

การพัฒนาระบบควบคุมการส่องสว่างสำหรับการปลูกพืชด้วยเครือข่าย

เซ็นเซอร์ ไร้สาย

A System Development of Illumination Control for Horticulture Based on Wireless Sensor Network

อรัญ ประกอบสัญที่¹ รพีพงศ์ รัตนวรหิรัญกุล² และจิตสรณู สีภูภา³

^{1, 2, 3} คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร

Emails: aran.pr@ku.th, rapeepong.ra@ku.th, fsejrs@ku.ac.th

ABSTRACT – This paper presents a system development to control light for dimming a light-emitting diode for horticulture using a wireless network. The experiment was set by the ability to tune the light-emitting diode corresponds to a demand of plants by using Buck Converter circuit that is used to drive a red and blue color of light-emitting diode controlled by a microcontroller and the data can be sent to the network based on Zigbee wireless sensors in order to monitor, control and process from a remote distance. The experiment showed that this work can control the illumination level of the light-emitting diode that the plants need correctly and a user can access the data anytime via the wireless network designed with precisely. The results based on measurement of the Mean Absolute Error (MAE), Mean Square Error (MSE), and Maximum Absolute Error (MaxAE) are 2.255%, 3.313%, and 7.673%, respectively. Besides, the proposed system can help to reduce the electricity usage rate with more 35% when comparison with T5 fluorescent lamp.

KEY WORDS -- Light Control System; Photosynthesis; Zigbee Wireless Network System; Light-emitting diode.

บทคัดย่อ -- บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบปรับได้สำหรับการปลูกพืชด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยทำการทดลองตั้งค่าระบบให้มีการปรับระดับการเปล่งแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงให้สอดคล้องกับความต้องการของพืชด้วยวงจร Buck Converter เพื่อขับหลอดไดโอดเปล่งแสงสองสีคือสีแดงและสีน้ำเงินซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายเข้าสู่เครือข่ายด้วยเซ็นเซอร์ไร้สาย Zigbee เพื่อให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และประมวลผลการทดลองได้ในระยะไกล จากการทดลองพบว่างานวิจัยนี้สามารถควบคุมค่าความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงให้มีค่าความเข้มแสงในระดับที่พืชต้องการได้อย่างถูกต้อง และสามารถทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลได้ตลอดเวลาผ่านเครือข่ายไร้สายที่ถูกออกแบบไว้ได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดของหลอดไดโอดเปล่งแสงเฉลี่ยทั้งสองสีอยู่ที่ 2.255% 3.3125% และ 7.6725% ตามลำดับ อีกทั้งยังสามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 35% เมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5

คำสำคัญ -- ระบบควบคุมแสง; การสังเคราะห์แสงของพืช; Zigbee ระบบเครือข่าย; หลอดไดโอดเปล่งแสง;

