การควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน

Soil Moisture Control System for Melon Cultivation in Greenhouse

เอกรัฐ ชะอุ่มเอียด* และ เดือนแรม แพ่งเกี่ยว

Accarat Chaoumead* and Duanraem Phangkeio

Received: 15 May 2018, Revised: 4 July 2018, Accepted: 23 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการปลูกเมล่อนระบบโรงเรือนซึ่งใช้วิธีการควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับปลูกพืช ได้แก่ ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และการให้น้ำดินปลูกเมล่อนภายในโรงเรือน โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์และอุปกรณ์มาพัฒนาให้เหมาะสมกับรูปแบบการปลูกพืช การปลูกเมล่อนด้วยดินในโรงเรือนมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม 3 ส่วน คือ อุณหภูมิภายในโรงเรือน ความชื้นของอากาศภายในโรงเรือน และความชื้นของดินปลูก ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนโดยการระบายความร้อนออก การควบคุมความชื้นในอากาศโดยการสเปรย์ละอองน้ำ และควบคุมความชื้นในดินปลูกด้วยระบบน้ำหยด ผลการทดลองระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับปลูกพืชโรงเรือนเมล่อน พบว่า การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28-30 °C ความชื้นในอากาศอยู่ที่ 70-80% และการให้น้ำในดินโดยการรักษาระดับความชื้นอยู่ที่ 80-99% (ปริมาณน้ำตามช่วงอายุของพืช) เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อน จากการวิเคราะห์ผลการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และการให้น้ำดินปลูก ระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง รวมถึงควบคุมสภาวะบรรยากาศภายในโรงเรือนปลูกเมล่อนให้อยู่ในค่าที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรง

คำสำคัญ: เมล่อน, ไมโครคอนโทรเลอร์, โรงเรือน, การควบคุมความชื้นในดิน

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok, Ban Krang, Mueang Phitsanulok, Phitsanulok 65000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): eakrat@hotmail.com

ABSTRACT

This research presents melon cultivation in greenhouse using environmental control methods such as temperature, air humidity and soil water. The microcontrollers and equipment were applied to support the growing pattern. Growing melon with soil in the greenhouse consisted of three environmental factors: temperature, humidity in the greenhouse and soil moisture. This research employed a method of temperature control inside the greenhouse by cooling off, controlling moisture in the air by spraying water, and controlling the moisture in the soil grown with drip irrigation system. The experimental results of the environment control system for growing melon in the greenhouse found that the proper temperature was in the range of 28-30 °C, the proper humidity in the air was 70-80%, and the soil water retention by maintaining the moisture level was 80-99% (water content relies on the age of the plant). According to the analysis of temperature control, air humidity, and soil watering, the systems is continuously able to work. Moreover, the developed system can control the atmospheric conditions in the greenhouse to be precisely and accurately defined.

Key words: melon, microcontroller, greenhouse, soil moisture control

บทนำ

การปลูกพืชในโรงเรือนเป็นการควบคุมปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อพืชในสภาวะต่างๆ เช่น การรดน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความชื้น และแสง ให้เป็นไปตามที่ต้องการของลักษณะการปลูกพืชแต่ละชนิด และยังสามารถติดตั้งระบบเพื่อสนับสนุนทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ปลูกหรือเกษตรกร (ธนากร และ อติกร, 2557) อีกทั้งช่วยควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำผลการวัดต่างๆ ภายในโรงเรือนมาวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันและลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ รวมถึงวางแผนบริหารจัดการโรงเรือนให้สามารถสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ปัญหาจากสภาพแวดล้อมของอากาศที่สำคัญสำหรับการปลูกเมล่อน คือ อุณหภูมิ และฝน ต้นเมล่อนไม่ชอบอากาศหนาวจัดและร้อนจัด (อาทิตย์ และคณะ, 2559) อุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการปลูกเมล่อนอยู่ที่ 25-30 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และ 18-20 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน หากเมล่อนกระทบกับอากาศหนาวเย็นจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้า การออกดอกติดผลจะล่าช้า และถ้าอากาศยิ่งหนาวจัด ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ต้นเมล่อนจะหยุดการเจริญเติบโต ในกรณีอากาศที่ร้อนเกินไปหรืออุณหภูมิเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส

