

การพัฒนาระบบควบคุมความเข้มแสงแอลอีดีสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

DEVELOPMENT OF AN LED LIGHT INTENSITY CONTROL SYSTEM
FOR TISSUE CULTURE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2568

KMITL-2025-SC-M-030-029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF AN LED LIGHT INTENSITY CONTROL SYSTEM
FOR TISSUE CULTURE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2025

KMITL-2025-SC-M-030-029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบควบคุมความเข้มแสงLEDสำหรับการ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
ชื่อนักศึกษา	นาย ปิติภัทร อุ่นแสง
รหัสประจำตัว	64605074
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์.ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ระบบให้แสงLED (LED Lighting System) สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชภายใต้สภาวะแสงเทียม ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในระบบการปลูกพืชภายในอาคารหรือในพื้นที่ควบคุม เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยเฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ได้แก่ แสงสีน้ำเงิน (400 นาโนเมตร) และ แสงสีแดง (600 นาโนเมตร) คุณภาพและปริมาณของแสงถูกประเมินผ่านตัวแปรทางแสงที่เรียกว่า PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) ซึ่งแสดงค่าความหนาแน่นของโฟตอนที่ตกกระทบบนพื้นที่เพาะปลูก มีหน่วยเป็น $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมแสงเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาชั้นปลูกที่ติดตั้งระบบไฟ LED ซึ่งสามารถ ควบคุมปริมาณความเข้มแสงและอัตราส่วนของแสงได้อย่างแม่นยำ โดยมีการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าในแต่ละโซนอย่างอิสระ เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งติดตั้ง แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) ที่มีขนาดแตกต่างกัน (15, 20, 25 และ 30 cm) เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของแสงภายในพื้นที่เพาะเลี้ยง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงร่วมกับการควบคุมกระแสไฟฟ้าแบบแยกพื้นที่ ส่งผลให้ ค่าความสม่ำเสมอของแสง (PPFD Uniformity) เพิ่มขึ้นจาก 59.2% เป็น 76.1% ในขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในชั้นปลูกอยู่ที่ประมาณ 30.6 องศาเซลเซียส และยังสามารถ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเหลือเพียง 94.7 วัตต์ ในเงื่อนไขที่ประสิทธิภาพดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมแสง LED ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านความแม่นยำของแสง การกระจายแสงที่สม่ำเสมอ และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ความสม่ำเสมอ แอลอีดี ไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of an LED Light Intensity Control System for Tissue Culture
Student Name	Mr. Peetipat Unsaeng
Student ID	64605074
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2025
Thesis Advisor	Assoc. Prof.Dr. Apaporn Sakunkalawek
Thesis Co-advisor	Asst.Prof.Dr. Bhanupol Klongratog

Abstract

This research aims to develop a LED lighting control system for plant tissue culture under artificial lighting conditions, which are essential for indoor cultivation environments. Light is a critical factor that directly affects the process of photosynthesis, particularly within specific wavelength ranges, namely blue light (400 nm) and red light (600 nm), which are known to be effective for plant growth. The quality and quantity of light were evaluated using Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD), measured in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, which indicates the number of photons available for photosynthesis per unit area. PPFD is a key parameter in the design of lighting systems intended to optimize the growth of plant tissues.

In this study, a cultivation rack equipped with an LED system was designed and constructed. The system allows for precise control of light intensity and spectral composition, with the capability to adjust electrical current independently in different zones. This zonal control enables energy-saving operation while ensuring appropriate light conditions for plant growth. In addition, reflective panels of various lengths (15, 20, 25, and 30 cm) were installed to enhance light uniformity within the cultivation area.

Experimental results demonstrated that the integration of reflective panels with current control significantly improved PPFD uniformity from 59.2% to 76.1%. The เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

average internal temperature across all experimental conditions remained stable at approximately 30.6 °C, and the lowest power consumption recorded was 94.7 W under the most optimized configuration.

Overall, the developed LED lighting control system proved to be highly effective in delivering precise light management, enhancing uniformity, and reducing energy consumption, making it suitable for application in tissue culture systems within controlled environments. The findings also indicate strong potential for future integration into automated or smart agricultural systems.

Keywords : plat tissue culture, uniformity, light-emitting diode led, microcontroller



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา รศ.ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก, ผศ.ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก ที่ให้ความอนุเคราะห์รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมสำหรับวิทยานิพนธ์ศึกษาให้คำปรึกษา แนะนำ การแก้ปัญหา และขอขอบคุณ ผศ.ดร. ณัฐกิจ สมดอก อาจารย์ภายในภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะการแก้ปัญหาต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ศึกษาครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่การวิจัยร่วมในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนในด้านกำลังใจการเดินทางด้วยดี และกำลังทรัพย์ตลอดมา

