นิพนธ์ต้นฉบับ

ระบบควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยดสำหรับการปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนโดยการอ้างอิงฐานเวลาและปริมาณการใช้น้ำของพืช

Irrigation Control System for Drip Irrigated Tomato in Greenhouse using Timer-based Control Method and Crop Water Requirement

สัญญา ควรคิด[1], ก้องภพ ชาอามาตย์[2] วาร์ธินีย์ แสนยศ[3]

Sanya Kuankid[1], Kongphope Chaarmart[2] Vatinee Sanyod[3]

Received: 13 November 2018 ; Revised : 15 January 2019 ; Accepted: 20 February 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยดสำหรับการปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมขนาดเล็กที่มีความแม่นยำในการควบคุมปริมาณและเวลาในการให้น้ำและปุ๋ย การทำงานระบบควบคุมใช้บอร์ดประมวลผลขนาดเล็กทำงานร่วมกับมอดูลฐานเวลาเพื่อใช้ในการอ้างอิงช่วงเวลาที่เหมาะสมในการให้น้ำแก่พืช การทดลองอาศัยโมเดลของ Penman-Monteith เพื่อประเมินค่าความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 แฟกทอเรียล จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 4 ต้น ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อประเมินผลความถี่ของการให้น้ำและความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำต่ออัตราการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH154 การจัดทรีตเมนต์ประกอบด้วยความถี่ของการให้น้ำ (1 วัน และ 2 วัน) และความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำ (2 วัน 4 วัน และ 6 วัน) ผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำสะสมที่จ่ายโดยระบบควบคุมมีความคลาดเคลื่อน 7.01 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองด้านการเจริญเติบโตพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการให้น้ำและความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำต่อความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของมะเขือเทศ ด้านผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศ พบว่าจำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลผลิตต่อต้นสูงสุด น้ำหนักต่อผล ความกว้างของผล ความยาวของผลและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด คือ 396 ผล และ 4,027 กรัม 10.85 กรัม 22.10 มม. 40.50 มม. และ 9.82 องศา บริกซ์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบการให้น้ำ ปุ๋ย การให้ปุ๋ยในระบบน้ำ โรงเรือนเพาะปลูกพืช

Abstract

This research on the drip irrigation management system for tomato cultivation in greenhouses aims to develop a small control system with precise control of the quantity and time of irrigation and fertilization. Controlling systems use small-board processors and timer-base modules to refer to an irrigation scheduling. The Penman-Monteith models were used to evaluate the water requirements in each tomato growth phase, using water flow sensors to measure and control the amount of irrigation in each time. The results showed that the percent error of accumulative amount of water by the control system was 7.01 percent without any control time error.

---

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000, โทรศัพท์: 081-2333840, Email : sanya@webmail.npru.ac.th*

[2] *อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000.*

[3] *อาจารย์, คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวดนครปฐม 73000.*

[1] *Asst. Prof., Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand, Tel : 081-2333840, Email : sanya@webmail.npru.ac.th*

[2] *Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand.*

[3] *Lecturer, Faculty of Nursing, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.*

* *Corresponding author; Sanya Kuankid, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand, sanya@webmail.npru.ac.th*

The experiment measuring the growth period at 49 days found that the average stem height of plant was 153.17 cm. and the average diameter of the plant was 8.20 mm. In terms of yield and quality of tomato, the results found that the number of fruit, fruit weight per plant, fruit weight, fruit width, fruit length, and total soluble solid content were 396, 4,027 g, 10.85 g, 22.10 mm., 40.50 mm. and 9.82 degrees brix, respectively.

Keywords: Irrigation system, Fertilizer , Fertigation system, Greenhouse

บทนำ

ปัจจุบันการผลิตพืชภายในโรงเรือนได้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น ต้องการผลผลิตที่ปราศจากการใช้สารเคมี ต้องการผลผลิตพืชเมืองหนาวหรือเมืองร้อนที่ไม่ใช่พืชท้องถิ่น ต้องการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ฯลฯ นอกจากนี้โรงเรือนยังช่วยป้องกันความเสียหายจากการทำลายของศัตรูพืช เช่น วัชพืช แมลง และโรคพืช ฯลฯ และสภาพแวดล้อมธรรมชาติ สามารถปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับพืชที่ปลูกและวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ช่วยให้ระบบการผลิตมีความประณีตและมีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย สามารถเลือกปลูกชนิดพืชที่ตลาดต้องการในแต่ละฤดู และปลูกได้ตลอดทั้งปี ทำให้มีรายได้อย่างต่อเนื่องและลดต้นทุนการผลิตในระยะยาว การผลิตพืชภายในโรงเรือนนั้น พืชจะเจริญเติบโตได้ดีต้องอาศัยปัจจัยที่เหมาะสมคือ แสง น้ำ ธาตุอาหาร ความชื้นในดิน อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ออกซิเจน ฯลฯ การให้น้ำพืชถือเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญอย่างหนึ่ง ที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพในการผลิตพืช การให้น้ำมากเกินไปนอกจากสูญเสียทรัพยากรน้ำแล้ว รากพืชยังขาดอากาศ ส่งผลให้พืชไม่สามารถลำเลียงน้ำและธาตุอาหารไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช ทำให้ผลผลิตไม่ดี ส่วนการให้น้ำน้อยเกินไปก็ทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้สมบูรณ์[1] อีกทั้งการให้น้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชในระยะต่าง ๆ ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีแล้ว ยังเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำโดยไม่จำเป็นและมีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบการจัดการให้น้ำและปุ๋ยที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญช่วยให้ได้ผลผลิตทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