เมล่อนมักจะสร้างแต่ดอกตัวผู้ ไม่มีดอกตัวเมีย หรือถ้ามีดอกตัวเมียก็จะร่วงง่ายไม่ติดผล สำหรับการให้น้ำถ้าเมล่อนถูกน้ำฝนบ่อยมักจะเกิดโรคราน้ำค้าง เมล่อนเป็นพืชที่มีใบใหญ่คายน้ำมากจึงต้องการน้ำในปริมาณมากในแต่ละวันนับจากหลังย้ายปลูกแล้ว ในช่วงเริ่มต้นหลังย้ายกล้าอาจอยู่ในช่วง 0.5-1 ลิตร/ต้น/วัน ความต้องการน้ำของต้นเมล่อนจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมล่อนเริ่มออกดอกและติดผลจะเป็นช่วงที่เมล่อนมีปริมาณความต้องการน้ำสูงที่สุด การให้น้ำแก่เมล่อนจึงต้องเพิ่มปริมาณการ

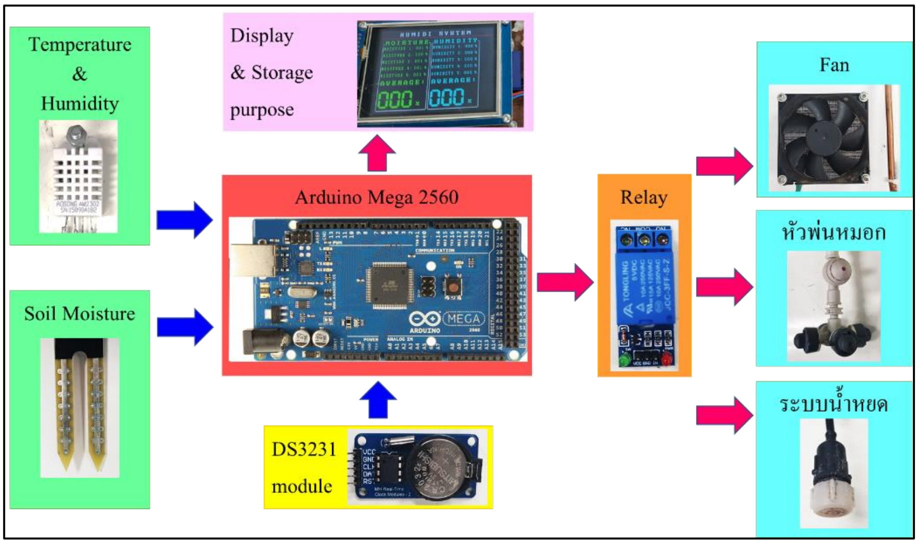
ให้น้ำแก่ต้นเพิ่มมากขึ้นทุกสัปดาห์ จนถึงระยะออกดอกและติดผลจึงให้น้ำในปริมาณที่คงที่ได้ ความต้องการน้ำของต้นเมล่อน และในช่วงที่กำลังออกดอกและติดผลอาจสูงถึงวันละ 2-3 ลิตร/ต้น/วัน

งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบการควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน การปลูกนั้นจะประกอบไปด้วยการให้น้ำระบบน้ำหยด การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน และความชื้นในอากาศ ให้เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อนแบบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล AVR โดยระบบอาดุยโน่ (Arduino) รับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในโรงเรือน เซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดินและในอากาศ (เทพพิทัย และ วิริยะ, 2555) ผ่านการประมวลข้อมูล และสั่งการควบคุมการให้น้ำ และระบายความร้อน นอกเหนือจากการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนเมล่อนได้แล้วยังสามารถบันทึกข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในการผลิตที่เหมาะสม นำมาซึ่งผลผลิตที่มีคุณภาพ และการจัดการดูแลการปลูกพืชในโรงเรือนด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