ปีติภัทร อุ่นแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	2
ปัจจัยสภาพอากาศ	2
ความเข้มแสง	2
อุณหภูมิ	4
ความชื้นสัมพัทธ์ทางอากาศ	4
ปัจจัยทางเคมีของดิน	4
ปริมาณธาตุอาหารของพืชทั่วไป	4
2.2 หลอดไฟ LED (LIGHT EMITTING DIODE: LED)	5
2.2.1 ชนิดของไฟ LED	5
LED ขนาดเล็ก	6
LED พลังงานสูง	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
LED Strip light	7
2.3 ปริมาณหน่วยสำคัญที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง	9
การใช้หน่วยวัดที่แตกต่างกัน	10
การแผ่รังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง PAR	11
โฟตอนสังเคราะห์ด้วยแสง PPF	11
ความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนสังเคราะห์ด้วยแสง PPFD	12
2.4 แสงและสีกักกับการเจริญเติบโตของพืช	13
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	14
ข้อแตกต่างระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์	14
โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	14
หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)	15
หน่วยความจำ (Memory)	15
ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port)	16
ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS)	16
วงจรถ่ายนาฬิกาสัญญาณนาฬิกา (Clock)	16
ESP32	17
2.6 สเปกโตรมิเตอร์ (SPECTROMETER)	19
LI-180 Spectrometer	19
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานการทดลอง	25
3.1 การเขียนโปรแกรมและการออกแบบการใช้งานเพื่อควบคุมแผงไฟ LED ภายในชั้นปลูก	25
3.2 ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และขั้นตอนการติดตั้งระบบไฟ LED	27
โครงประกอบชั้นปลูกพืช	28
อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์	29
อุปกรณ์ไฟเลี้ยงระบบ	30
ไฟ LED	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ส่วนของอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ใช้ในการดำเนินงาน	32
สเปคโทรมิเตอร์	39
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	43
4.1 เงื่อนไขการทดลองที่ 1	44
4.2 เงื่อนไขการทดลองที่ 2	47
4.3 เงื่อนไขการทดลองที่ 3	49
4.4 เงื่อนไขการทดลองที่ 4	51
4.5 เงื่อนไขการทดลองที่ 5	53
อภิปรายผลการทดลอง	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	82
ประวัติผู้เขียน	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะและความยาวคลื่นทั่วไปของ LED	8
ตารางที่ 4.1 สรุปค่าผลการทดลองแต่ละตัวแปรที่แต่ละเงื่อนไขในการทดลองทั้งหมด 5 เงื่อนไข	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพี-เอ็น กับการจ่ายกระแสและไม่จ่ายกระแส	5
รูปที่ 2.2 LED แบบเม็ด(through hole)	6
รูปที่ 2.3 LED แบบ surface mount	6
รูปที่ 2.4 LED strip light	7
รูปที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นสูงสุดของ LED แต่ละสี	8
รูปที่ 2.6 การรับรู้แสงระหว่างมนุษย์และพืช	9
รูปที่ 2.7 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ชนิด A และชนิด B	10
รูปที่ 2.8 ช่วงความยาวคลื่นของ PAR ที่พืชใช้งานในการสังเคราะห์แสง	11
รูปที่ 2.9 การวัด PPF จำนวนโฟตอนในหนึ่งวินาทีหน่วย	12
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการวัดของหน่วย PPFD	13
รูปที่ 2.11 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
รูปที่ 2.12 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16f684	17
รูปที่ 2.13 ESP wroom-32 36pin	18
รูปที่ 2.14 เครื่อง Spectrometer Li-180	20
รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบสถานการณ์การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศของทั้งสองกลุ่ม หลังจากสามสัปดาห์	21
รูปที่ 2.16 หน่วยการเจริญเติบโตของพืชที่เกี่ยวข้องกับ LED	22
รูปที่ 2.17 การตอบสนองโดยเฉลี่ยของพืชต่อการแผ่รังสีที่ใช้แสงสังเคราะห์	23
รูปที่ 2.18 รูปแบบลักษณะการจัดเรียงไฟ LED ทั้ง 5 รูปแบบ	24
รูปที่ 2.19 ตารางสรุปผลการทดลอง LED ทั้ง 5 รูปแบบ	24
รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโปรแกรมเพื่อควบคุมการใช้งาน	25
รูปที่ 3.2 แนวคิดในการออกแบบควบคุมชั้นปลูก	26
รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	27
รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์	28
รูปที่ 3.5 โครงเหล็กสำหรับการทำไฟชั้นปลูก	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.6 โครงสร้างหน่วยประมวลผลและขาการเชื่อมต่อของ ESP32	29
รูปที่ 3.7 Switching power supply 5V 60A	30
รูปที่ 3.8 LED รุ่นWS2812B จัดเรียงรูปแบบ diamond	31
รูปที่ 3.9 สายไฟ4คอร์	32
รูปที่ 3.10 หัวแร้ง	33
รูปที่ 3.11 น้ำยาบัดกรีกับตะกั่ว	34
รูปที่ 3.12 คีบปลอกสายไฟ	34
รูปที่ 3.13 ฝอยขัดหัวแร้ง	35
รูปที่ 3.14 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	36
รูปที่ 3.15 ตารางกิต	36
รูปที่ 3.16 แผ่นสะท้อนที่ใช้ในการติดตั้งชั้นปลูก	37
รูปที่ 3.17 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35	38
รูปที่ 3.18 แคลมป์มิเตอร์ รุ่น Uni-t Ut204+	39
รูปที่ 3.19 เครื่อง spectrometer Li-180	40
รูปที่ 3.20 แผนผังขั้นตอนการทดลอง	41
รูปที่ 3.21 ตำแหน่งการติดตั้งของแผ่นสะท้อน	42
รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมแสดงพื้นที่ภายในชั้นปลูกที่ใช้ในการศึกษาการทดลองภายในชั้นปลูก	44
รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 1	45
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เงื่อนไขที่ 1ภายในขนาดชั้นปลูกการทดลอง	46
รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 2	47
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1(ซ้าย)กับเงื่อนไขที่ 2(ขวา)	48
รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 3	49
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1(ซ้าย)กับเงื่อนไขที่ 3(ขวา)	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมชั้นปลุกเงื่อนไขการทดลองที่ 4	51
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFd เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1 (ซ้าย) กับเงื่อนไขที่ 4(ขวา)	52
รูปที่ 4.10 ไดอะแกรมชั้นปลุกเงื่อนไขการทดลองที่ 5	53
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFd เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1(ซ้าย) กับเงื่อนไขที่ 5(ขวา)	54
รูปที่ 4.12 กราฟพอดนหภูมิภายในชั้นปลุกเทียบกับเวลา ระยะ8ชั่วโมง	55