การให้น้ำแบบน้ำหยด (drip irrigation) หรือระบบการให้น้ำแบบจุลภาค (micro-irrigation) เป็นที่ยอมรับและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการปลูกพืชในโรงเรือน การให้น้ำแบบนี้เป็นการให้น้ำแก่พืช ที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลาย ๆ จุดบนผิวดิน เฉพาะในเขตรากพืชด้วยระบบท่อ จากผลการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกพืชหลายชนิดด้วยการให้น้ำแบบน้ำหยดเปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบอื่น ๆ พบว่าพืชมีอัตราการให้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตสูงขึ้น ประสิทธิภาพการใช้น้ำ สูงขึ้น การให้น้ำแบบน้ำหยดเป็นการประยุกต์การให้น้ำแบบช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอที่ความดันต่ำ (น้อยกว่า 2 บาร์) โดยให้น้ำไปยังพื้นที่รากของพืชผ่านทางระบบวาล์วน้ำ ท่อน้ำ ท่อและหัวจ่ายน้ำ[2] การให้น้ำวิธีนี้ยังสามารถให้ปุ๋ยได้สะดวกและประหยัดโดยการละลายไปพร้อมกับการให้น้ำ ถือว่าเป็นวิธีการให้น้ำแก่พืชที่มีประสิทธิภาพสูงมาก รูปแบบการให้น้ำพร้อมกับปุ๋ยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระบบการจัดการน้ำ การให้น้ำแบบน้ำหยดเป็นแนวคิดที่เหมาะสมสำหรับการให้น้ำพร้อมกับปุ๋ยในการปลูกพืช ซึ่งการให้ธาตุอาหารตามที่พืชต้องการในบริเวณรากโดยละลายไปพร้อมการให้น้ำจะช่วยลดการใช้น้ำและปุ๋ย[3,4,5]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยแบบน้ำหยดสำหรับการปลูกมะเขือเทศภายในโรงเรือน[6] พบว่าการให้น้ำและปุ๋ยในแบบน้ำหยดโดยไม่ให้ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศนั้นจำเป็นต้องควบคุมให้พืชได้รับน้ำและปุ๋ยอย่างทันเวลาและแม่นยำ หรือเรียกว่าเป็นการกำหนดเวลาการให้น้ำพืช (Irrigation scheduling) ซึ่งการกำหนดเวลาการให้น้ำพืชนี้มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดปริมาณการให้น้ำและช่วงเวลาในการให้น้ำที่เหมาะสม เพื่อให้พืชได้รับน้ำตามความต้องการนั่นเอง งานวิจัยของ Jensen[7] กล่าวว่าการกำหนดเวลาการให้น้ำพืชคือกิจกรรมการวางแผนและการตัดสินใจที่ผู้จัดการฟาร์มหรือผู้ดูแลระบบการจัดการน้ำในฟาร์มมีส่วนร่วมในช่วงก่อนปลูกและในระหว่างการปลูกมากที่สุด ซึ่งการกำหนดเวลาการให้น้ำพืชถือเป็นเครื่องมือหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ เพิ่มผลผลิตพืช เพิ่มความพร้อมในการใช้งานแหล่งน้ำและทำให้เกิดผลกระทบด้านบวกต่อคุณภาพของดินและน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปวิธีการควบคุมการทำงานของระบบการให้น้ำและปุ๋ยสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ การใช้ฐานเวลาอ้างอิงการทำงาน (timer-based) การใช้เซนเซอร์ (sensor-based) หรือวิธีการแบบโมเดล (model-based)[6]

การใช้ฐานเวลาควบคุมการทำงาน ทำได้โดยใช้อุปกรณ์ตั้งเวลา (electronics timers) ที่ถูกออกแบบเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานของวาล์วน้ำ วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ถูกและสะดวกที่สุดในการกำหนดเวลาการให้น้ำแก่พืช ปัญหาการควบคุมด้วยฐานเวลาคือไม่สามารถกำหนดปริมาตรการให้น้ำ

พืชให้ได้รับน้ำตามความต้องการในแต่ละช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างแม่นยำ

การใช้เซนเซอร์ควบคุมการทำงาน สามารถควบคุมช่วงเวลาของการให้น้ำได้อย่างต่อเนื่องโดยการวัดค่าความชื้นในวัสดุที่ใช้ปลูกพืช ในปัจจุบันมีอุปกรณ์ควบคุมการให้น้ำ (irrigation controller) ที่สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดความชื้นได้ในแบบไร้สาย ติดตั้งได้ง่ายและราคาไม่แพง อย่างไรก็ตามการกำหนดปริมาตรการให้น้ำ ยังคงต้องอาศัยความชำนาญในการให้น้ำในแต่ละพื้นที่ๆ แตกต่างกัน และสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือการประมวลผลการทำงานเมื่อมีเซนเซอร์ติดตั้งเพิ่มขึ้นในพื้นที่การปลูกพืช ซึ่งส่งผลในด้านราคา ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ การบำรุงรักษา การกำหนดรูปแบบการสื่อสารระหว่างเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมการให้น้ำ และที่สำคัญที่สุดคือความง่ายในการใช้งาน การควบคุมการทำงานแบบโมเดล จะขึ้นอยู่กับการประมาณการสูญเสียน้ำของพืชที่สัมพันธ์กับตัวแปรแวดล้อมหนึ่งตัวหรือมากกว่า เช่นจากอุณหภูมิหรือรังสีดวงอาทิตย์ การกำหนดเวลาการให้น้ำคำนวณโดยใช้ค่าความต้องการน้ำของพืชแบบเรียลไทม์ โดยใช้ข้อมูลแบบออนไลน์จากเซนเซอร์ การควบคุมแบบนี้จะใช้วิธีการประเมินค่าการปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration: ETc) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีการปรับโมเดลจากต้นแบบที่พัฒนาโดย Penman-Monteith (PM)[8] อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้โมเดลเหล่านี้ในเชิงพาณิชย์ ต้องมีการสอบเทียบค่าที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิด จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ระบบควบคุมการให้น้ำโดยการควบคุมโดยเซนเซอร์หรือการควบคุมแบบโมเดลนั้น ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาสำหรับงานที่ใช้ในระบบการเกษตรขนาดใหญ่ มีค่าใช้จ่ายสูง การติดตั้งใช้งานค่อนข้างซับซ้อน ผู้ใช้งานต้องมีความรู้ในการปรับแต่งระบบ มีค่าบำรุงรักษาทางเทคนิคสูง ฯลฯ ซึ่งหากพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อาจไม่เหมาะสมในการนำระบบดังกล่าวไปควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยในแบบน้ำหยดสำหรับการปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนขนาดเล็ก จากข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยดที่มีขนาดเล็กให้สามารถควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยดสำหรับการปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนได้อย่างแม่นยำ