วิธีดำเนินการวิจัย

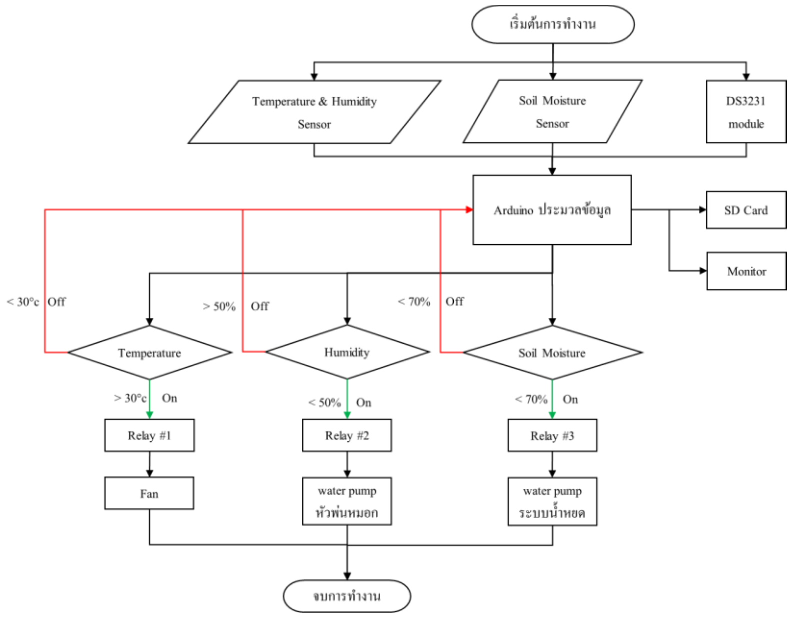
การออกแบบชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) แบบ Open Source อาดุยโน่ (Arduino) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ โดยผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาทางขา I/O ของบอร์ดสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) (คำคูณ และ รัฐศิลป์, 2560) และทำการเขียนโปรแกรมควบคุมสภาวะที่เหมาะสมกับพืชที่ต้องการปลูก โดยคำนึงถึงพื้นที่แสงอาทิตย์ส่องถึงและลักษณะของโรงเรือนแบบกึ่งปิด เพื่อกำหนดจุดตรวจวัด ขนาดของโรงเรือนที่ใช้ในการทดลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 3 เมตร แสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ลักษณะโรงเรือนกึ่งปิดที่ใช้ในการทดลองระบบ



ภาพที่ 2 ภาพรวมของระบบชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน

จากภาพที่ **2** การสร้างชุดควบคุม ต้องทำการออกแบบระบบที่ต้องมีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ 1) ส่วนรับข้อมูล หรือเซนเซอร์ ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความชื้น และอุณหภูมิ 2) ส่วนของการประมวลผล ใช้อาดุยโน่ เมกะ 2560 (Arduino Mega 2560) (ธนพนธ์ และ ถิรพล, 2559) ตัดสินใจหรือทำตามเงื่อนไขที่ป้อนข้อมูลคำสั่ง 3) ส่วนแสดงผลหรือส่งสัญญาณ เป็นการแสดงข้อมูลที่วัดได้และส่งสัญญาณให้รีเลย์ทำงานตัดหรือต่อการทำงานมอเตอร์แบบหน้าสัมผัส ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ จากการศึกษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการปลูกเมล่อน ความต้องการน้ำของเมล่อนสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามใบฤดูกาลและความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ฉะนั้นการให้น้ำต้นเมล่อนจึงนิยมใช้ระบบน้ำหยด เป็นการประหยัดน้ำอีกด้วย อย่างไรก็ตามใช้เป็นส่วนของข้อกำหนดและเงื่อนไขการสั่งงานของระบบ โดยใช้ชุดคำสั่งสามารถเขียนแผนผังการทำงานได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของระบบชุดควบคุมภายในโรงเรือนเมล่อน