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ สัญลักษณ์	คำอธิบาย
cm	หน่วยของความยาวคลื่นมีค่าอุปสรรคเป็น เซนติเมตร
m	หน่วยของความยาวคลื่นมีค่าอุปสรรคเป็น เมตร
LED	เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสง
lux	หน่วยที่ใช้วัดความสว่าง ต่อพื้นที่
nm	หน่วยของความยาวคลื่นมีค่าอุปสรรคเป็น นาโนเมตร
uniformity	ค่าความกระจายสม่ำเสมอแสง
PAR	การแผ่รังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง พืชส่วนใหญ่ใช้สเปกตรัมสีน้ำเงินและสีแดง
PPF	คือการวัดปริมาณ PAR ทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อวินาที
$\mu\text{mol/s}$	หน่วยไมโครโมลต่อวินาที
PPFD	วัดปริมาณของ PAR ที่ไปถึงพื้นที่ที่กำหนด โดยระบุความเข้มของแสงที่ตกกระทบทุกส่วนของปากใบหรือพื้นผิวของใบ
Spectrometer	อุปกรณ์ที่ศาสตร์สำหรับการวัดคุณสมบัติของแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่งๆ ของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
V	แรงดันไฟฟ้าคำย่อสัญลักษณ์ในทางไฟฟ้า
A	กระแสไฟฟ้าคำย่อสัญลักษณ์ในทางไฟฟ้า
WS2812B	รุ่นของไฟLED
$^{\circ}\text{C}$	หน่วยของอุณหภูมิ
Reflector	แผ่นสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการผลิตต้นกล้าของพืชเศรษฐกิจเป็นจำนวนมาก ปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชในสภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อคือ แสง โดยทั่วไปจะนิยมใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ติดตั้งง่ายและต้นทุนในการบำรุงรักษาต่ำ แต่การใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีข้อเสียในเรื่องการปล่อยความร้อนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ อีกทั้งความยาวคลื่นแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนใหญ่เป็นความยาวคลื่นในช่วงแสงสีเขียว ในขณะที่พืชต้องการความยาวคลื่นแสงในช่วงแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินเป็นหลัก

หลอด LED (LED, light-emitting diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสงโดยสามารถเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการได้ ทำให้สามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้ โดยจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน (400-440 nm) และสีแดง (610-660 nm) มีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีผลการรายงานของ Fukuda et al. (2008) [1] พบว่า ความหนาของใบชั้น palisade ของเจอร์ราเนียม (geranium) ภายใต้แสงสีน้ำเงิน (460 nm) มีความหนามากกว่าภายใต้แสงสีแดง (660 nm) เช่นเดียวกับ Giedre et al. (2010) [2] พบว่า ต้นสตรอเบอร์รี่เติบโตภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินได้ดีกว่าภายใต้แสงสีแดงอย่างเดียว และ Fan et al. (2013) [3] พบว่า กะหล่ำปลีมีน้ำหนักสดและปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sung et al. (2014) [4] กับดอกเบญจมาศ ส่วน Kim and Moon (2014) [5] ได้ทดลองกับสนญี่ปุ่น ขณะที่ Daud et al. (2013) [6] ได้ทดลองกับสบู่ดำและ Li et al. (2013) [7] ทดลองปลูกต้นเรพชิต รวมไปถึง Lim et al. (2013) [8] ได้ทดลองกับต้นโหระพา ผลการวิจัยที่ได้แสดงถึงบทบาทของช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินและสีแดงต่อการเจริญเติบโตที่ดี

หลอดไฟ LED จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมการปลูกพืชและอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ซึ่งหลอด LED ยังมีข้อดีในด้านอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีอายุการใช้งานยาวนาน ราคาถูก และการปล่อยความร้อนน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการควบคุมสัดส่วนความเข้มของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน

ของไฟ LED จะใช้วิธีการควบคุมผ่านจำนวนของหลอดไฟ LED ส่งผลให้สัดส่วนความเข้มที่ได้ในแต่ละบริเวณของพื้นที่เพาะปลูกหรือพื้นที่เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีความแตกต่างกัน อีกทั้งความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงรวมในแต่ละบริเวณมีค่าไม่สม่ำเสมอ (non-uniformity) ปัญหาหลักต่อมาคือ การใช้หลอดไฟ LED ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งจะพบได้คือการใช้ที่ไม่สามารถควบคุมแสงไฟได้ตามอัตราส่วนที่ต้องการใช้งานกับพืชที่ต้องการศึกษารวมถึงการจัดเรียงเม็ดไฟ LED เพื่อให้เกิดค่าความสม่ำเสมอ โดยทั่วไปแผงไฟ LED จะมาในรูปแบบที่โรงงานผลิตมาให้ตามสัดส่วน แต่ในงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินต่อสีแดงได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการอีกทั้งยังสามารถควบคุมปริมาณความเข้มแสงได้ภายในชั้นปลูกได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสัดส่วนความเข้มของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินของไฟ LED Strip ให้มีความสม่ำเสมอของความเข้มไฟ LED Strip และสามารถปรับสัดส่วนไฟ LED Strip ได้ตามที่ต้องการ อีกทั้งยังสามารถลดหรือเพิ่มความสม่ำเสมอของความเข้มแสงภายในชั้นปลูกด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนภายในชั้นปลูก

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสัดส่วนความเข้มของหลอดไฟ LED Strip เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
- 2) เพื่อพัฒนาระบบการควบคุม Uniformity ของความเข้มแสงของหลอดไฟ LED Strip
- 3) เพื่อประเมินผลของการติดตั้งตัวสะท้อนแสงต่อระดับความเข้มแสงและความสม่ำเสมอของแสงภายในชั้นปลูก อุณหภูมิ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) สร้างระบบจำลองการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ขนาด กว้าง 0.6 เมตร ยาว 1.2 เมตร สูง 0.33 เมตร
- 2) ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสัดส่วนของความเข้มของไฟ LED Strip โดยใช้ Arduino controller ในการควบคุมความเข้มแสงของไฟ LED Strip