วิธีการวิจัย

ความต้องการใช้น้ำและปุ๋ยของมะเขือเทศ

จากการทบทวนวรรณกรรม มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความต้องการใช้น้ำของมะเขือเทศสำหรับระบบน้ำหยดหลากหลายรูปแบบ งานวิจัยของ Lee และ Shin[9] ได้สำรวจระบบการจัดการแบบน้ำหยดที่เหมาะสมของการปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนโดยอาศัยข้อมูลทางชีวภาพของพืช พบว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสะท้อนถึงสถานะของน้ำของมะเขือเทศซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดเวลาการให้น้ำได้ อย่างไรก็ตามความต้องการน้ำของมะเขือเทศในหลายพื้นที่ อาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับฤดูกาลและ ช่วงระยะการโตของมะเขือเทศและขนาดของแปลงปลูกในโรงเรือน งานวิจัยของ Soria และ Cuartero[10] เปิดเผยว่าการบริโภคน้ำของมะเขือเทศที่ทดลองในเนเธอร์แลนด์อยู่ในช่วง 0.19 ถึง 1.03 ลิตร/ต้น/วัน ที่ค่าความเค็มต่างกัน หรือในหนังสือของ Snyder[11] อธิบายว่ามะเขือเทศที่กำลังย้ายแปลงปลูกมีความต้องการน้ำเพียง 0.05 ลิตร/ต้น/วันเท่านั้น แต่ในวันที่แดดจัดมะเขือเทศต้องการน้ำถึง 2.7 ลิตร/ต้น/วัน ซึ่งโดยทั่วไปมะเขือเทศต้องการน้ำประมาณ 1.81 ลิตร/ต้น/วัน ก็เพียงพอสำหรับมะเขือเทศที่กำลังโตหรือโตเต็มที่ สำหรับการให้น้ำมะเขือเทศที่ปลูกในโรงเรือนประเทศอินเดียนั้น Tiwari[12] แนะนำว่าควรให้ปริมาณน้ำที่ต่างกันตามการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ซึ่งอยู่ในช่วง 0.89-2.31 ลิตร/ต้น/วัน โดยการให้น้ำทุกวัน

Harmanto และคณะ[8] เสนองานวิจัยเกี่ยวกับความต้องการน้ำในระบบน้ำหยดที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศภายในโรงเรือนที่มีสภาพแวดล้อมในเขตร้อน โดยการทดลองให้น้ำระบบน้ำหยด 4 ระดับแตกต่างกันคือ 100, 75, 50 และ 25% ของปริมาณการใช้น้ำของพืช ตามวิธี Penman-Monteith (PM) เพื่อทดสอบผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลผลผลิต และการใช้น้ำ โดยทดลองกับมะเขือเทศสายพันธุ์ Troy 489 ซึ่งเป็นชนิดมะเขือเทศเชอรี่ ทดลองปลูกในกระถางทรงกลมที่มีพื้นที่ 706.5 cm^2 โดยทำการเพาะกล้า 30 วัน ก่อนที่จะนำไปปลูกในกระถาง ผลการทดลองพบว่าค่าความต้องการใช้น้ำที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศ มีค่าประมาณ 75% ของปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งระดับน้ำที่มะเขือเทศต้องการที่แนะนำควรอยู่ระหว่าง 4.1–5.6 มม./วัน หรือเทียบเท่ากับ 0.3–0.4 ลิตร/ต้น/วัน

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับการให้น้ำและปุ๋ยแบบน้ำหยด Papadopoulos และคณะ[13] ทดลองให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม ลงในการปลูกมะเขือและมะเขือเทศ พบว่าได้ผลผลิตพืชต่อหน่วยสูงขึ้นและคุณภาพดีขึ้น งานวิจัยของภาณุมาศ และคณะ[14] ได้ศึกษาผลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH154 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร โดยใช้สูตรของ Jensen และ Malter[15] พบว่าต้นมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH154 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน

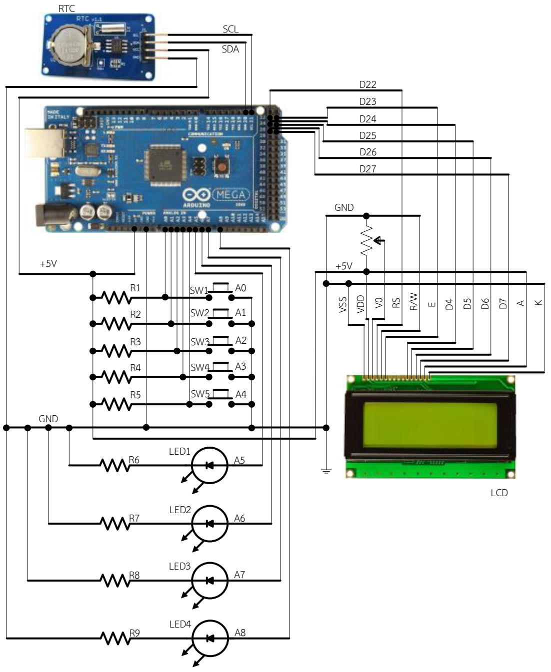
162 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของโพแทสเซียม 299 มิลลิกรัมต่อลิตรมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด

ระบบควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยด

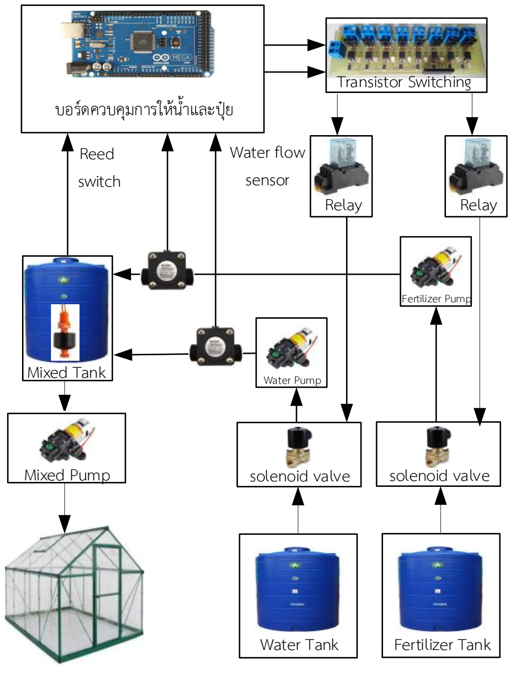
การพัฒนาระบบควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น พันธุ์พืช การเจริญเติบโตในแต่ละช่วงเวลา สภาพแวดล้อม ฯลฯ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ใช้การอ้างอิงฐานเวลาที่สามารถกำหนดช่วงเวลาในการให้น้ำและใช้วิธีการประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชเพื่อควบคุมปริมาณการให้น้ำและปุ๋ย ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมได้แก่ เวลาในการทำงานของระบบ (Operation time) และปริมาณการใช้น้ำของพืชและปุ๋ยในแต่ละช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช

โครงสร้างระบบควบคุม

การออกแบบการทำงานด้านฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก แสดงได้ดังวงจร Figure 1 (a) การทำงานประกอบด้วยบอร์ดประมวลผล Arduino Mega 2560 ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ 1) สวิตซ์ SW1-SW5 ทำหน้าที่รับค่าความต้องการจากผู้ใช้ 2) LED1-LED4 ทำหน้าที่แสดงสถานะในการทำงาน 3) จอแสดงผล LCD ใช้ในการแสดงข้อมูลการทำงานของระบบ 4) Real-Time Clock (RTC) ทำหน้าที่เป็นฐานเวลาเพื่อกำหนดเวลาที่ใช้อ้างอิงการในทำงานของระบบ



(a)



(b)

Figure 1 Structure of control system

(a) Circuit diagram of drip irrigation system controller (b) Electrical equipment connected to irrigation control system

ในการควบคุมการทำงานของการให้น้ำและปุ๋ยนั้น ระบบควบคุมจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ แสดงดัง Figure 1(b) ประกอบด้วยถังน้ำ (water tank) ขนาด 1,000 ลิตร และถังปุ๋ย (fertilizer tank) ขนาด 200 ลิตร เชื่อมต่อกับปั๊มไดอะแฟรม DC 12V ถังละ 1 ตัว อัตราไหล 4 ลิตร/นาที และถังผสม (mixed tank) ขนาด 500 ลิตร เชื่อมต่อกับปั๊มไดอะแฟรม DC 12V อัตราไหล 7 ลิตร/นาที การทำงานของระบบควบคุมจะใช้เซนเซอร์วัดการไหลของน้ำที่มีย่านการทำงาน 1-30 ลิตร/นาที เพื่อวัดและควบคุมปริมาณน้ำและปุ๋ยให้ได้ตามต้องการ ในส่วนของปั๊มที่ต่อกับถังผสมใช้สำหรับดูดน้ำและปุ๋ยจากถังผสมไปยังโรงเรือนปลูกพืช โดยมีโซลินอยวาล์ว และสวิตซ์แม่เหล็ก เป็นตัวควบคุมการทำงาน

การพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาซอฟต์แวร์ แสดงดังโฟลว์ชาร์ต Figure 2 มีรายละเอียดการทำงาน ดังนี้

1) เริ่มต้นการทำงาน ระบบทำการเก็บข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

2) รับค่าเวลาจาก RTC เพื่อกำหนดวันเวลาที่ใช้อ้างอิงในการทำงาน

3) ตรวจสอบการกดสวิตซ์เพื่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการเริ่มต้นการทำงาน โดยหากมีการกดสวิตซ์ระบบจะให้ผู้ใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ทำสำคัญ ได้แก่ ระยะเวลาหรือช่วงของในการให้น้ำและปุ๋ย และความถี่ในการให้น้ำในแต่ละวัน