โดยผลของการรับข้อมูล เพื่อนำมาประมวลผลนั้น การหาค่าความชื้นในดินต้องนำแท่งอิเล็กโทรดปักลงดินบริเวณต้นเมล่อน ซึ่งต้องทำการทดลอง (Soil moisture sensor module) กับดินที่ใช้ปลูกจริง และทำการแปลงค่า จากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter, ADC) (อนุรักษ์, 2553) โดยใช้สมการที่ 1

$$ADC = \frac{V_{in} \times 1024}{V_{REF}} \quad (1)$$

เมื่อ V_{REF} คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์

V_{in} คือ แรงดันเข้า โวลต์

ADC คือ ค่าการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เมื่อได้ผลการแปลงข้อมูลก็จะทำการกำหนดระยะของจุดปักหัววัดกับต้นเมล่อนและหัวน้ำหยด จากการศึกษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อนเกี่ยวกับความต้องการน้ำในแต่ละช่วงอายุของต้นเมล่อน ทำการเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนร้อยละหรือค่าเปอร์เซนต์ความชื้น ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุต้นเมล่อนกับปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละวัน เปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซนต์ความชื้น

ช่วงอายุต้นเมล่อน	จำนวนวัน	ปริมาณน้ำ/ต้น/วัน	สัปดาห์ที่	Soil Moisture (%)
เริ่มปลูก เพาะเมล็ด	1-7	ชุ่มน้ำ	1	-
ระยะตั้งตัวก่อนออกดอก	8-15	0.5	2	30
	16-22	1	3	40
	23-29	1	4	40
	30-36	2	5	60
	37-43	2	6	60
ระยะดอกบานและติดผล	44-50	3	7	80
	51-57	3	8	80
	58-64	3	9	80
	65-71	3	10	80
	72-78	3	11	80
ก่อนเก็บเกี่ยว	79-85	หยุดให้น้ำ	12	-

การควบคุมการให้น้ำและระบายความร้อนภายในโรงเรือน การวัดค่าความชื้น และอุณหภูมิเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการประมวลผล จากพื้นที่ของโรงเรือนใช้การหาค่าเฉลี่ยแบบ 5 จุด (นิพนธ์ และ เอกชัย, 2551) ควบคุมการให้น้ำระบบน้ำหยด การควบคุมระดับความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนได้อย่างสม่ำเสมอทั้งโรงเรือน จากสมการที่ 2

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3.......+ X_n}{n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} \qquad (2)$$

เมื่อ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

X_n คือ ข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูล

ชุดควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนเมล่อน สามารถปรับตั้งค่าที่กำหนดได้จากหน้าจอสัมผัสเพื่อการปรับการสั่งงานให้สอดคล้องกับช่วงฤดูการหรือตามความต้องการของผู้ใช้ จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของอุปกรณ์ที่สะดวกต่อการใช้งานที่ออกแบบให้ง่ายต่อการควบคุมและแสดงค่าที่ต้องการอย่างชัดเจน

การบันทึกค่าความชื้นทำการบันทึกผลการทดลองโดยใช้ SD Card ขนาด 8 Gb ในการบันทึกค่าความชื้นทุกๆ 30 นาที โดยค่าความชื้นจะถูกบันทึกลงให้ไฟล์ Data.tex ตามที่ได้ตั้งค่าของการเขียน Code ใน Microcontroller (อรพิน, 2543) และนำค่าที่บันทึกได้ไปแสดงในรูปแบบกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel การรักษาสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะต้องมีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิและความชื้นให้คงที่และเหมาะสมกับชนิดของพืชนั้นๆ (ธีรยศ และ ประยูร, 2554) โครงสร้างของโรงเรือนจะต้องมีระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น เพื่อวัดอุณหภูมิและวัดความชื้นภายในโรงเรือนระบบปิด (ศราวุฒิ, 2560)

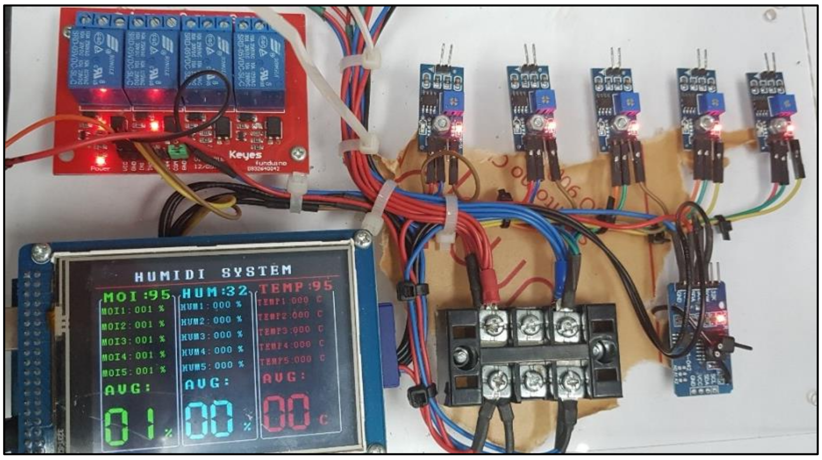
ภาพที่ 4 ชุดควบคุมภายในโรงเรือนเมล่อน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