1. บทนำ

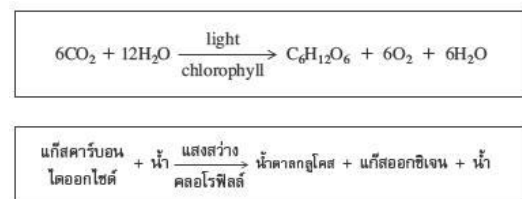
การพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันเป็นสิ่งสำคัญ มีหลายงานวิจัยพยายามปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยวิธีการต่างๆ ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไปจนถึงขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว อาทิเช่น การพัฒนาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้ระบบเพาะเลี้ยงยอดอ่อน [1] การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การศึกษาเกี่ยวกับแสงในช่วงความถี่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โรคพืชและเทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว [2] ซึ่งงานวิจัยทั้งหมดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งการปลูกพืชระดับครัวเรือนไปจนถึงภาคอุตสาหกรรม ปัจจัยที่สำคัญอีกประการในกระบวนการปลูกพืชคือการลดต้นทุน ซึ่งการลดอัตราการใช้พลังงานเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตพืช หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) มีความน่าสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการเพาะปลูกพืชเนื่องจากแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง มีความได้เปรียบกว่าหลอดไฟแบบมีไส้หลายอย่างเช่น แสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงไม่ต้องการการเผาไหม้ของไส้แสง ทำให้มีอายุใช้งานนานกว่า และการใช้พลาสติกหุ้มแสงช่วยให้ทนทานและง่ายต่อการประกอบลงในแผ่นวงจรไฟฟ้า และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือแสงของไฟแบบมีไส้อื่นๆ นั้นเกิดจากการเผาไส้แสงจนแดงทำให้อุณหภูมิสูญเสียพลังงานจำนวนมาก แต่แสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงมีอัตราการสูญเสียพลังงานความร้อนต่ำและพลังงานส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานแสงทั้งหมด ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าหลอดแบบอื่น [3 - 4] ดังนั้นแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงจึงมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาแทนที่หลอดไส้ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้แสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง ยังไม่มีการหักเหของแสงทำให้ทิศทางของแสงตรงไปยังเป้าหมายที่ต้องการ และยังสามารถกำหนดความยาวคลื่นแสงได้ตามต้องการ การติดตั้งไม่ต้องต่อกับบัลลาสต์ เพราะใช้แรงดันไฟฟ้า [5] อีกทั้งในการเพาะปลูกพืชในเชิงอุตสาหกรรมอาจมีการเพาะปลูกพืชหลายชนิด ที่มีความต้องการแสงต่างกัน ทำให้การควบคุมสภาวะของแสงมีความซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงการปรับลักษณะของแสงให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดตามช่วงอายุที่แตกต่างกันเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่ง จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า พืชส่วนใหญ่ต้องการใช้เวลาในการสังเคราะห์แสงประมาณ 16 ชั่วโมงต่อ

วัน [6] แต่ในสภาพปกติแสงแดดที่ส่องให้พืชตามธรรมชาติมีเวลาไม่เกิน 10 ชั่วโมงต่อวัน และแสงแดดที่ส่องให้พืชตามธรรมชาติมีความถี่ซึ่งพืชต้องการใช้ความถี่แค่บางช่วงเท่านั้น [3] จากจุดนี้หากเราสามารถสร้างแสงสว่างให้พืชในช่วงความเข้มแสงที่พืชต้องการและให้แสงสว่างกับพืชเป็นเวลาที่เพียงพอ จะสามารถเพิ่มผลผลิต เพิ่มคุณภาพ ลดเวลาและลดต้นทุนในการปลูกพืชได้อย่างมาก อีกทั้งเทคโนโลยีในปัจจุบันยังเอื้อให้สามารถบริหารจัดการผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ช่วยให้เข้าถึงข้อมูลการเจริญเติบโต การวิเคราะห์ผลผลิต ไปจนถึงระบบขนส่งสู่ภายนอกได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว จากเหตุผลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการควบคุมการส่องสว่างสำหรับการปลูกพืชด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสงและสร้างระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อติดตามและตรวจสอบกระบวนการปลูกพืชเพื่อให้ได้รับการดูแลที่เหมาะสม ซึ่งช่วยให้พืชมีคุณภาพตามต้องการ เป็นการลดต้นทุนด้านพลังงาน และยังเป็นการนำเทคโนโลยีในปัจจุบันมาใช้ร่วมกับการเกษตรได้อย่างเหมาะสม

2. แนวคิด / วิธีการนำเสนอ

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อน โดยสามารถแสดงการเกิดกระบวนการได้ดังนี้

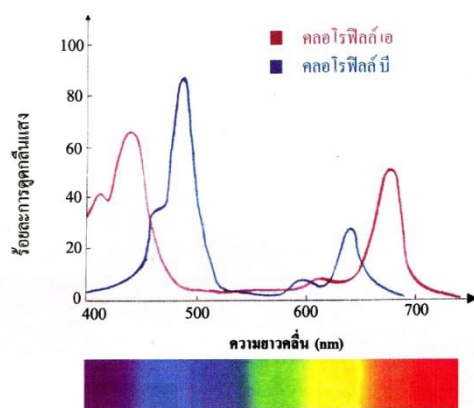


รูปที่ 1. แสดงกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช [6]

