การพัฒนาต้นแบบระบบเฝ้าตรวจวัดสารละลายธาตุอาหารพืชในแปลงปลูกไฮโดรโปนิกส์ผ่านระบบสื่อสารไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz

Development of Nutrients Monitoring System Model for Hydroponic Plot through Wireless System at 2.4 GHz

นพดล สีสุข[1*] สุภาวดี สุพระมิตร[1] และเกรียงศักดิ์ พรมภักดิ์[1]

Received: August, 2015; Accepted: February, 2016

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบเฝ้าตรวจวัดสารละลายธาตุอาหารพืชแบบไร้สาย ซึ่งประกอบด้วยส่วนแรกชุดหัววัดสารอาหารพืชที่สร้างขึ้นจากตัวนำไฟฟ้าที่นำไฟฟ้าได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยา และไม่ก่อให้เกิดสนิมเมื่อสัมผัสกับสารอาหารพืช ซึ่งคุณสมบัตินี้ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดในการวัดลดลง ส่วนที่สองแหล่งจ่ายสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ที่ช่วยป้องกันการเกาะของเกลือบริเวณหน้าสัมผัสของตัวนำไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชมีความแม่นยำสูง ส่วนที่สามวงจรขยายสัญญาณและปรับแต่งสัญญาณ โดยในส่วนนี้ทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสมก่อนส่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายลูกข่าย เพื่อส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และส่วนสุดท้ายระบบประมวลผลข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยผลการทดสอบเผยให้เห็นว่าระบบรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลสุด 300 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 200 x 200 ตารางเมตร โดยไม่มีข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล และส่วนของผลการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่นำเสนอ ค่าการวัดมีความผิดพลาดในการวัดที่ 0.1 mS/cm

คำสำคัญ : สารอาหาร; ไฮโดรโปนิกส์; ระบบสื่อสารไร้สาย

[1] *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก*

[*] *Corresponding Author E - mail Address: noppadon_su@hotmail.com*

Abstract

The development of wireless monitoring system to measure the nutrient for plant was the propose of this study. The study consists of three parts. The first part, the sensor, has conductive properties, non-reaction and without rusting. It conducts nutrient in its design. Therefore, these properties affects the fallibility to decrease. The second part is the power supply for the sensor. In order to protect conduction of salt, the sine wave was used in this research. Thus, the volumes obtained from measurement have high accuracy. The third part was amplifier and signal conditioning circuits. These are appropriate signal conditioning through the microcontroller which connects to client wireless network module and process data in computer at the final part. It is data processing system of the computer server. The experimental results revealed that the wireless network communication could extremely transmit of data at 300 meters and coverge of 200 x 200 square meters of area. In addition, the system has non-error and 0.1 mS/cm of error in nutrient measurement.

Keywords: Nutrients; Hydroponics; Wireless System

บทนำ

ไฮโดรโปนิกส์ เป็นทางเลือกหนึ่งของการปลูกพืชให้มีคุณภาพ มีความสม่ำเสมอและให้ผลผลิตสูงในเวลาที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกพืชแบบเดิม ซึ่งสามารถวางแผนการปลูก และกำหนดปริมาณการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายหรือความต้องการของตลาดได้ดี เนื่องจากสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ให้แก่พืชได้อย่างเหมาะสม ส่งผลทำให้ปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้แล้วการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ยังประหยัดพื้นที่ในการเพาะปลูกและไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีที่อยู่ในดิน

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ คือสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมและสารละลายธาตุอาหารที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต และเนื่องจากการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์นั้นพืชสามารถนำสารละลายธาตุอาหารพืชไปใช้ได้ทันที ด้วยเหตุนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืชอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น หัววัดสารอาหารและระบบเฝ้าตรวจวัดที่ดีจึงเป็นองค์ประกอบที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้วิจัยพยายามเสนอแนวคิดในการออกแบบหัววัดและระบบเฝ้าตรวจวัด เช่น [1] ได้ทำการออกแบบระบบควบคุมสารอาหารและน้ำแบบอัตโนมัติสำหรับแปลงปลูกไร้ดิน โดยการควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของน้ำในแปลงปลูก รวมไปถึงการควบคุมปริมาณน้ำในแปลงปลูกเพื่อเป็นการลดการใช้น้ำที่เกินความจำเป็น โดยใช้เซนเซอร์เป็นเครื่องมือในการวัดค่า อีกทั้งยังนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการประมวลผลอัตโนมัติ ซึ่งหากสามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดังกล่าวได้ ส่งผลให้

สามารถช่วยให้ประหยัดน้ำและทำให้พืชที่ปลูกเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ยังให้ผลผลิตได้เร็วกว่าปลูกแบบไม่มีระบบควบคุม ลดต้นทุน ลดภาระการทำงาน และลดการใช้ทรัพยากรน้ำในการปลูกพืชไร้ดินได้