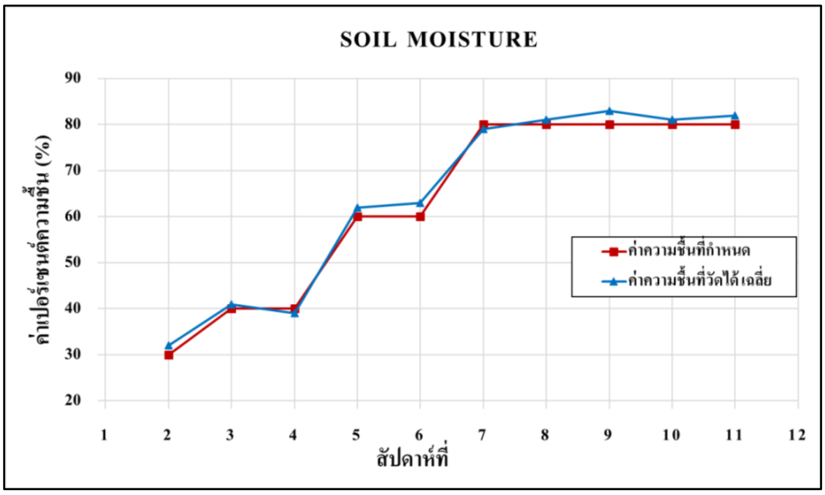
จากการทดลองการทำงานชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน สามารถทำงานเป็นไปตามผังการทำงานที่ออกแบบไว้ และอุปกรณ์ประกอบวงจรทำงานได้ปกติ (ศุภวุฒิ และ คณะ, 2557) จากการทดสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อนแสดงในภาพที่ 5 โดยทำการเปรียบเทียบสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนกับการควบคุมสภาพแวดล้อมของ

การปลูกให้เหมาะสมกับต้นเมล่อนแบบอัตโนมัติ (เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2559) ซึ่งทำการทดสอบค่าความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิในโรงเรือน จากการทดลองสามารถแสดงให้เห็นในภาพที่ 6

การรักษาระดับความชื้นในดินปลูกต้นเมล่อนตามความต้องการน้ำในแต่ละช่วงของการปลูกซึ่งมี 4 ช่วงอายุ จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 2 ระยะตั้งตัวก่อนออกดอกไปจนถึงสัปดาห์ที่ 7 ระยะดอกบานและติดผล ต้นเมล่อนจะมีความต้องการน้ำในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นตามอายุของเมล่อน และหลังสัปดาห์ที่ 7 จนถึง สัปดาห์ที่ 11 คือระยะดอกบานและติดผล เมล่อนจะมีความต้องการน้ำที่คงที่แต่ควรสม่ำเสมอตลอดช่วงอายุจนเข้าสู่สัปดาห์ที่ 12 เกษตรกรจะทำการหยุดให้น้ำเพื่อเป็นการเพิ่มความหวานแก่ผลเมล่อน