4) ตรวจสอบการกดสวิตซ์เพื่อยืนยันการทำงานเพื่อยืนยันการทำงาน โดยหากมีการกดสวิตซ์ระบบจะเริ่มต้นทำงาน

5) เมื่อเริ่มต้นทำงาน ระบบจะทำการเปรียบเทียบเวลาระหว่างค่าเวลาที่ตั้งไว้กับ RTC โดยเมื่อถึงกำหนดเวลาการให้น้ำพืช ระบบจะทำการตรวจสอบวันที่และระยะการเจริญเติบโตของพืช (crop stage) เพื่อนำข้อมูลความต้องการน้ำของมะเขือเทศจาก มาคำนวณปริมาณการให้น้ำพืชแต่ละครั้ง จากนั้นจึงสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อนำน้ำไปยังถังผสมและใช้เซนเซอร์วัดการไหลของน้ำ (water flow sensor) เป็นตัวควบคุมการทำงานของปั๊มให้ได้ปริมาณน้ำตามต้องการ

6) จากนั้นระบบจะตรวจสอบว่ามีการให้ปุ๋ยในระบบน้ำด้วยหรือไม่ หากถึงเวลาที่ต้องใส่ปุ๋ยระบบจะทำการปั๊มปุ๋ยไปใส่ในถังผสมและมีการควบคุมเช่นเดียวกับข้อ 5

7) เมื่อน้ำและปุ๋ยถูกปั๊มไปยังถังผสมเรียบร้อยแล้ว ระบบจะสั่งให้จ่ายน้ำและปุ๋ยจากถังผสมไปยังโรงเรือนปลูกพืชจนเสร็จสิ้น จากนั้นจึงวนกลับไปเพื่อรอเวลาการให้น้ำในครั้งถัดไป

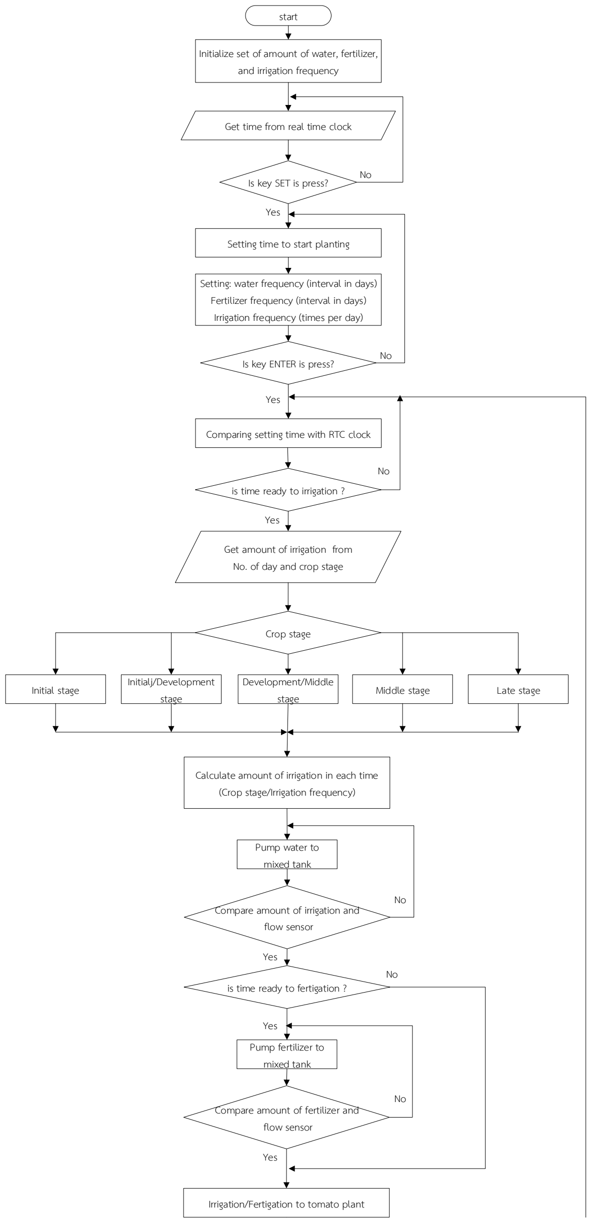


Figure 2 Flowchart for drip irrigation system

การทดลอง

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 แฟกทอเรียล ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทดลองจำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 4 ต้น สนใจศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ ความถี่ของการให้น้ำและความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำต่ออัตราการเจริญเติบโต ของมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH154 การจัดทรีตเมนต์ประกอบด้วย ความถี่ของการให้น้ำ (1 วัน และ 2 วัน) และความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำ (2 วัน 4 วัน และ 6 วัน)

วิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลอง ณ ตำบลเต่างอย อำเภอเต่างอย จังหวัดสกลนคร ตั้งแต่วันที่ 17 ต.ค. 2560 ถึง 21 มี.ค. 2561 ทำการเพาะเมล็ดมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH154 ในถาดเพาะกล้า โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก รดน้ำให้ชุ่มวันละ 1 ครั้ง เมื่อต้นกล้ามีอายุครบ 30 วัน จึงทำการย้ายต้นกล้าจำนวน 288 ต้นไปปลูกในโรงเรือนเพาะปลูกพืชขนาด 6 x 20 เมตร โดยปลูกในกระถางทรงกลมขนาด 12 นิ้ว ใช้วัสดุปลูกเป็นส่วนผสมของขุยมะพร้าวและกาบมะพร้าวสับในอัตราส่วน 1:1 โดยมะเขือเทศปลูกในกระถางที่เป็นอิสระจากกัน