จะเห็นได้ว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชนั้นมีวัตถุดิบและสิ่งที่พืชจำเป็นต้องใช้คือคลอโรฟิลล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ อุณหภูมิ แก๊สออกซิเจน ธาตุอาหารอายุของใบพืช สารเคมีเช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ และส่วนสำคัญอีกอย่างคือแสง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากและการควบคุมแสงมีกระบวนการที่ซับซ้อนกว่าปัจจัยอื่น

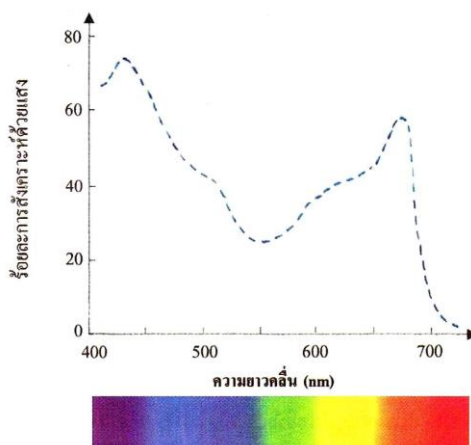
2.2 ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับพืช

โดยทั่วไปพืชจะสังเคราะห์แสงได้ดี เมื่อได้รับแสงเป็นเวลานานติดต่อกัน สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้พืชที่ปลูกจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร คือช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสงของพืชไม่เหมาะสม จากกราฟในรูปที่ 2 จะเห็นว่าคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์ที่พบในพืชโดยทั่วไปสามารถดูดกลืนแสงสีม่วง คราม น้ำเงิน และช่วงแสงสีเหลือง แสด แต่จะดูดกลืนน้อยในช่วงแสงสีเขียว นั่นคือพืชจะสร้างอาหารได้น้อยเพราะไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ดีในช่วงนี้



รูปที่ 2. แสดงร้อยละของการดูดกลืนสีกับความยาวคลื่น [6]

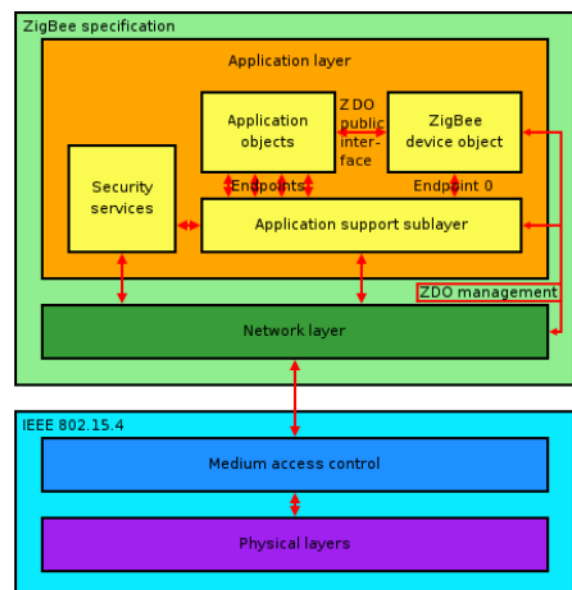
จากรูปที่ 3 จะพบว่าช่วงความยาวคลื่นที่พืชต้องการใช้ในการสังเคราะห์แสงมี 2 ช่วงคือ 420 – 460 nm และ 630 – 660 nm



รูปที่ 3. แสดงร้อยละของการสังเคราะห์แสงกับความยาวคลื่น [6]