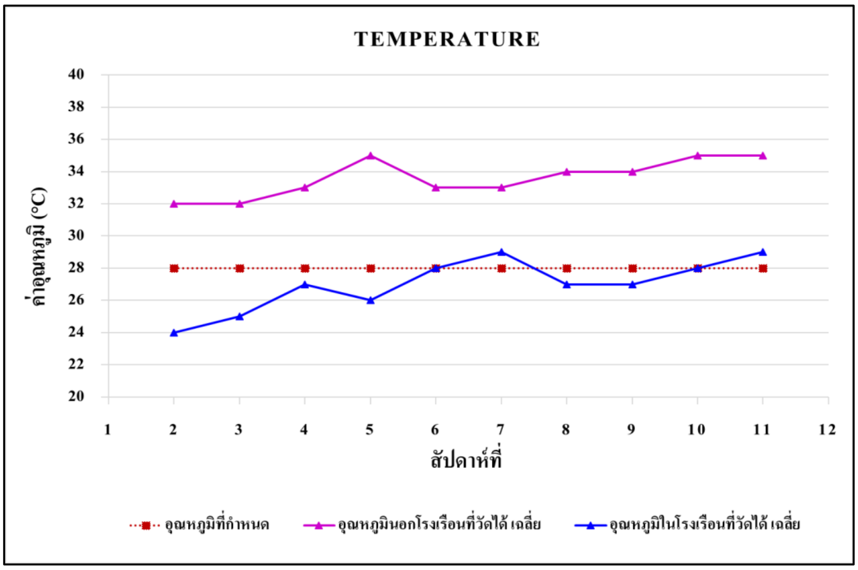
ภาพที่ 5 ทดสอบระบบของชุดควบคุมภายในโรงเรือนเมล่อน



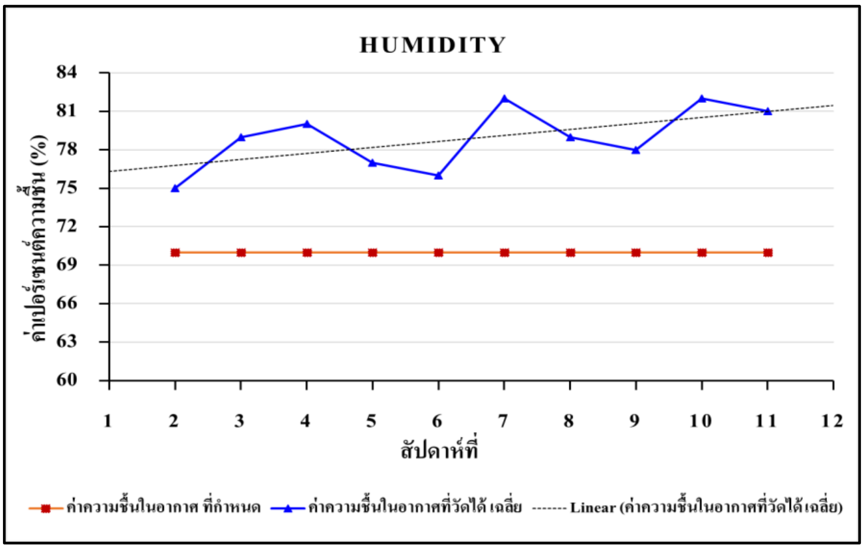
ภาพที่ 6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินของการให้น้ำต้นเมล่อนระหว่างค่าที่กำหนดกับค่าที่วัดได้

จากภาพที่ 7 แสดงอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยอยู่ที่ 34 °C และต้องการรักษาระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือน จากค่าที่กำหนดไว้ไม่เกิน 28 °C โดยที่อาศัยการลอยตัวของอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ลอยตัวขึ้นแล้วทำการดึงอากาศออกโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (เฉลิมชาติ และคณะ, 2561)

ภาพที่ 8 แสดงค่าความชื้นในอากาศโดยการกำหนดค่าความชื้นไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 70% ชุดควบคุมสามารถทำการเพิ่มความชื้นไม่ให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดได้ โดยมีแนวโน้มของค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองอยู่ในช่วง เดือนธันวาคม ถึง เดือนกุมภาพันธ์ นั่นคือช่วงปลายฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน อีกทั้งยังมีลมแรงทำให้ค่าความชื้นที่ตรวจวัดได้ไม่อยู่ในเชิงเส้น แต่สรุปได้ว่าระบบสามารถรักษาค่าความชื้นไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้



ภาพที่ 7 ค่าอุณหภูมิที่กำหนด เปรียบเทียบกับภายนอกโรงเรือนและอุณหภูมิที่ควบคุมภายในโรงเรือน



ภาพที่ 8 ค่าเปอร์เซนต์ความชื้นภายในโรงเรือนที่กำหนดกับความชื้นที่ระบบสามารถควบคุมได้