การติดตั้งระบบ

การติดตั้งระบบควบคุมแบบน้ำหยดแสดงดัง Figure 3 โดยใช้ท่อแอลดีพีอี (LDPE) ขนาด 20 มม. เป็นท่อแขนงจำนวน 3 แถว โดยแต่ละแถวมีกระถางทรงกลมขนาด 12 นิ้ว วางเรียงต่อกันทั้งสองด้านของท่อ กำหนดระยะห่างระหว่างกระถาง 40 ซม. สามารถวางกระถางได้ด้านละ 48 ใบ รวมทั้งสองด้านเป็นแถวละ 96 ใบ ใช้ขาปักน้ำหยดขนาด 3 มม. เชื่อมต่อจากท่อไมโครพีวีซี (MT/PVC) ไปยังกระถางละ 1 จุด ทำการปลูกมะเขือเทศกระถางละ 1 ต้น รวมทั้งสิ้น 288 ต้น

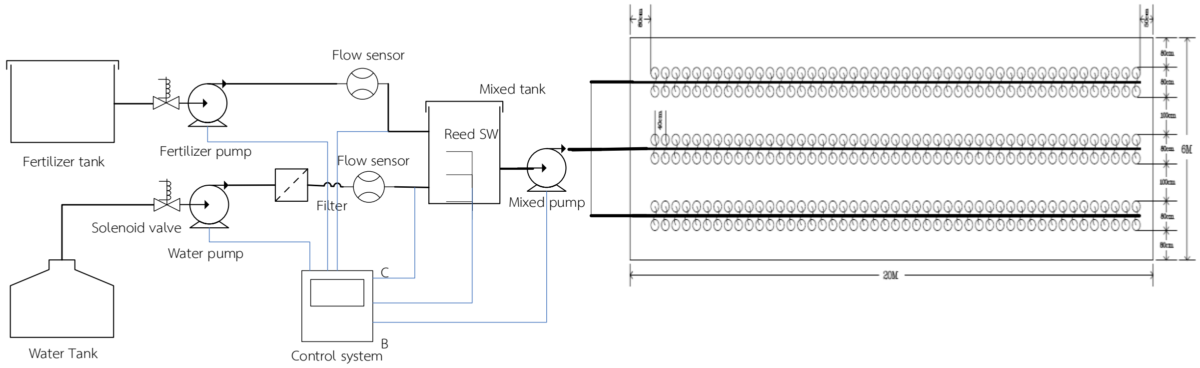


Figure 3 Schematic diagram of drip irrigated tomato in greenhouse

วิธีการให้น้ำและปุ๋ยในระบบน้ำหยด

งานวิจัยนี้ได้เลือกงานวิจัยของ Harmanto และคณะ[8] มาใช้อ้างอิงปริมาณความต้องการน้ำในแต่ช่วงการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ แสดงดัง Table 1 ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับความต้องการน้ำในระบบน้ำหยดที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศสายพันธุ์ Troy 489 ภายในโรงเรือนที่มีสภาพแวดล้อมในเขตร้อน ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองได้ปลูกมะเขือเทศในเขตร้อนและใช้มะเขือเทศพันธุ์ CH154 ซึ่งเป็นมะเขือเทศพันธุ์เชอรี่เช่นเดียวกัน โดยการกำหนดปริมาณการให้น้ำที่ค่า 75% ของปริมาณการใช้น้ำของพืช ในส่วนการให้ปุ๋ยในระบบน้ำหยดใช้สูตรของ Jensen และ Malter[15] เป็นสูตรที่นิยมใช้สำหรับการปลูกมะเขือเทศที่ให้การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง

Table 1 Water requirement of drip irrigated tomato plants

No.	No. of days	Crop stage	Amount of irrigation	
			(l/plant/day)	(l/plant)
1	1	Initial	0.08	0.08
2	8	Initial	0.08	0.61
3	10	Initial	0.08	0.8
4	10	Initial/Development	0.11	1.05
5	11	Development	0.16	1.76
6	10	Development	0.28	2.81
7	10	Development/Middle	0.35	3.52
8	10	Middle	0.37	3.70
9	10	Middle	0.39	3.86
10	10	Middle	0.39	3.86
11	11	Middle/Late	0.38	4.20
12	10	Late	0.30	3.03
13	10	Late	0.27	2.72
14	4	Late	0.25	1.00
Total	125	-	-	33.00

ผลการวิจัย

ความแม่นยำในการควบคุมปริมาณและเวลาในการให้น้ำและปุ๋ย

การวัดความแม่นยำ (accuracy) ของระบบควบคุมจะใช้วิธีการอ่านค่าปริมาณน้ำและปุ๋ยจากเซนเซอร์วัดการไหลของน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตเพื่อวัดปริมาณการให้น้ำ แสดงดัง Table 2 โดยปริมาณการให้น้ำมะเขือเทศระยะ 1–40 วัน มีการให้น้ำระหว่าง 4.61–9.22 ลิตรต่อครั้งพบค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่าง 0.16–0.26 และการให้น้ำมะเขือเทศระยะ 41–125 วัน มีการให้น้ำระหว่าง 14.40–22.33 ลิตรต่อครั้ง พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่าง 0.03–0.13 ทั้งนี้จะเห็นว่าปริมาณน้ำสะสมรวมที่จ่ายโดยระบบควบคุมมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำรวมที่มะเขือเทศต้องการ 665.91 ลิตร หรือมีความคลาดเคลื่อน 7.01 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนการวัดความแม่นยำด้านเวลาในการให้น้ำใช้วิธีตรวจสอบโดยเก็บข้อมูลการทำงานแต่ละครั้งเปรียบเทียบกับ RTC เพื่อนำมาตรวจสอบเวลาและความถี่ในการให้น้ำ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจำนวน 125 วัน พบว่าระบบสามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยได้อย่างแม่นยำโดยไม่มีความผิดพลาด