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมแสง LED Strip ที่สามารถปรับสัดส่วนของแสงสีแดงและน้ำเงินให้เหมาะสมกับชนิดของพืชในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
- 2) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม LED Strip สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงอธิบายทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยประกอบไปด้วย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทฤษฎีและหลักการการทำงานของหลอดไฟ LED และหลักการทำงานของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ สุดท้ายจะกล่าวถึงงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ เพื่อนำมาอ้างอิงสำหรับพัฒนางานวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.1.1 ปัจจัยทางกายภาพของดิน การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินนั้นเป็นการเน้นทางด้านเชิงปริมาณซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินตามเวลา และยังสามารถสังเกตลักษณะของดินจากส่วนประกอบภายนอกได้ เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน สีดิน ตลอดจนการซึมของน้ำและความชื้นของดินโดยทั่ว ๆ ไปดินที่ใช้ทำการเกษตร จะมีส่วนที่เป็นของแข็งไม่น้อยกว่า 80 ร้อยละโดยน้ำหนักซึ่งประกอบด้วยอินทรีย์สารและอินทรีย์สารเกือบทั้งหมด จึงทำให้ส่วนประกอบเหล่านั้นเกิดมีขนาด และรูปร่างของอนุภาคดินที่แตกต่างกันไป และการจัดเรียงตัวของอนุภาคดินก็ทำให้เกิดเป็นช่องว่าง (pore space) ที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไปเป็นผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหล่านั้นนำไปสู่ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

- ปัจจัยสภาพอากาศ ปัจจัยทางอากาศประกอบด้วย ความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ทางอากาศ ที่มีความสัมพันธ์กันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีข้อจำกัดในการที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสามารถบอกความหมายหลักได้ดังนี้
- ความเข้มแสง แสงเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง ซึ่งมีผลกับการเจริญเติบโตของพืชและพัฒนาการของพืช เพราะแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสร้างอาหารหรือการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับแสงใช้เป็นพลังงาน ในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน แสงเป็นตัวให้พลังงานแก่พืช ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดแป้งและน้ำตาล นอกจากนั้นยังมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการต่าง ๆ ในพืชอีกหลายประการ ความเข้มของแสงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช เพราะหากแสงมีความเข้มขึ้นน้อยเกินไป จะทำให้พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

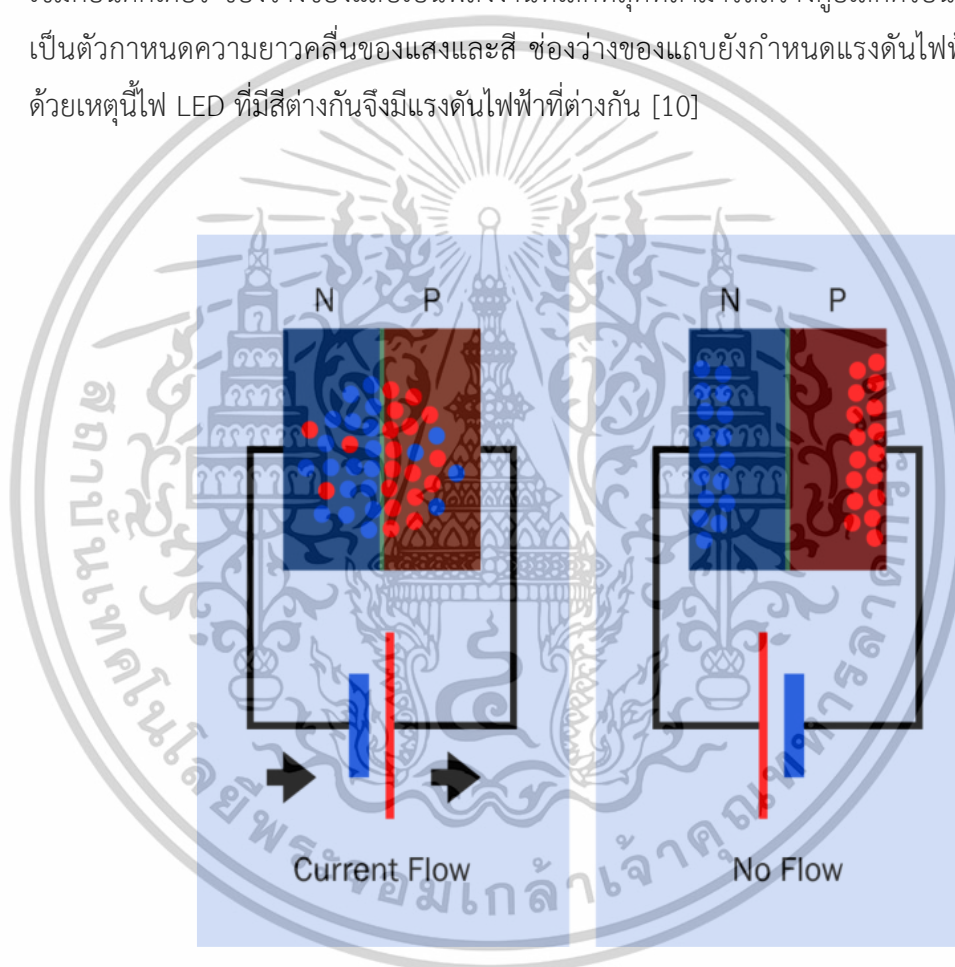
อ่อนแอ หรือการยึดของต้นข้อ การสังเคราะห์แสงจะไม่สมบูรณ์ ทำให้พืชโตช้ากว่าปกติความเข้มแสงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ในช่วงความยาวคลื่นจาก 400 นาโนเมตรถึง 700 นาโนเมตร เป็นช่วงแสงที่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