สรุป

จากผลการทดลองสามารถแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน รวมถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อนเพื่อการควบคุมผลการผลิตให้มีคุณภาพ โดยสภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีปัจจัยสภาวะบรรยากาศสำหรับปลูกเมล่อน 3 ส่วน คือ

1) อุณหภูมิภายในโรงเรือนที่เหมาะสมกำหนดค่าไว้ที่ไม่มากกว่า 28 °C ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ โดยเฉลี่ย 27 °C คิดเป็น 96.4%

2) ค่าเปอร์เซนต์ความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนกำหนดค่าที่ไม่ต่ำกว่า 70% สามารถควบคุมความชื้นได้เฉลี่ย 78.9% ความชื้นในอากาศ

3) ค่าความชื้นของดินปลูก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุต้นเมล่อนกับปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละวัน เปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซนต์ความชื้น ผลปรากฏว่าการให้น้ำระบบน้ำหยดโดยเฉลี่ยมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ 2.06% แสดงให้เห็นประสิทธิภาพถึงร้อยละ 97.94 ของการรักษาระดับความชื้นในดินที่เหมาะสมกับการให้น้ำในแต่ละช่วงอายุการปลูกเมล่อน แต่ยังมีจุดที่ควรนำมาเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบในส่วนของค่าความชื้นในอากาศกับฤดูกาล ที่มีผลต่อการควบคุม เรื่องของคุณภาพของดินและเมล็ดพันธุ์ที่นำมาใช้ ต้องควบคุมตัวแปรให้เกิดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด เพื่อประสิทธิผลและความแม่นยำของชุดควบคุม อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบควบคุมการปลูกพืชในโรงเรือนชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา โครงการวิจัยเชิงพัฒนา ปี 2559

เอกสารอ้างอิง

เกษตรกรรมธรรมชาติ. 2559. **การปลูกพืชใช้น้ำน้อยด้วยระบบน้ำหยด.** สำนักพิมพ์วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 1/2559, กรุงเทพมหานครฯ.

คำคูณ พันธวงศ์ และ รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์. 2560. โรงเรือนไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ, น. 117-120. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการงานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9 (9th ECTI-CARD 2017).** สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศ, เลย.

เฉลิมชาติ เสาวรัจ, กระวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. 2561. สมรรถนะการทำงานร่วมของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกกับระบบระบายอากาศที่ควบคุมด้วยสมการสมดุลความชื้นของอากาศ. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย** 24(2): 63-69.

เทพพิทัย กำเพ็ชร และ วิริยะ กองรัตน์. 2555. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไร้สาย. **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง** 21(1): 89-100.

ธนพนธ์ สุพัฒนกิจกุล และ ถิรพล วงศ์สะอาดสกุล. 2559. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่ด้วยอาดุยโน่, น. 336 - 344. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านบริหารธุรกิจราชมงคลพระนคร และการนำเสนอผลงานวิจัยเชิงสร้างสรรค์ การจัดการธุรกิจและเทคโนโลยีดิจิทัล.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.

ธนากร น้ำหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. 2557. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบ

ทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 8(1): 98-111.

ธีรยศ เวียงทอง และ ประยูร จวงจันทร์. 2554. ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนแบบปิด, น. 40-43. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 4 (ECTI-CARD 2012).** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

นิพนธ์ มุ่งอ้อมกลาง และ เอกชัย ชูเที่ยง. 2551. การศึกษาและออกแบบพัดลมปรับความเร็วรอบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรเลอร์. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

ศราวุฒิ จันทะพรม. 2560. **ปลูกเมล่อนในโรงเรือน.** สำนักพิมพ์ เอ็มไอเอส, กรุงเทพฯ.

ศุภวุฒิ ผากา, สันติ วงศ์ใหญ่ และ อดิศร ถมยา. 2557. การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตรจังหวัดลำปาง. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง** 7(1): 58-69.

อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล. 2553. การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อรพิน ประวัติบริสุทธิ์. 2543. **เรียนรู้และเข้าใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino.** สำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา, กรุงเทพฯ.

นภัสพร เฮงฮะสุน และ ริชภัชร์ ศิริโชติ. 2559. การพัฒนาระบบควบคุมความชื้นในดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเมล่อน. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.