2.3. Zigbee

Zigbee เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ไร้สาย ถูกกำหนดโดยกลุ่ม Zigbee Alliance ซึ่งเริ่มก่อตั้งขึ้นเมื่อปี 2002 เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในชีวิตประจำวันในรูปแบบไร้สายซึ่งไม่ต้องการความเร็วสูงมากนัก Zigbee Protocol Stack ถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำงานตามรูปแบบของ Zigbee Alliance ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเมื่อปี 2004 และได้รับการปรับปรุงมาจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ ZigBee ยังมีจุดเด่นที่เหมาะสมกับการใช้งานเครือข่ายรับรูไร้สาย เช่น มีความน่าเชื่อถือในการติดต่อสื่อสารสูง มีราคาที่เหมาะสม มีการใช้พลังงานต่ำ และมีความปลอดภัยในการติดต่อสื่อสาร [7] สำหรับรูปแบบของ Zigbee Protocol Stack มีรูปแบบดังนี้ [8]

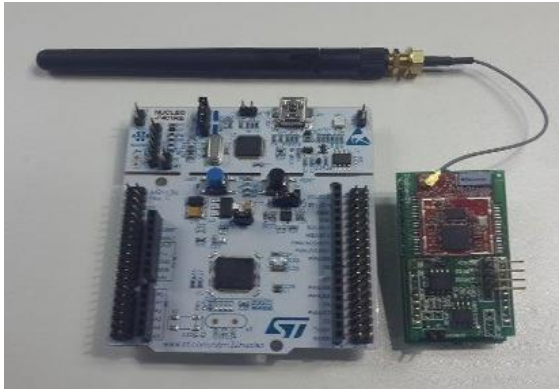


รูปที่ 4. แสดงองค์ประกอบของ Zigbee Protocol Stack [8]

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

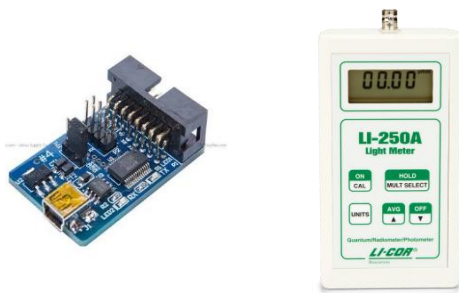
3.1. อุปกรณ์การทดลอง

ในส่วนของการออกแบบอุปกรณ์ในการทดลองสำหรับงานวิจัย มีรายละเอียดหลักคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์นิวคลีโอ F401RE ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบ และทำการส่งสัญญาณผ่าน Zigbee ซึ่งทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารและรับส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ในตำแหน่งต่างๆแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์นิวคลีโอและ Zigbee

โดยใช้ตัวแปลง Serial UART to USB mini B ต่อเข้ากับอุปกรณ์สื่อสารแบบ TTL เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB ของไมโครคอนโทรลเลอร์ [9] ในส่วนของการวัดค่าความเข้มแสงในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดแสงของ LI-COR รุ่น LI-250A ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดแสงที่มีความละเอียดและแม่นยำสูงโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการวัดอยู่ที่ 0.4% [10]

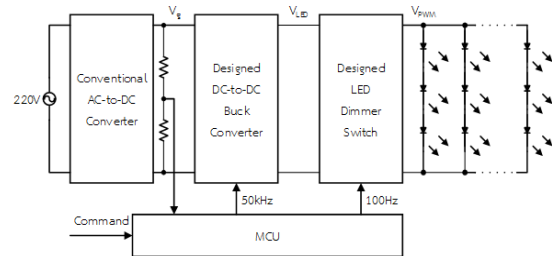


รูปที่ 6. แสดงตัวแปลง Serial to USB (ซ้าย) และอุปกรณ์วัดแสง (ขวา)