- อุณหภูมิ อุณหภูมิของดินและบรรยากาศความชื้นโดยรอบก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช จะส่งผลภายในพืชที่มีผลต่อขบวนการต่างๆ เช่น ขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ขบวนการหายใจ (respiration) และขบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) ของพืชจะเกิดได้ช้าเร็วอย่างไรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขบวนการต่าง ๆ จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้พืชเจริญเติบโตเร็ว และถ้าอุณหภูมิต่ำ ขบวนการเมตาโบลิซึม ต่าง ๆ ดังกล่าวก็จะช้าไปด้วยมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชช้าไปด้วย อุณหภูมิของอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทั่วไปอยู่ระหว่าง 15-40 °C
 - ความชื้นสัมพัทธ์ทางอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ทางอากาศที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด ไม่สามารถหาค่าเป็นตัวเลขได้แน่นอนเนื่องจากยังคงมีการเคลื่อนที่ของน้ำที่ดูดซับความชื้น โดยทั่วไปจะกำหนดให้ที่ความชื้นหลังฝนตกหนักหรือหยุดให้น้ำ 2-3 วันเป็นความชื้นที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 50-60
 - ปัจจัยทางเคมีของดิน เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการดูดยึด และแลกเปลี่ยนแร่ธาตุต่าง ๆ ระหว่างดินกับสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่าง ๆ ทางเคมีของดิน เช่น ปฏิกิริยาดินหรือค่าพีเอชดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ การอิมมัลชันด้วยเบส และอินทรีย์วัตถุในดิน
 - ปริมาณธาตุอาหารของพืชทั่วไป ชนิดและปริมาณธาตุอาหารพืชจะต้องได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (essential element) ครบทุกธาตุ และในปริมาณที่เหมาะสมได้สัดส่วนกัน ซึ่งจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปได้อย่างปกติ ถ้าหากพืชขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไป ก็จะแสดงอาการผิดปกติของพืช หรือทำให้การเจริญเติบโตบกพร่อง และถึงแม้ดินจะมีธาตุอาหารครบทุกธาตุ แต่ไม่ได้สัดส่วนกัน อาหารธาตุที่มีค่าที่สุดจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตการเจริญเติบโตของพืชนั้น ๆ พืชจะดูดแร่ธาตุอาหารจำนวนเล็กน้อยเข้าไปมากกว่า 90 ชนิด แต่มีเพียง 16 ชนิดเท่านั้นที่จำเป็น ได้แก่ธาตุอาหารหลัก (Primary nutrient) 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุในกลุ่มนี้มักมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงจำเป็นต้องผลิตและใส่ให้แก่พืชในรูปของปุ๋ย และธาตุอาหารรอง (Secondary nutrient) มี 3 ธาตุ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ธาตุในกลุ่มนี้มักมีเพียงพอต่อความต้องการของพืชแต่ดินในหลายพื้นที่
- [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลอดไฟ LED (Light Emitting Diode: LED)

หลอดไฟ LED หรือไดโอดเปล่งแสง จัดอยู่ในจำพวกไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงได้ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่เมื่อจ่ายไฟฟ้าในลักษณะไบอัสตรงเข้าไปถึงจุดที่เพียงพอที่จะบังคับอิเล็กตรอนในบริเวณ n-type และโฮลที่ p-type เคลื่อนที่รวมเข้าด้วยกัน เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่รวมกันทำให้พลังงานถูกปลดปล่อยออกมา พลังงานที่ปลดปล่อยในรูปโฟตอนหรือแสงออกมา ดังรูป 2.1 ปริมาณพลังงานที่ปล่อยออกมานั้นขึ้นอยู่กับช่องว่างของแถบ (band gap) ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ ช่องว่างของแถบเป็นพลังงานที่เล็กที่สุดที่สามารถสร้างคู่อิเล็กตรอน ซึ่งพลังงานเป็นตัวกำหนดความยาวคลื่นของแสงและสี ช่องว่างของแถบยังกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ LED ด้วยเหตุนี้ไฟ LED ที่มีสีต่างกันจึงมีแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน [10]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพี-เอ็น กับการจ่ายกระแสและไม่จ่ายกระแส ของ Platt, C. (2012)

2.1.1 ชนิดของไฟ LED

LED ไดโอดเปล่งแสง เป็นเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์อีกแบบหนึ่ง เพราะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ แล้วเปล่งแสงสว่างออกมา ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบมานานแล้ว แต่เนื่องจากแสงที่เปล่งออกมาน้อยมาก จึงทำให้ LED ในยุคนั้นไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนา LED ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก จนสามารถนำมาใช้แทนหลอดไฟส่องสว่างแบบเดิมได้เป็นอย่างดี มีรูปแบบได้บ้าง

- LED ขนาดเล็ก หรือ แบบเม็ด Through Hole หรือแบบที่มีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy เป็นหลอด LED ที่ พบทั่วไป มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 – 8 mm การประกอบหรือใช้ งานสามารถทำได้โดยการบัดกรีหรือใช้โดยตรงกับ PCB (Print Circuit Board) ดังแสดงรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 LED แบบเม็ด(through hole) ของ Platt, C. (2012).

- LED พลังงานสูง (High Power LED) LED หรือแบบ Surface Mount มีลักษณะเป็นที่นิยมอย่างสูงเพราะ เนื่องจากมีขนาดเล็ก ประหยัดพื้นที่ และมีประสิทธิภาพสูง LED ชนิดนี้มีค่าความสว่างต่อวัตต์ที่สูงมากส่วนประกอบหลักที่สร้างแสงขึ้นมา โดยทั่วไปแล้ว ซิป LED ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภท Gallium Arsenide (GaAs), Gallium Phosphide (GaP) หรือ Indium Gallium Nitride (InGaN) ซึ่งมีการเจือสาร (Doping) สามารถติดตั้งบนพื้นผิวของแผงวงจรพิมพ์ (PCB - Printed Circuit Board) ได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีขาเสียบเหมือน LED แบบเก่า (Through-hole LED)



รูปที่ 2.3 LED แบบ surface mount ที่มา

https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=10539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **LED Strip light** คือการเรียงตัวกันของเม็ด LED หลายๆเม็ดเป็นแนวเส้นตรงเหมือนเป็นเส้นไฟตรงๆ จึงได้มีการเรียกกันว่าไฟเส้น LED นั้นเองหรือที่เราเรียกกันว่าไฟเส้นนั้นมีหลากหลายแบบและหลากหลายเกรดให้เราได้เลือกใช้ ซึ่งแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติและการใช้งานที่แตกต่างกันไปในบางรุ่นก็จะมีคุณสมบัติพิเศษในการเปลี่ยนสีได้ อย่างเช่น RGB strip light color series โดยควบคุมจากรีโมทคอนโทรลโดยที่จะมีชิพในการสั่งงานอยู่ภายในตัวของ LED แต่ละดวง และนำมาเรียงต่อกันเป็นเส้นยาวดั่งแสงดังรูปที่ 2.4