Table 2 Water applied of drip irrigation system

Month	No. of days	Crop stage	Amount of irrigation (288 plants)			Irrigation control system
			(l/288 plants/5 times)	(l/288 plants/day)	Water added (l)	Water added (l)
November, 17	1	Initial	4.61	23.04	23.04	29.10
November, 25	8	Initial	4.39	21.96	175.68	203.82
December, 5	10	Initial	4.61	23.04	230.40	290.00
December, 15	10	Initial/Development	6.05	30.24	302.40	376.69
December, 26	11	Development	9.22	46.08	506.88	587.79
January, 5	10	Development	16.19	80.93	809.28	830.94
January, 15	10	Development/Middle	20.28	101.38	1,013.76	1,040.59
January, 25	10	Middle	21.31	106.56	1,065.60	1,094.60
February, 4	10	Middle	22.23	111.17	1,111.68	1,140.08
February, 14	10	Middle	22.23	111.17	1,111.68	1,243.08
February, 25	11	Middle/Late	21.99	109.96	1,209.60	1,250.75
March, 7	10	Late	17.45	87.26	872.64	877.55
March, 17	10	Late	15.67	78.34	783.36	879.36
March, 21	4	Late	14.40	72.00	288.00	325.56
Total	125	Late	-	9,504.00	9,504.00	10,169.91

ผลการเจริญเติบโตและระยะเวลาการผลิต

ผลการทดลองการเจริญเติบโตด้านความสูงต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น แสดงได้ดัง Table 3 Figure 4 และ Figure 5 ตามลำดับ โดยทำการวัดในช่วงการเจริญเติบโตที่อายุ 49 วัน หลังจากการย้ายต้นกล้าไปปลูกในโรงเรือน ซึ่งเป็นระยะที่มะเขือเทศกำลังพัฒนาลำต้นก่อนออกดอกและผล ผลการทดลองพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการให้น้ำและความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำต่อความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของมะเขือเทศ จากการทดลองวัดความสูงต้น โดยทำการวัดจากผิวดินไปจนถึงยอดสูงสุด พบว่าความสูงของต้นเฉลี่ยคือ 153.17 ซม. ความสูงของต้นสูงที่สุดคือ 181.50 ซม. และความสูงของต้นต่ำที่สุดคือ 137.25 ซม. ส่วนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นบริเวณส่วนเหนือโคนต้น 10 ซม. พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นเฉลี่ยคือ 8.22 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นสูงที่สุดคือ 9 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นต่ำที่สุดคือ 7.29 มม.

ด้านผลผลิตจากการทดลองมะเขือเทศเริ่มออกดอกที่อายุ 55 วัน และออกดอกครบทุกต้นเมื่ออายุ 75 วัน โดยที่มะเขือเทศเริ่มออกผลและสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 100 วันเป็นต้นไป ด้านผลผลิตของมะเขือเทศ พบว่าจำนวนผลต่อต้นและน้ำหนักผลผลิตต่อต้นสูงสุด คือ 396 ผล และ 4,027 กรัมตามลำดับ ส่วนด้านคุณภาพของมะเขือเทศ พบว่าน้ำหนักต่อผล ความกว้างของผล ความยาวของผล และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด คือ 10.85 กรัม 22.10 มม. 40.50 มม. และ 9.82 องศาบริกซ์ตามลำดับ

Table 3 Height and stemdiameter of cherry tomato (CH154) as effected by different treatment combination

Treatment	Height (cm)	Stem diameter (mm)
Irrigation (days)		
1	161.19	8.36
2	156.27	8.07
F–test	ns	ns
Fertilizer (days)		
2	166.78	7.98
4	155.75	8.32
6	153.66	8.34
F–test	ns	ns
Irrigation*Fertilizer	ns	ns
C.V.(%)	7.5	6.0

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

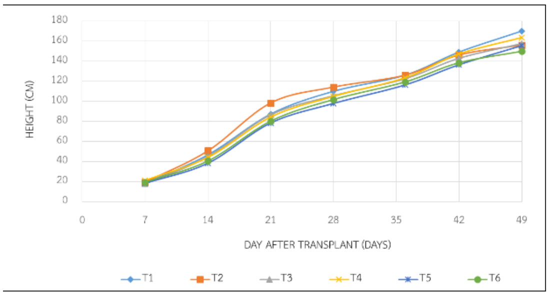


Figure 4 High of cherry tomato cv. CH154

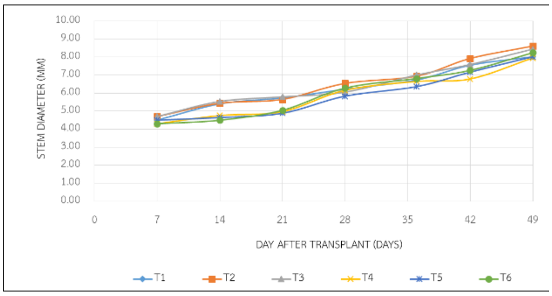


Figure 5 Stem diameter of cherry tomato

(a) (b) (c) (d)

Figure 6 Crop stage of tomatoes (a) Seedling (b) Initial stage (c) Developmentt/Middle stage (d) Late stage