3.2. วงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

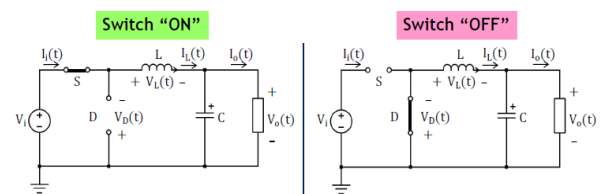
วงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสงทำหน้าที่รับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าสู่ตัววงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC – DC Converter) เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ในส่วนต่อมาเป็นวงจรเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงกับกระแสตรง (DC - DC Buck Converter) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ให้แรงดันลดลงเพื่อใช้สำหรับจ่ายแรงดันให้แก่หลอดไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินและสีแดง ซึ่งมีค่าแรงดันฟลักซ์ที่ต่างกัน โดยใช้เทคนิค Pulse Width Modulation (PWM)

ที่ความถี่ 50 kHz ในการปรับค่าความกว้างพัลส์ของแรงดันไฟฟ้า จากนั้นใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ เพื่อกรองแรงดันไฟฟ้าให้มีความเรียบมากขึ้น เมื่อได้แรงดันที่เหมาะสมวงจรปรับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะใช้เทคนิค PWM อีกครั้งที่ความถี่ 100 Hz เพื่อปรับค่าความกว้างของพัลส์ ซึ่งจะส่งผลถึงค่าความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยสามารถปรับค่าความสว่างได้ 100 ระดับ



รูปที่ 7. แสดงวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

ซึ่งสามารถสร้างวงจรสมมูลของตัวขับหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8. แสดงวงจรสมมูลของวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากวงจรสมมูลของวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสง สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_o = D \times V_i \quad (1)$$

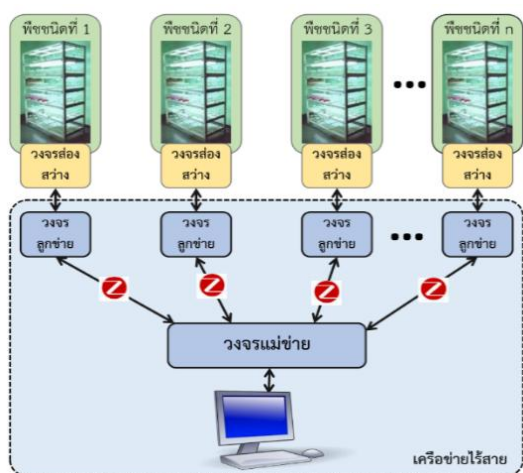
สมการที่ (1) แสดงแรงดันขาออกของวงจร DC - DC Buck Converter เมื่อ V_o คือค่าแรงดันขาออกของวงจร DC - DC Buck Converter V_i คือ ค่าแรงดันขาเข้าของวงจร DC - DC Buck Converter และ D คือความกว้างของพัลส์ของสัญญาณ PWM

$$L = \frac{D(1-D)}{\Delta i} \times T_s \times V_i \quad (2)$$

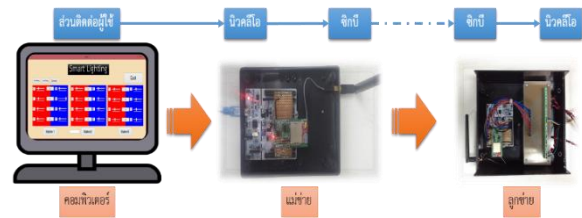
สมการที่ (2) แสดงการหาค่าตัวเหนี่ยวนำ โดยค่ากระแสเพิ่มขึ้นอยู่กับค่าของตัวเหนี่ยวนำโดยที่ L คือค่าตัวเหนี่ยวนำ Δi คือ ค่ากระแสเพิ่ม T_s คือคาบเวลาของสัญญาณ PWM สำหรับการปรับระดับค่าความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะใช้การหั่นค่ากระแส (Chopper) ที่ออกมาจากวงจร DC - DC Buck Converter ทำให้ค่ากระแสเฉลี่ยมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณ PWM ขนาด 100 Hz ซึ่งสามารถปรับได้ตามความต้องการ