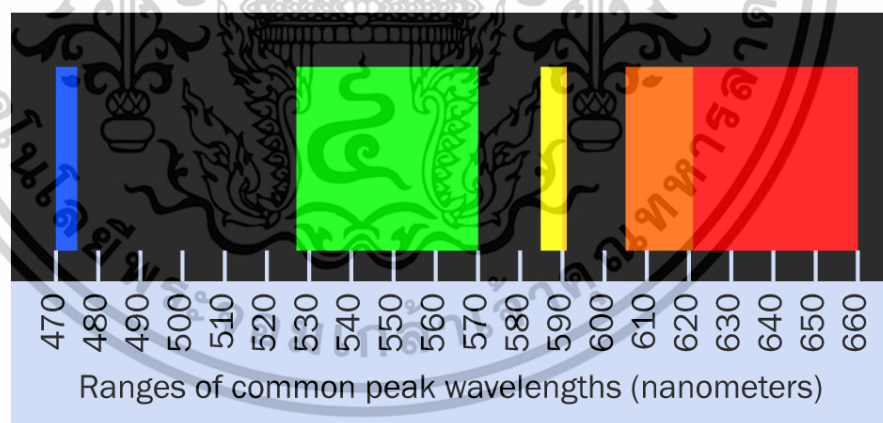
รูปที่ 2.4 LED strip light ที่มา <https://www.amazon.co.uk/KXZM-Individually-Addressable-Waterproof-Controller/dp/B0922W3G3R>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและความยาวคลื่นทั่วไปของ LED

วัสดุเซมิคอนดักเตอร์	สีของ LED	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าแรงดัน (V)
GaAsP	สีแดง	621-700	1.6-2.1
GaAsP	สีส้ม	605-620	1.9-2.1
GaAsP:N	สีเหลือง	585-590	2.0-2.4
AlGaP	สีเขียว	527-570	2.4-3.4
SiC	สีน้ำเงิน	470-475	3.2-3.4

ความยาวคลื่นของแสงถูกวัดในหน่วยนาโนเมตร (nm) ซึ่งนาโนเมตรอยู่ที่ 1 พันล้านส่วนของเมตร สเปกตรัมที่มองเห็นนั้นอยู่ในช่วงประมาณ (470 nm) ถึง (660 nm) [10]

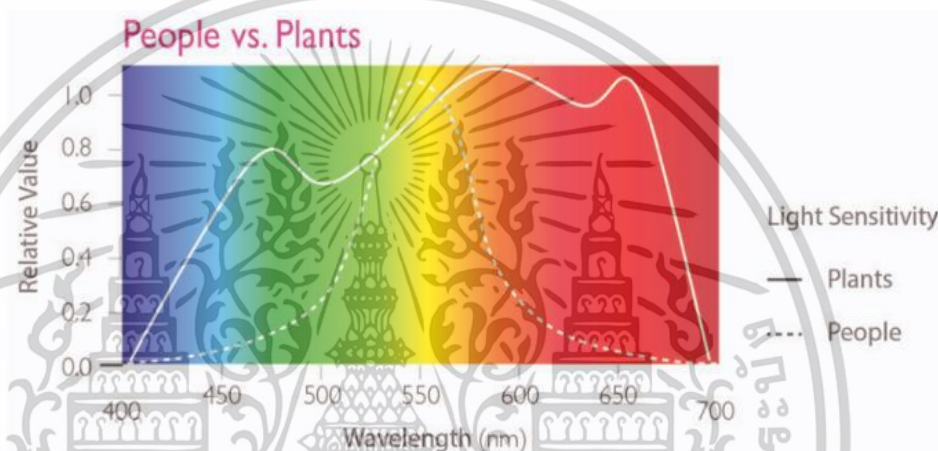


รูปที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นสูงสุดของ LED แต่ละสี ของPlatt, C. (2012).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

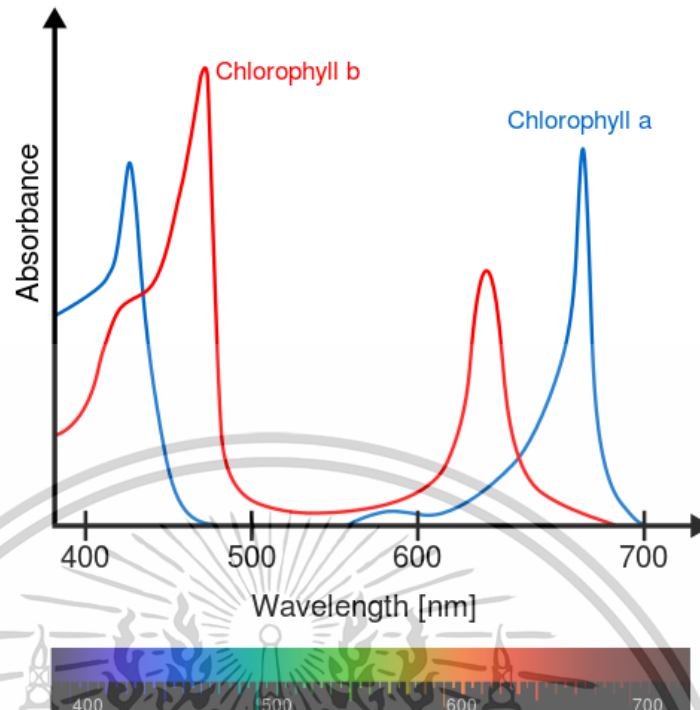
2.3 ปริมาณหน่วยสำคัญที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง

ดวงตาของมนุษย์มีตัวรับแสงที่แตกต่างจากพืชดังนั้นมนุษย์จึงเห็นแสงแตกต่างจากพืช ดวงตาของมนุษย์มีความไวต่อแสงสีเหลืองและสีเขียว เห็นแสงสีแดงและสีน้ำเงินดีที่สุด แต่ไม่สามารถรับรู้แสงอินฟราเรดและรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในทางตรงกันข้ามพืชเห็นคลื่นที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิงกว่ามนุษย์ ตัวรับแสงของพืชนั้นสามารถรับรู้แสงสีน้ำเงินและสีแดงได้ดีและสามารถตรวจจับสเปกตรัมของแสงอื่น ๆ อีกมากมายรวมถึงแสงอัลตราไวโอเล็ตและอินฟราเรด ดังรูปที่ 2.6 [11]



รูปที่ 2.6 การรับรู้แสงระหว่างมนุษย์และพืช ของ Nielsen, V. (2018).