[2] ได้สร้างชุดตรวจวัดสารอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมด้วยขั้วไฟฟ้าแบบเลือกไอออน อีกทั้งยังใช้เมมเบรนด์ในการวัดค่าโพแทสเซียมและไนโตรเจน จากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปคำนวณหาค่าสารอาหารที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการวัดค่า 2 จุด เมื่อสารอาหารมีค่าน้อยเกินไปก็จะทำการเติมสารอาหาร ตรงกันข้ามถ้าสารอาหารมีค่าสูงเกินไปก็ทำสารอาหารนั้นให้เจือจางในปริมาณที่เหมาะสมก่อนสั่งจ่ายให้กับพืชในแปลงปลูก โดยการควบคุมโซลีนอยล์วาล์ว รีเลย์ และมอเตอร์ ที่ใช้ในงานวิจัยด้วยระบบคอมพิวเตอร์

[3] ได้พัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์อัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในน้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ โดยในงานวิจัยนี้ค่าความเป็นกรดด่างจะถูกควบคุมอัตโนมัติโดยเซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดด่าง กล่าวคือ เมื่อเซนเซอร์อ่านค่าของน้ำที่มีสารอาหารแล้วจะทำการเก็บค่าความเป็นกรดด่างที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่พืชต้องใช้ในการเจริญเติบโต หากค่าความเป็นกรดและความเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงไป 0.312 และ 0.244 แล้วจะต้องมีการเติมสารละลายเพื่อให้ค่าความเป็นกรด และค่าความเป็นด่างเป็นไปตามค่าที่พืชต้องการ นอกจากนี้น้ำในถังจะรักษาระดับอยู่ต่อเนื่องด้วยวาล์ว Trigger ที่ควบคุมการไหลเข้าและออกของน้ำในถัง ซึ่งใช้การวัดระดับน้ำเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการรักษาระดับน้ำในถัง

[4] ได้พัฒนาชุดควบคุมการปลูกพืชในสารละลายไฮโดรโปนิกส์ ได้สร้างชุดควบคุมที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร รวมไปถึงระบบป้องกันเชื้อโรค พบว่า การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น อุณหภูมิ ปริมาณ และความเข้มข้นของสารละลายนั้น สามารถลดความยุ่งยากในการปลูก และยังสามารถลดภาระการทำงานได้เป็นอย่างดี

[5] ได้นำเสนอระบบวัดค่าความนำไฟฟ้าในสารละลายแบบออนไลน์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำแพลทินัมเป็นขั้วหัววัดและมีการส่งข้อมูลค่าที่ได้จากการวัดเข้ามาแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม และปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช และด้วยเหตุที่การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์นั้น ปัจจัยเกี่ยวกับปริมาณสารละลายธาตุอาหารมีความจำเป็นอย่างสูงต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาชุดหัววัด และระบบเฝ้าตรวจวัดสารละลายธาตุอาหารพืชแบบออนไลน์ที่ให้ค่าความแม่นยำในการวัดสูง โดยปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในงานวิจัยนี้จะควบคุมให้เป็นไปตามที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้แล้ว ระบบที่นำเสนอยังสามารถบันทึกและประมวลผลข้อมูลในคอมพิวเตอร์ได้แบบเวลาจริง และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในระบบปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ที่จำเป็นต้องมีการประมวลผลปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชทุกวัน เพื่อวางแผนในการให้สารอาหารพืชในรอบวันถัดไปได้อย่างแม่นยำ เช่น การปลูกแคนตาลูปในวัสดุปลูก เป็นต้น อีกทั้งระบบดังกล่าวยังสามารถเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนปลูกในรอบการปลูกถัดไป

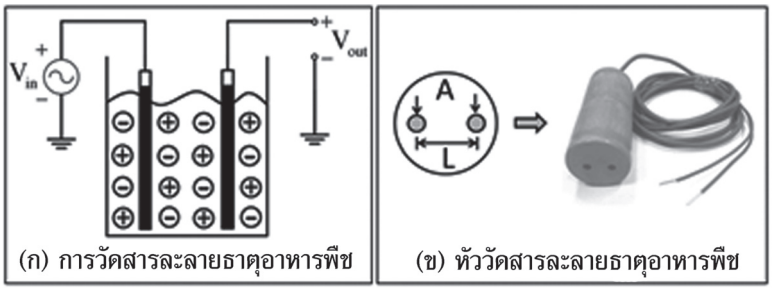
วัตถุประสงค์การวิจัย

การพัฒนาหัววัดและระบบเฝ้าตรวจวัดสารละลายธาตุอาหารในแปลงปลูกไฮโดรโปนิกส์ชนิดใช้วัสดุปลูก (Aggregate Hydroponics) ผ่านระบบสื่อสารไร้สายที่นำเสนอมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหัววัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช โดยใช้แท่งคาร์บอนเป็นวัสดุสำหรับทำขั้วไฟฟ้าในหัววัด เพราะแท่งคาร์บอนจะไม่ก่อเกิดสนิมที่หัววัดเมื่อหัววัดสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งสนิมนี้จะก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช นอกจากนั้นในงานวิจัยที่นำเสนอยังได้พัฒนาระบบเฝ้าตรวจวัดสารอาหารพืชที่มีการประมวลผลข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและพัฒนา

1. **การออกแบบและสร้างหัววัดสารอาหารพืช** การออกแบบหัววัดสารอาหารพืชที่ดี โครงสร้างภายในของหัววัดส่วนที่เป็นขั้วตัวนำไฟฟ้าที่สัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารพืช ต้องเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหารพืช และไม่ก่อให้เกิดสนิมขณะตัวนำสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารพืช เพราะเมื่อหัววัดเกิดสนิม จะส่งผลให้สนิมไปเคลือบที่ผิวของตัวนำ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัด ดังนั้น จากคุณสมบัติของหัววัดที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำเสนอหัววัดโดยเลือกใช้แท่งคาร์บอนเป็นตัวนำไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นหัววัดที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



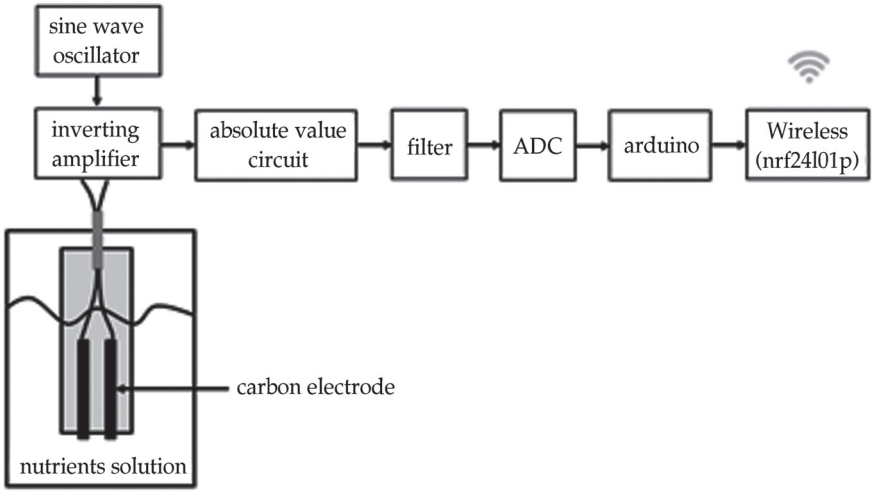
รูปที่ 1 การวัดและหัววัดสารอาหารพืชที่นำเสนอ

จากรูปที่ 1 การออกแบบหัววัดสารละลายธาตุอาหารพืช มีหลักการในการออกแบบดังสมการที่ (1)

$$Conductivity = \left(\frac{Electric\ \ Current}{Voltage}\right) \times \left(\frac{Length}{Area}\right) = \left(\frac{I}{V}\right) \times \left(\frac{L}{A}\right) \qquad (1)$$

โดยที่ *Electric Current (I)* คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งตัวนำ *Voltage (V)* คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแท่งตัวนำ *Length (L)* คือระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำ และ *Area (A)* คือพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำที่สัมผัสกับสารละลาย และเรียกอัตราส่วนระหว่าง *Length (L)* ต่อ *Area (A)* ว่าค่าคงที่

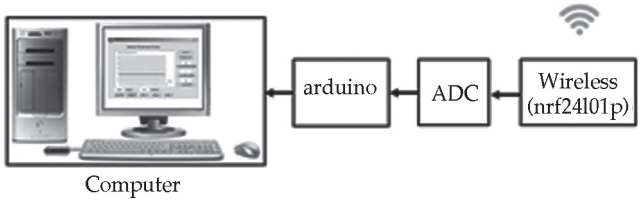
ของเซลล์ จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชจะแสดงได้ในรูปของค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งจะมีหน่วยในการวัดเป็น mS/cm ดังนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงได้ทำการออกแบบให้แท่งคาร์บอนที่ใช้เป็นแท่งตัวนำวางให้ได้ระยะห่าง 1 เซนติเมตร แล้วทำการยึดแท่งคาร์บอนด้วยสารคงรูป เพื่อให้แท่งคาร์บอนไม่เปลี่ยนตำแหน่งขณะที่นำไปใช้งาน



รูปที่ 2 ระบบเฝ้าตรวจวัดความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารพืชภาคส่งสัญญาณ

จากรูปที่ 2 แสดงระบบเฝ้าตรวจวัดสารอาหารพืชภาคส่งสัญญาณที่ได้ทำการออกแบบขึ้น โดยระบบประกอบไปด้วย ส่วนแรกวงจรให้กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ชนิดควอดราเจอร์ ซึ่งทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับหัววัดสารละลายธาตุอาหารพืช การเลือกใช้สัญญาณคลื่นรูปไซน์เพราะจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอิออนสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา อ้างอิงจากหนังสือ Handbook of HPLC - Chromatographic Science Series และเหตุที่ไม่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายให้กับหัววัดสารละลายธาตุอาหารพืชเพราะไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอิออนไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะบริเวณแท่งตัวนำจะมีปริมาณประจุมาเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุให้การวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชมีความแม่นยำต่ำ ส่วนที่สองหัววัดสารละลายธาตุอาหารพืช ส่วนที่สามวงจรขยายสัญญาณและปรับแต่งสัญญาณที่ประกอบไปด้วยวงจรขยายแบบกลับเฟส วงจรหาค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ และวงจรกรองความถี่ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งส่วนของวงจรขยายสัญญาณและปรับแต่งสัญญาณนี้จะทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสม ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารและส่งสัญญาณค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่วัดได้ ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายภาคส่งไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยโมดูลสื่อสารไร้สายที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย NRF24L01P ซึ่งจะรับส่งข้อมูลในย่านความถี่ 2.4 GHz ใช้กำลังงานในการรับส่งข้อมูล 60 mW และในงานวิจัยนี้มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลอยู่ที่อัตรา 9,600 บิตต่อวินาที