3.3. รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย

ระบบเครือข่ายสำหรับการควบคุมและติดตามการส่องสว่างนี้จะมีลูกข่ายคอยรับคำสั่งจากแม่ข่ายผ่านทางเครือข่ายไร้สายได้แก่คำสั่งในการปรับความสว่าง ความเข้มของแสงสี รวมทั้งการป้อนค่ากลับจากระบบเช่น อุณหภูมิ โดยคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานและระบบ มีแม่ข่ายทำหน้าที่รับคำสั่งการควบคุมจากคอมพิวเตอร์และส่งข้อมูลไปให้ลูกข่ายซึ่งประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และชิปที่มีลูกข่ายทำการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างแม่ข่ายและภาคกำลังของวงจรขับ โดยรอรับคำสั่งจากแม่ข่ายและสั่งงานวงจรขับให้ทำงานตามต้องการซึ่งประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และชิปโครงสร้างโดยรวมของเครือข่ายที่ถูกออกแบบแสดงดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 9. แสดงโครงสร้างเครือข่ายไร้สายที่พัฒนาขึ้น

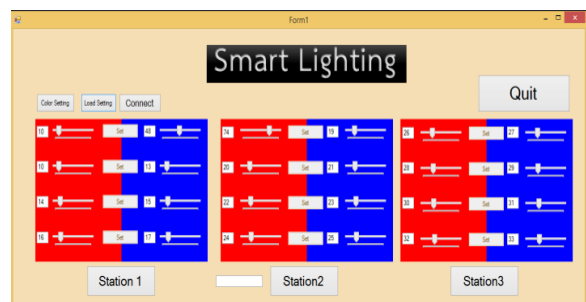


รูปที่ 10. แสดงการสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่าย

4. ผลการวิจัย

4.1. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ในส่วนติดต่อกับผู้ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio ในการออกแบบและพัฒนาเนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน พร้อมทั้งมีชุดคำสั่งและเครื่องมือที่สามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างครบถ้วน โดยมีตัวอย่างการใช้งานดังรูปที่ 11



รูปที่ 11. แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้

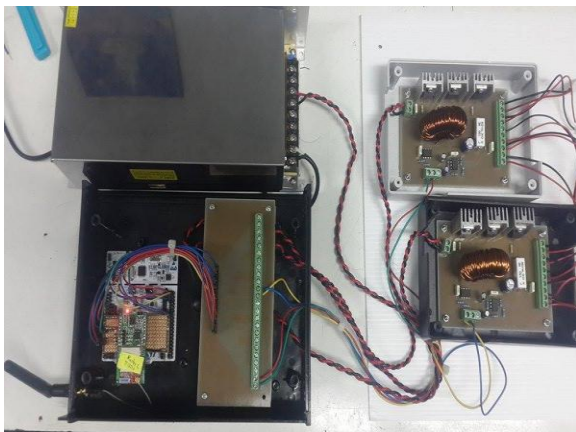
4.2. ผลการเชื่อมต่อภาคกำลังและภาคควบคุม

การเชื่อมต่อภาคกำลังและภาคควบคุมเข้าด้วยกันสามารถทำได้โดยเชื่อมต่อบอร์ดวงจรขับเข้ากับหลอดไดโอดเปล่งแสงและเชื่อมต่อสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในส่วนนี้ทำการควบคุมสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ทั้ง 2 ค่า ได้แก่ที่ค่า 50 kHz และ 100 Hz โดยผู้ใช้งานสามารถทำการปรับค่าความสว่างของหลอดไฟได้ด้วยตัวเองผ่านทางคอมพิวเตอร์