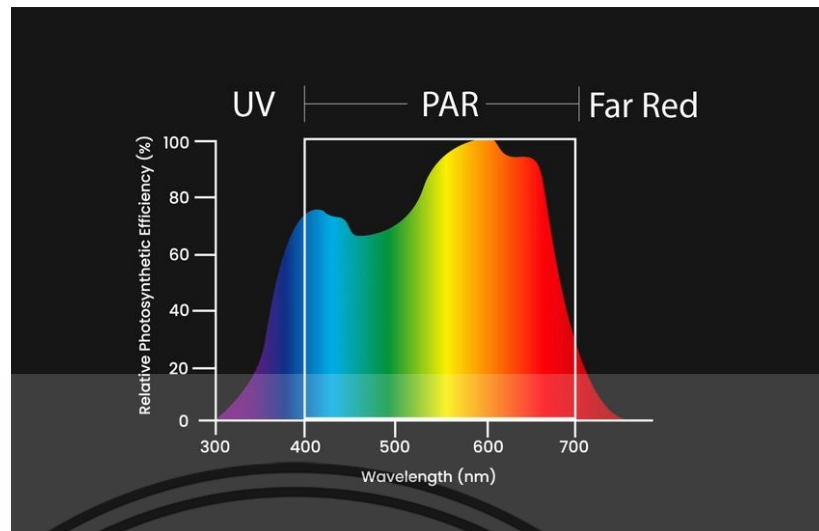
เหตุผลที่ต้องใช้ LED สีแดงและสีน้ำเงิน เนื่องจากคลอโรฟิลล์ของพืชนั้นสามารถดูดกลืนได้ดีในช่วงแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแต่สามารถดูดกลืนช่วงคลื่นแสงสีเหลืองและแสงสีเขียวได้น้อยอย่างที่ทราบว่าเป็นสีเขียวเนื่องจากการสะท้อนคลอโรฟิลล์ในใบไม้ ซึ่งคลอโรฟิลล์จะสามารถดูดกลืนแสงสีแดงได้ดีที่สุดและคลอโรฟิลล์บีสามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินได้ดีที่สุด ซึ่งแสงในช่วงสีแดงจะช่วยสังเคราะห์แสง เป็นสีที่พืชดูดซับมากที่สุด ส่งเสริมการงอกของเมล็ดพืชหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชบางชนิดและยังส่งผลต่อการออกดอกของพืชและแสงสีน้ำเงินช่วยสังเคราะห์แสง ช่วยการตอบสนองของพืชต่อแสงในเรื่องการเบนหรือโค้งงอเข้าหาแสงของพืช ดังแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ชนิด A และชนิด B ของ Nielsen, V. (2018)

- การใช้หน่วยวัดที่ต่างกันได้ **ลูเมนเทียบกับ PAR ในทางเกษตร** ใช้ลูเมนเป็นหน่วยวัดเพื่อเปรียบเทียบความสว่างของแสงทั่วไป ซึ่งมีประโยชน์สำหรับแสงสเปกตรัมสีเหลือง/เขียว/ส้มที่ดวงตาของมนุษย์รับรู้ไฟสำหรับปลูกพืช ลูเมนจะไม่ให้ข้อมูลที่ความต้องการความสว่างตามที่ตาของเรารับรู้ ไม่ใช่ตัวบ่งชี้ที่เชื่อถือได้ในการให้แสงที่เหมาะสมแก่พืช นั้นเป็นสาเหตุที่ไม่ใช้ลูเมนเพื่อวัดไฟ LED เต็บโต อุตสาหกรรมแสงสว่างในโรงงานมุ่งเน้นไปที่ PAR ซึ่งย่อมาจากการแผ่รังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง พืชส่วนใหญ่ใช้สเปกตรัมสีน้ำเงินและสีแดงเพื่อการเจริญเติบโต แม้ว่าสายตามนุษย์จะไวต่อสีเขียว เหลือง และส้มก็ตาม พืชไม่ได้ต้องการแค่กำลังส่องสว่างสูงเท่านั้น แต่ต้องการแสงสว่างมากในช่วง PAR ดังรูปที่ 2.8 [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



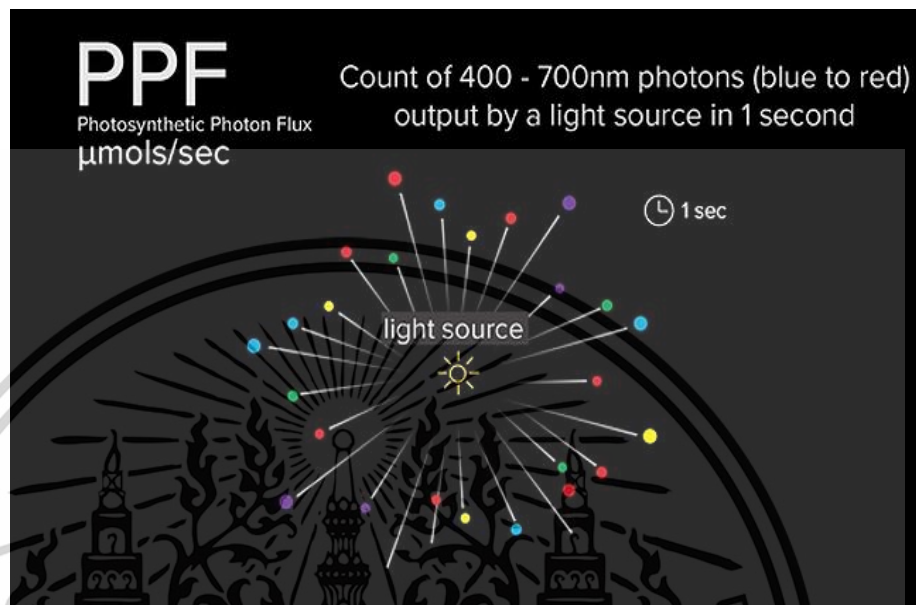
รูปที่ 2.8 ช่วงความยาวคลื่นของ PAR ที่พืชใช้งานในการสังเคราะห์แสง ของ Vanten LED. (n.d.).