2. การออกแบบระบบเฝ้าตรวจวัดสารละลายธาตุอาหารพืชภาครับสัญญาณ



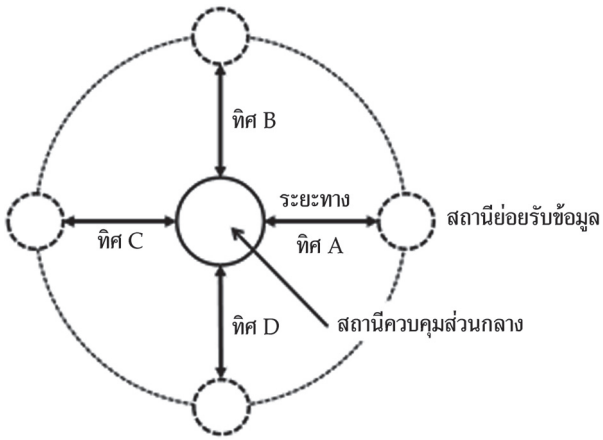
รูปที่ 3 ระบบเฝ้าตรวจวัดความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารพืชภาครับสัญญาณ

จากรูปที่ 3 ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่เชื่อมต่ออยู่กับโมดูลสื่อสารไร้สายภาครับ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่วัดได้จากภาคส่งข้อมูล เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะทำงานด้วยโปรแกรมประยุกต์ Visual Basic 6 ที่ออกแบบให้แสดงผล และประมวลผลค่าความเข้มข้นของสารอาหารพืชบนคอมพิวเตอร์แบบเวลาจริง นอกจากนี้ส่วนของโปรแกรมยังได้ออกแบบให้เชื่อมต่อกับโปรแกรม Microsoft Excel ที่ทำหน้าที่บันทึกค่าความเข้มข้นของสารอาหารพืชไว้ เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจของผู้ใช้งานสำหรับการให้ปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชในรอบวันถัดไป และเพื่อวางแผนการปลูกในรอบการปลูกถัดไปได้อย่างถูกต้อง

ผลการวิเคราะห์

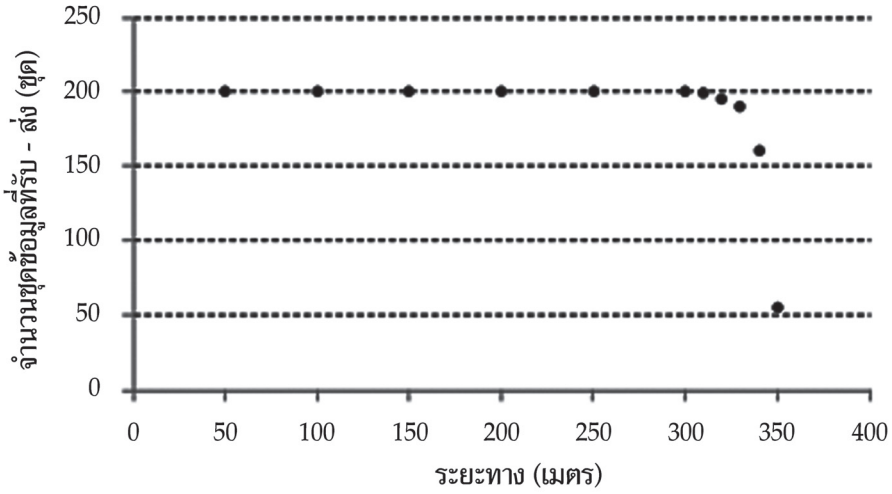
1. ผลการทดสอบพื้นที่ครอบคลุมการติดต่อ - สื่อสารข้อมูลไร้สาย

การออกแบบการทดสอบพื้นที่การส่งสัญญาณสื่อสารระหว่างภาคส่งและภาครับในที่บดบังได้ใช้วิธีการตรวจสอบการส่งข้อมูลรหัสไบนารี “1111 1111” หรือ “FFH” ในฐาน 16 ไปยังภาครับ จำนวน 200 ชุดข้อมูล และตรวจสอบข้อมูลที่รับได้ รูปที่ 4 แสดงวิธีการออกแบบพื้นที่การทดสอบด้วยการกำหนดให้ภาคส่ง (สถานีควบคุมส่วนกลาง) อยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและวัดระยะศูนย์กลางโดยรอบ 4 ทิศ ดังรูปที่ 4