วิจารณ์และสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบควบคุมการจัดการน้ำแบบน้ำหยดโดยวิธีการควบคุมด้วยเวลาและปริมาณการใช้น้ำของพืช จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาณการให้น้ำมะเขือเทศจะแปรผกผันกับปริมาณน้ำที่ให้มะเขือเทศ ซึ่งจากการทดลองให้น้ำระหว่าง 4.61–9.22 ลิตร พบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง 16–26 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การให้น้ำระหว่าง 14.40–22.33 ลิตร พบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง 3–13 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปัญหาที่พบส่วนใหญ่เกิดจากความละเอียดในการอ่านค่าของเซนเซอร์วัดการไหลของน้ำ ในส่วนปริมาณน้ำสะสมรวมที่จ่ายโดยระบบควบคุมมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำรวมที่มะเขือเทศต้องการ 665.91 ลิตร หรือมีความคลาดเคลื่อน 7.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีสาเหตุจากความคลาดเคลื่อนในการทำงานของเซนเซอร์วัดการไหลของน้ำเช่นเดียวกัน ผลการวัดความแม่นยำด้านเวลาในการให้น้ำพบว่าระบบสามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยได้อย่างแม่นยำโดยไม่มีความผิดพลาด ซึ่งในการทดลองได้มีการสำรองข้อมูลไว้ในหน่วยความจำทำให้ระบบสามารถจดจำค่าที่ตั้งไว้ได้ เพื่อป้องกันในกรณีไฟฟ้าดับหรือไม่มีไฟฟ้าเลี้ยงวงจร ผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตและระยะเวลาผลผลิต พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการให้น้ำและความถี่ของการให้ปุ๋ยทางน้ำต่อความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของมะเขือเทศ ความสูงของต้นเฉลี่ย 153.17 ซม. และเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นเฉลี่ย 8.22 มม. ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตในแต่ละสัปดาห์ใกล้เคียงกับงานวิจัยของภาณุมาศ และคณะ[14] อย่างไรก็ตามในการทดลองพบการตายต้นของมะเขือเทศจำนวน 33 ต้น หรือ 11.46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนด้านผลผลิตของมะเขือเทศ เปรียบเทียบกับงานวิจัยของภาณุมาศ และคณะ[14] พบว่าผลผลิตที่ได้จากการทดลองมีค่าน้ำหนักสูงสุด ต่ำกว่างานวิจัยของภาณุมาศประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ ส่วนด้านคุณภาพของมะเขือเทศ พบว่าผลผลิตที่ได้จากการทดลองมีค่าน้ำหนักต่อผลและความกว้างของผลต่ำกว่างานวิจัยของภาณุมาศ และคณะ[14] อย่างไรก็ตามในด้านปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำพบว่ามีค่าสูงกว่าประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์

สำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป สนใจพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้เซนเซอร์ต่างๆ มาช่วยในการควบคุม เช่น เซนเซอร์วัดความชื้น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ฯลฯ พร้อมทั้งออกแบบการทำงานให้ระบบควบคุมมีความแม่นยำ น่าเชื่อถือ และมีระบบการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ในกรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. วันชัย คุปวานิชพงษ์. เอกสารประกอบคำบรรยายเรื่อง การออกแบบระบบให้น้ำผ่านท่อในงานวิจัยเกษตรวิศวกรรม. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม; 2555
2. Barbieri GM, A. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries, Principles for Mediterranean climate areas; 2013.
3. มนตรี ค้ำชู. เทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืชแบบองค์รวม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.
4. Clark G, Stanley C, Maynard D, Hochmuth G, Hanlon E, Haman D. Water and fertilizer management of micro irrigated fresh market tomatoes. Transactions of the ASAE. 1991; 34(2): 429-435.
5. Papadopoulos I, Ristimäki LM, editors. Nitrogen and phosphorus fertigation of tomato and eggplant. XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications; 1998.
6. Baudoin W, Nono-Womdim R, Lutaladio N, Hodder A, Castilla N, Leonardi C, et al. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for mediterranean climate areas. FAO plant production and protection paper (FAO); 2013.
7. M.E. J. Design and Operation of Farm Irrigation Systems; 1980.
8. Harmanto, Salokhe VM, Babel MS, Tantau HJ. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. Agricultural Water Management. 2005; 71(3):225-42.
9. Lee BW, Shin, J.H. Optimal irrigation management system of greenhouse tomato based on stem diameter and transpiration monitoring. Suwon, Korea: Agricultural Information Technology in Asia and Oceania, The Asian Federation for Information Technology in Agriculture. 1998.
10. Soria T, Cuartero J, editors. Tomato fruit yield and water consumption with salty water irrigation. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium. ; 1998.
11. Snyder RG. Greenhouse Tomato Handbook: Mississippi State University, Cooperative Extension Service,

USA; 1992.
12. Tiwari G. Greenhouse Technology for Controlled Environment; 2003.
13. Papadopoulos I, Ristimäki LM, editors. Nitrogen and phosphorus fertigation of tomato and eggplant. XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications. ; 1998.
14. ภาณุมาศ โคตรพงษ์, ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, อรุณศิริ กำลัง และจันทร์จรัส วีรสาร. ผลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่ พันธุ์ CH154 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2003.
15. Jensen, M.H. and A.J. Malter. Protected Agriculture: A Global Review. World Bank, Washington. ;1995.
16. วิไล วณิชกิจเจริญกุล, มนูญ ศิรินุพงศ์ และ สุจริต ส่วนไพโรจน์. อิทธิพลของวัสดุปลูกอนินทรีย์และอินทรียวัตถุต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH 154 ปลูกโดยระบบกลับหัว. แก่นเกษตร. 2014 (ฉบับพิเศษ 3).