, หน้าที่ 158 – 176, กุมภาพันธ์ 2560.

[4] Greenhouse, “แนวทางการลดความร้อนในโรงเรือน,” [ออนไลน์], 2018, แหล่งที่มา: https://www.rukkla.com/ /content/12653, สืบค้นกันยายน 2563.