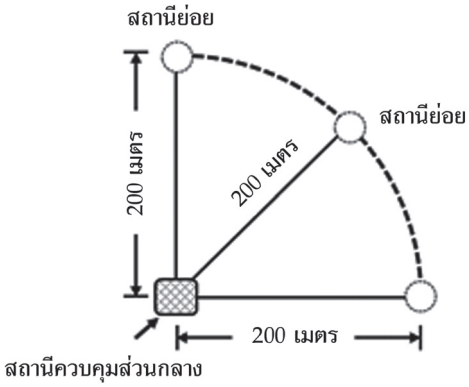
รูปที่ 4 แผนผังวัดระยะทางโดยรอบของการรับ – ส่งข้อมูลของภาคส่ง (สถานีควบคุมส่วนกลาง) กับภาครับ (สถานีย่อย)

จากรูปที่ 4 ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนตำแหน่งของสถานีย่อยไปตามจุดที่กำหนดแล้วทำการส่งข้อมูลตามวิธีที่กล่าวไปข้างต้น โดยทำการส่งข้อมูลไปจุดละ 200 ชุดข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลการรับส่งที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยการรับส่งข้อมูลของระบบโดยรวม ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการรับชุดข้อมูล "FFH"

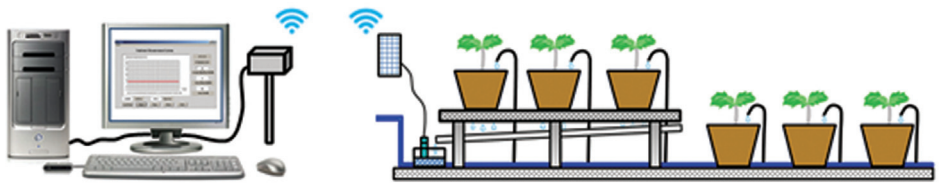
จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าสถานีควบคุมส่วนกลางสามารถติดต่อสื่อสารรับ – ส่งข้อมูลได้ไกลสุดในที่บดบังเป็นระยะทาง 300 เมตร โดยรอบไม่มีการรับ – ส่งข้อมูลที่ผิดพลาด และเมื่อระยะทางไกลมากกว่า 300 เมตร การติดต่อสื่อสารรับ – ส่งข้อมูลเริ่มผิดพลาดมากขึ้นตามระยะทาง ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบมาวิเคราะห์หาพื้นที่การติดต่อสื่อสารของสถานีควบคุมส่วนกลางกับสถานีย่อย จะได้ระยะทางไกลสุดที่ติดต่อสื่อสารโดยไม่ผิดพลาดอยู่ที่ 300 เมตร ดังนั้นจะมีพื้นที่ในการติดต่อสื่อสารที่ปลอดภัยและไม่ผิดพลาดในที่บดบังอยู่ที่ 200 X 200 ตารางเมตร ดังรูปที่ 6



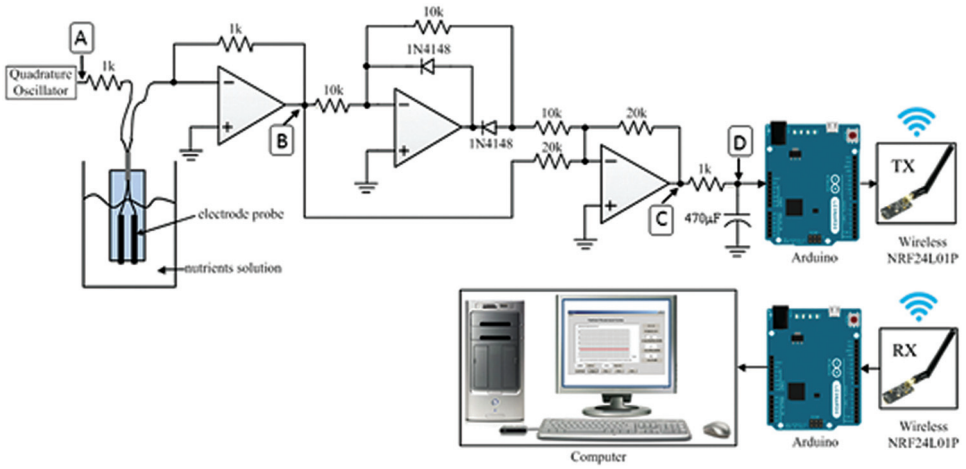
รูปที่ 6 พื้นที่การติดต่อสื่อสารรับ – ส่งข้อมูลในที่บดบังโดยไม่ผิดพลาด

2. ผลการทดสอบเครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าในสารละลายธาตุอาหารพืชที่นำเสนอ