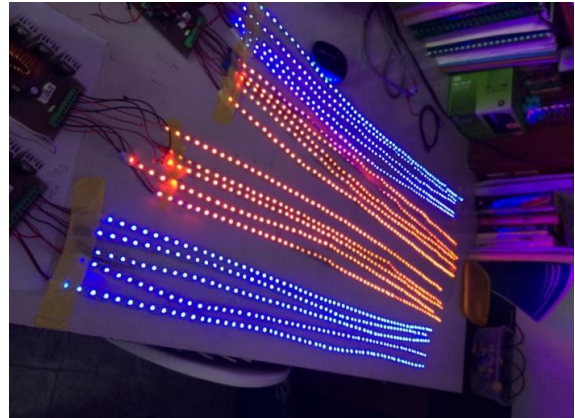
รูปที่ 12. แสดงตัวอย่างการควบคุมด้วยสัญญาณ ไร้สาย

ในส่วนของภาคกำลังต้องการทำการเชื่อมต่อตัวรับสัญญาณ ไร้สาย เข้ากับวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อรองรับสัญญาณแล้ว ประมวลผลเพื่อสั่งการทำงานด้วย PWM ต่อไป สามารถแสดง ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13. แสดงวงจรถูกจ่ายที่เชื่อมกับวงจรภาคกำลัง

เมื่อทำการต่อวงจรขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ในแต่ละวงจรมี หลอดไดโอดเปล่งแสง 5 แถว แถวละ 50 หลอด สั่งงานผ่านแม่ ข่ายเพื่อส่งข้อมูลมายังถูกจ่ายเพื่อจะปรับแสงสว่างด้วยสัญญาณ PWM ซึ่งสามารถปรับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง และกำหนดระยะเวลาในการเปล่งแสงได้ตามต้องการ



รูปที่ 14. แสดงผลการทดลองต่อวงจรเพื่อควบคุมแสงสว่าง

4.5 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้อง

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า ค่าความยาวคลื่นแสงที่พืชต้องการมีอยู่ สองช่วงคือช่วงแสงสีน้ำเงินที่ความยาว 420 – 460 nm และช่วง แสงสีแดงที่ความยาว 630 – 660 nm ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำ การควบคุมให้หลอดไดโอดเปล่งแสงอยู่จุดกึ่งกลางของทั้งสอง ช่วงความยาวแสงที่พืชต้องการ นั่นคือควบคุมให้หลอด ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินที่ความยาว 440 nm และสีแดงที่ความ ยาว 645 nm ตามลำดับ และในการเปรียบเทียบความถูกต้อง ของการควบคุมในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบโดยใช้ค่า ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดตาม (3) - (5) ทำการ เก็บข้อมูลทุก 10 วินาที โดยมีข้อมูลทั้งหมด 10,000 ข้อมูล

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(i) - \hat{y}(i)| \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y(i) - \hat{y}(i)]^2 \quad (4)$$

$$MaxAE = \max_{i=1}^n |y(i) - \hat{y}(i)| \quad (5)$$

เมื่อ MAE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ MSE คือ ค่า ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย $MaxAE$ คือค่าความ คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุด n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด $y(i)$ คือ ความยาวแสงที่ต้องการของไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีในแต่ละ ช่วงเวลา $\hat{y}(i)$ คือความยาวแสงที่วัดได้ของไดโอดเปล่งแสง

แต่ละสีในแต่ละช่วงเวลา ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการควบคุมความเข้มแสงแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้อง

ความเข้มแสง	MAE (%)	MSE (%)	MaxAE (%)
สีน้ำเงิน	2.409	3.873	6.818
สีแดง	2.101	2.752	8.527
เขียว	2.255	3.3125	7.6725

เมื่อพิจารณาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการพบว่า วงจรควบคุมความสว่างของไดโอดเปล่งแสงใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 19.4 วัตต์ ขณะที่หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5 ในห้องปฏิบัติการใช้พลังงาน 29.85 วัตต์ ซึ่งพบว่า ไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าโดยคิดเป็น 35%

5. สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วงจรขับและควบคุมแสงสว่างสามารถทำงานภายใต้ค่าความยาวคลื่นแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงทั้งสองสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดเฉลี่ยทั้งสองสีอยู่ที่ 2.255% 3.3125% และ 7.6725% ตามลำดับ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้ยังอยู่ในช่วงความถี่ที่พืชต้องการ อีกทั้งระบบยังสามารถควบคุมระยะเวลาในการเปล่งแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ตามต้องการ โดยไม่มีผลของสภาพอากาศมาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ระบบการติดตามและตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชและควบคุมความเข้มแสงผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีความถูกต้องในการรับส่งข้อมูล 100% ที่ระยะไม่เกิน 1 กิโลเมตร อีกทั้งยังสามารถประหยัดพลังงานได้ 35% เมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5 จึงสามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถทำได้ตามเป้าหมายของการวิจัย แต่อย่างไรก็ตามจะ

พบว่าการวัดค่าความยาวคลื่นแสงยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากหลายปัจจัยเช่น เครื่องมือวัดแสงมีค่าความคลาดเคลื่อนในตัวเอง ค่าความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ละหลอดมีค่าแตกต่างกันเป็นต้น สำหรับงานวิจัยที่จะทำการพัฒนาต่อไปคือการศึกษาเพื่อหาค่าความยาวคลื่นแสงที่คลาดเคลื่อนและปรับปรุงระบบการส่งสัญญาณ เพื่อให้ระบบมีความถูกต้องและสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะที่มากขึ้น อีกทั้งจะทำการพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับสมาร์ทโฟนในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากกองบริหารการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนครและขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังประยุกต์และคุณณัฐชนน เฉยไสย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] เมธินี ศรีวัฒนกุล และ จารุวรรณ จาติเสถียร “การพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อข้าวพันธุรับรองโดยใช้ระบบเพาะเลี้ยงยอดอ่อน” กลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ.
- [2] สังคม เดชะวงศ์เสถียร “ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช” ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [3] Bula, R. J., R. C. Morrow, T. W. Tibbits, and D. J. Barta. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience*. 1991.
- [4] Moe, C. & Izurieta, R. Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador. *Proceedings of the Second International Symposium on Ecological Sanitation*, Lubeck, Germany, 7-11 April 2003.
- [5] Jao, W.-C., Henry, T. J., Subasavage, J. P., Bean, J. L., Costa, E., Ianna, P. A., & Me'ndez, R. A. 2003.

- [6] ปัจจัยที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (ออนไลน์)
แหล่งที่มา: 202.143.156.243/anubankwp/web1/web/.../5CQkB
64 sSUIc.doc. 12 มกราคม 2559.
- [7] D Gislason, Zigbee Wireless Networking, 1st Edition, 21
Aug 2008.
- [8] พูนศักดิ์ พรเพิ่มพูน. ระบบไร้สายโดยใช้ Zigbee เพื่อ
ควบคุมและติดตามสถานะเครื่องจักรและเซ็นเซอร์ในโรงงาน
ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะ
สถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2556.
- [9] Serial UART to USB mini B Converter V4. Available
from: [http://www.thaieasyelec.com/products/interface-
modules/usb-converter/serial-uart-to-usb-mini-b-converter-
v4-detail.html](http://www.thaieasyelec.com/products/interface-modules/usb-converter/serial-uart-to-usb-mini-b-converter-v4-detail.html). [Cited 21 August 2016].
- [10] Lux Meter LI-250A. Available from:
[https://www.licor.com/env/ products/light/light_ meter.html](https://www.licor.com/env/products/light/light_meter.html).
[Cited 21 August 2016].
- [11] Forouzan, Behrouz A. Data Communications and
Networking. New York: McGraw-Hill. 2007.
- [12] Stallings, William. Cryptography and network security:
principles and practice. New Jersey: Prentice Hall. 2003.
- [13] Abou El-Ela, M. and Alkanhel, M. Bluetooth Based
Telemetry/ PLC system. *Al-Azhar Engineering Ninth
International Conference*. 2007.
- [14] Li, Pengfei and Li, Jiakun. Application of
Communication and Remote Control in PLC Based on
ZigBee. *Computational Intelligence and Security*. 2009.