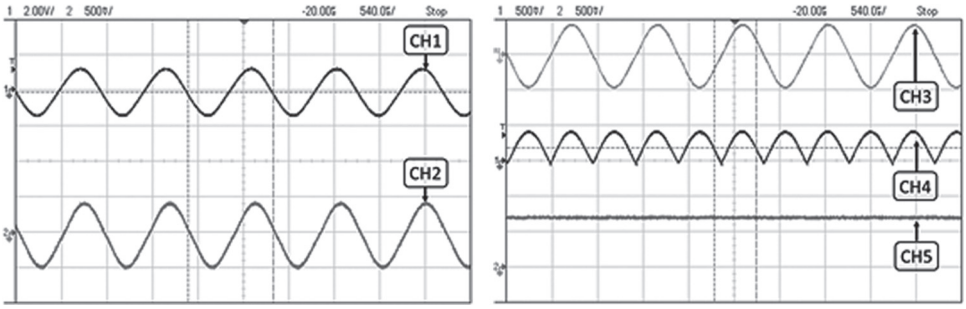
เริ่มจากการทดสอบวัดค่าความนำไฟฟ้าในสารอาหารพืช โดยการสอบเทียบเครื่องวัดค่านำไฟฟ้าดิจิทัล (Digital EC Conductivity Monitor Tester Meter Hydroponics 1990) กับสารละลายมาตรฐานในห้องปฏิบัติการทางเคมีก่อน หลังจากนั้นนำเครื่องวัดค่านำไฟฟ้าดิจิทัลที่ทำการสอบเทียบแล้วมาเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีค่าเริ่มต้นจาก 0.2 - 3.2 mS/cm เพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่นำเสนอ และในส่วนของวงจรกำเนิดแรงดันไฟฟ้าคลื่นรูปไซน์ที่ใช้ในงานวิจัยจะถูกกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าคลื่นรูปไซน์ที่ใช้มีขนาดแอมพลิจูด 1 V_{P_P} ความถี่ 1 kHz เป็นแหล่งจ่ายแรงดันอินพุตให้กับวงจรหัววัดสารอาหารละลายธาตุอาหารพืช โดยค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรจะแปรค่าตามความเข้มข้นของสารอาหารพืชที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรปรับแต่งสัญญาณ และประมวลผลสัญญาณก่อนที่จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับโมดูลสื่อสารไร้สายภาคส่ง จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังโมดูลสื่อสารไร้สายภาครับที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแปลงข้อมูลแรงดันไฟฟ้าไปเป็นค่าความเข้มข้นสารอาหารพืช โดยค่าความเข้มข้นของสารอาหารพืชที่ได้จะถูกเก็บบันทึกและแสดงผลแบบเวลาจริงที่คอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบที่ออกแบบและผลการทดสอบระบบแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 7 ระบบควบคุมสั่งการและเฝ้าตรวจวัดอัตโนมัติ

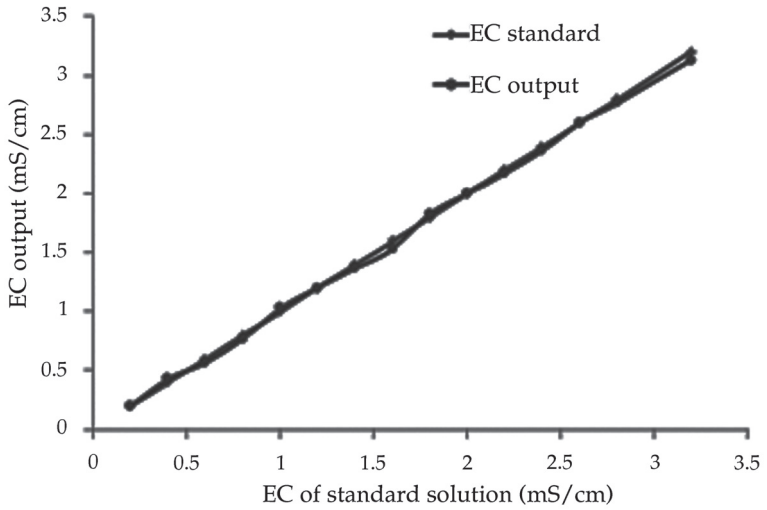


รูปที่ 8 ระบบเฝ้าตรวจวัดความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารพืชที่ออกแบบ



รูปที่ 9 ผลการทดสอบวงจรวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช

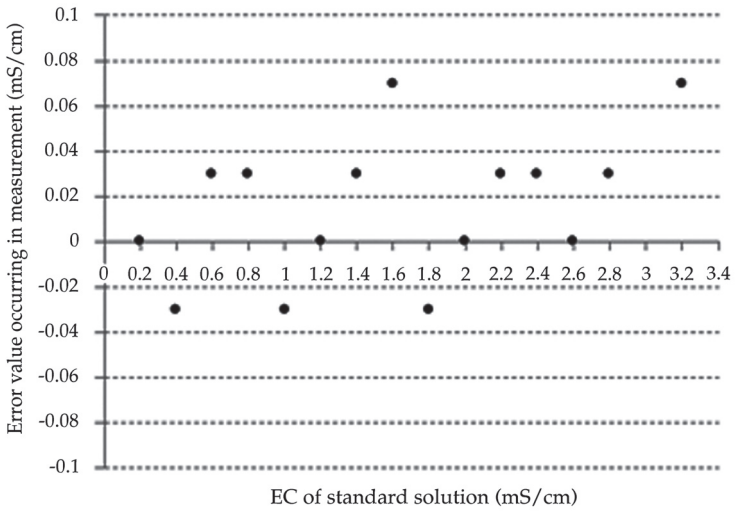
จากวงจรที่นำเสนอในรูปที่ 8 สามารถแสดงผลการทดสอบวงจรได้ดังรูปที่ 9 โดยที่ช่องสัญญาณ CH1 (A) คือสัญญาณเอาต์พุตคลื่นรูปไซน์ที่ผลิตจากวงจรกำเนิดคลื่นรูปไซน์ชนิดควอดราเจอร์ ซึ่งมีแอมพลิจูด 1 V_{P_P} ความถี่ 1 kHz ช่องสัญญาณ CH2 (B) และ CH3 (B) คือสัญญาณเอาต์พุตของวงจรวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช ช่องสัญญาณ CH4 (C) คือเอาต์พุตของวงจรหาค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ และช่องสัญญาณ CH5 (D) คือเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งสัญญาณในช่องสัญญาณ CH5 นี้จะถูกส่งผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) และโมดูลสื่อสารไร้สาย (nrf24l01p) ภาคส่งสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณดังกล่าวไปประมวณผลในคอมพิวเตอร์ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลการทดสอบเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช

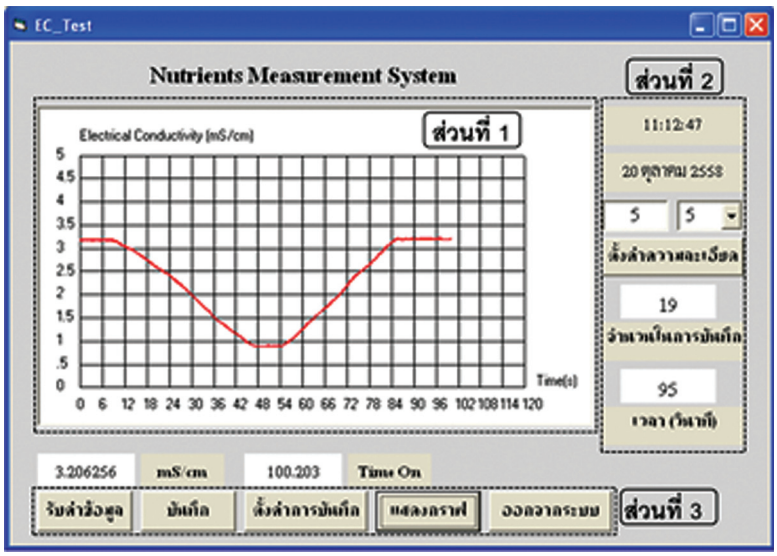
จากรูปที่ 10 จะเป็นการทดสอบวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่นำเสนอ โดยมีการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง ทุกค่าความเข้มข้นแล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละความเข้มข้นออกมา ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่นำเสนอมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ อีกทั้งหัววัดที่ทำการออกแบบยังสามารถ

สัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารพืชได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 11



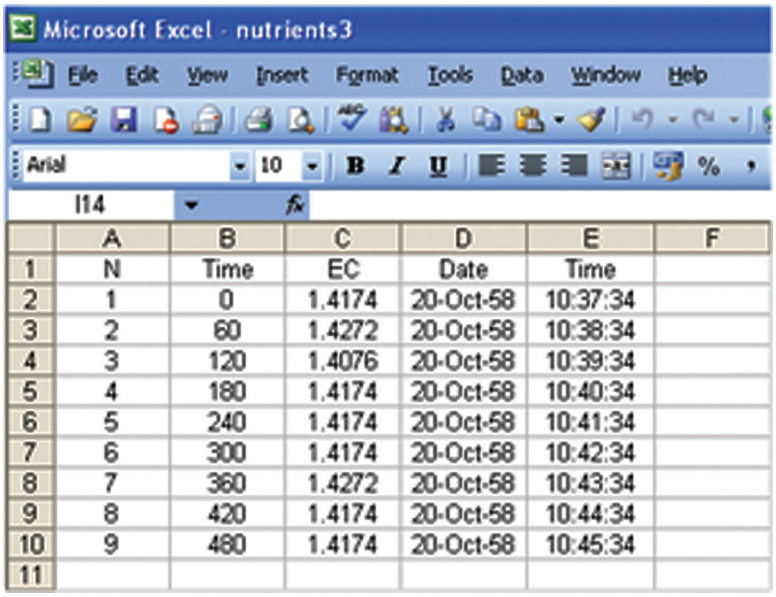
รูปที่ 11 ผลการทดสอบเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช

จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบที่นำเสนออยู่ในช่วง 0.1 mS/cm ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ของการใช้งาน อ้างอิงจากหนังสือ การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งจะบอกถึงช่วงของค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชของพืชแต่ละชนิดที่ใช้ในการเจริญเติบโต และส่วนของหน้าจอแสดงผลบนคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 หน้าจอแสดงการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช

จากรูปที่ 12 เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชในช่วงเวลา 95 วินาที เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ตามเวลาจริง ขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายธาตุพืชมีการเปลี่ยนแปลง และจากรูปประกอบไปด้วยสามส่วนหลักด้วยกัน คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของกราฟแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชเทียบกับเวลาจริง ขณะที่ทำการวัด ซึ่งในส่วนนี้สามารถเรียกดูกราฟรวมทั้งหมดตลอดช่วงการวัดเพื่อนำมาดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชได้ ส่วนที่ 2 ส่วนของการตั้งค่าเวลาในการบันทึก ซึ่งในส่วนของการตั้งค่าเวลานี้สามารถตั้งค่าเวลาได้ตั้งแต่ 1 นาที ถึง 15 นาที และในส่วนนี้จะแสดงค่าวันที่ เวลา และจำนวนครั้งในการบันทึก ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าที่บันทึกในโปรแกรม Microsoft Excel ด้วย ส่วนที่ 3 จะเป็นส่วนของการรับค่าข้อมูลและตั้งค่าต่าง ๆ ของโปรแกรม จากรูปจะเป็นการทดสอบโดยการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชเข้มข้น 3.2 mS/cm แล้วเริ่มเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นเมื่อค่าความเข้มข้นถึงจุดต่ำสุด ก็เริ่มเติมสารละลายเข้นข้นลงไป ซึ่งจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 12 และส่วนของตารางบันทึกค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช แสดงดังรูปที่ 13



	A	B	C	D	E	F
1	N	Time	EC	Date	Time	
2	1	0	1.4174	20-Oct-58	10:37:34	
3	2	60	1.4272	20-Oct-58	10:38:34	
4	3	120	1.4076	20-Oct-58	10:39:34	
5	4	180	1.4174	20-Oct-58	10:40:34	
6	5	240	1.4174	20-Oct-58	10:41:34	
7	6	300	1.4174	20-Oct-58	10:42:34	
8	7	360	1.4272	20-Oct-58	10:43:34	
9	8	420	1.4174	20-Oct-58	10:44:34	
10	9	480	1.4174	20-Oct-58	10:45:34	
11						

รูปที่ 13 ผลการบันทึกค่าสารอาหารพืชใน Microsoft Excel

จากรูปที่ 13 ตารางบันทึกผลการทดลอง จะแสดงค่าข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ คือ ค่าจำนวนครั้งในการบันทึกค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่ได้จากการวัด ค่าเวลาที่วันเทียบกับเวลาจริง และค่าวันที่ที่ทำการวัด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในการที่พืชนำสารละลายธาตุอาหารไปใช้ โดยที่แนวโน้มดังกล่าวจะถูกนำไปใช้สำหรับวางแผนการจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชในรอบวันถัดไป และนำไปใช้สำหรับวางแผนการปลูกพืชในรอบถัดไป

สรุปผลการดำเนินการ

เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่นำเสนอสามารถวัดสารละลายธาตุอาหารพืชได้อย่างต่อเนื่อง โดยปราศจากการเกาะของเกลือที่หัววัดและให้ค่าความผิดพลาดในการวัดอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.1 mS/cm เมื่อทดสอบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน นอกจากนี้การใช้โมดูลสื่อสารไร้สายสามารถดูค่าการวัดได้ที่หน้าจอแสดงผลของคอมพิวเตอร์แม่ข่ายตามค่าเวลาจริง จึงทำให้สะดวกต่อผู้ใช้งาน และโมดูลสื่อสารไร้สายที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะรับส่งข้อมูลในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลสุด 300 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 200 x 200 ตารางเมตร โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด อีกทั้งระบบยังมีการบันทึกค่าข้อมูลไว้ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำไปประมวลผลในการตัดสินใจก่อนมีการจ่ายสารอาหารพืชในรอบถัดไป หรือนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการปลูกในรอบถัดไป และนอกจากนี้แล้ว ระบบที่นำเสนอมีต้นทุนในการผลิตต่ำ เมื่อนำไปใช้งานจะช่วยให้ผู้เพาะปลูกพืชมีความสะดวกต่อการเก็บและบันทึกค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชในแต่ละรอบวันได้ และเนื่องจากการใช้งานระบบทำให้ผู้ใช้งานสามารถสั่งจ่ายค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมให้กับพืชในรอบวันถัดไปได้ จึงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าการปลูกแบบไม่ใช้ระบบควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ และสถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ และทุนในการศึกษาค้นคว้าวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัย เพื่อสนับสนุนการทำวิจัยสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่

References

[1] U. Nuttika and B. Sirinutsonboon. (2014). Automated System for Controlling Nutrients and Water in Hydroponic Plot. **Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CARD 2014)**.

[2] Kim, Hak-Jin, Won-Kyung Kima, Mi-Young Roh, Chang-Ik Kang, Jong-Min Park, Kenneth A. Sudduth. (2013). Automated Sensing of Hydroponic Macronutrients Using a Computers-Controlled System with a Array of Ion-Selective Electrodes. **Computers and Electronics in Agriculture**. Vol. 93. pp. 46-54

[3] Saaid, M.F., Yahya, N.A.M., Noor, M.Z.H. and Ali, M.S.A.M. (2013). A Development of an Automatic Microcontroller System for Deep Water Culture (DWC). **IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications**. Kuala Lumpur. Malaysia

[4] N. Somchaiwong and N. Tampanya. (2010). Developed System for Controllig Nutreints in Hdroponics. Rajmanggala University of Technology Lanna. **National Research Coucil of Thailand**. pp. 85-87

[5] Akira Inoue, Mingcong Deng, Takafumi Harada, Yusuke Baba, Nobuhide Morioka, Akinori Mutou and Nobuyuki Ueki. (2006). On-Line Identification of Electro-Conductivity in Electrolytic Solutions. **Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 1**. pp. 4786-4789