- การแผ่รังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง PAR หมายถึงสเปกตรัมที่มีประสิทธิภาพของแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ครอบคลุมสเปกตรัมแสงที่มองเห็นได้ตั้งแต่ 400 ถึง 700 nm ในเชิงสเปกตรัม ซึ่งรวมถึงความยาวคลื่นทั้งหมดตั้งแต่สีน้ำเงินไปจนถึงสีแดง มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช เนื่องจากให้พลังงานแสงที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อแสงตกกระทบใบพืช คลอโรฟิลล์และเม็ดสีอื่นๆ จะดูดซับโฟตอนและแปลงให้เป็นพลังงานเคมีและเริ่มการสังเคราะห์ด้วยแสง การสังเคราะห์ด้วยแสงใช้พลังงานแสงเพื่อแปลงคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้เป็นกลูโคสและออกซิเจนพร้อมทั้งปล่อยออกซิเจน พืชใช้กลูโคสที่ผลิตขึ้นเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเติบโต

- โฟตอนสังเคราะห์ด้วยแสง PPF คือการวัดปริมาณ PAR ทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อวินาที การวัดที่เหมาะสมที่สุดคือการบอกว่าสามารถผลิตแสง PAR ได้มากน้อยเพียงใดเรียกว่า PPF มีหน่วยวัดเป็นไมโครโมลต่อวินาที ($\mu\text{mol/s}$) และเป็นวิธีประเมินปริมาณพลังงานแสงทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง โดยไม่คำนึงถึงทิศทางของแสงโดยจะคำนึงความสามารถของระบบแสงสว่างอย่างครอบคลุมของจำนวนโฟตอนสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการสังเคราะห์ด้วยแสง ตัวชี้วัดนี้มีความสำคัญในคำนวณความสามารถโดยรวมของแหล่งกำเนิดแสงในการรองรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของการปลูกพืชในร่มจำนวนโฟตอนทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยพืช เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการ

เจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช พืชใช้ PAR สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยแปลง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

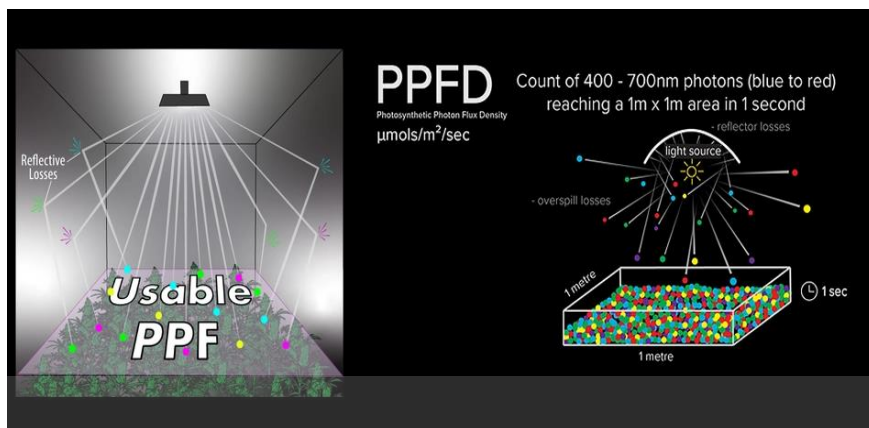
พลังงานแสงเป็นพลังงานชีวเคมี PPF ที่สูงขึ้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช การออกดอก และการพัฒนาของผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมในร่มที่พลังงานแสงมีจำกัดดังแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การวัด PPF จำนวนโฟตอนในหนึ่งวินาทีหน่วย ของ Vanten LED. (n.d.).

- ความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนสังเคราะห์ด้วยแสง PPFD (PPFD) วัดปริมาณของ PAR ที่ไปถึงพื้นที่ที่กำหนด โดยระบุความเข้มของแสงที่ตกกระทบทุกส่วนของปากใบหรือพื้นผิวของใบ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกเพราะจะอธิบายว่าแสงส่งผลต่อพืชอย่างไร มีหน่วยเป็น $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ซึ่งแสดงถึง PPF ภายในหนึ่งตารางเมตร ซึ่งก็คือจำนวนโฟตอน PAR ที่ตกลงบนพื้นผิวเพาะปลูกต่อวินาที การเปลี่ยนแปลงระยะทางส่งผลต่อความเข้มของแสง PAR ที่วัดจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังพื้นผิวพืชเนื่องจากกฎกำลังสองผกผัน ก็คือ ความเข้มจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและพื้นผิวพืชเพิ่มขึ้น ดังแสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการวัดของหน่วย PPFD ของ Vanten LED. (n.d.).

2.4 แสงและสีกับการเจริญเติบโตของพืช

พืชใช้แสงจากดวงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่พืชแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช โมเลกุลที่พืชใช้ในการดูดซับแสง เรียกว่า รงค์วัตถุ (pigments) หรือสารสี ซึ่งสารสีแต่ละชนิดมีการดูดซับช่วงคลื่นแสงที่แตกต่างกัน โดยสารสีที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ

- สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) สามารถดูดซับคลื่นในช่วงแสงสีแดงและสีน้ำเงินได้มากกว่าช่วงคลื่นแสงสีเขียว ทำให้เราสามารถมองเห็นพืชเป็นสีเขียว เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นแสงสีเขียวที่อยู่ในช่วงแสงที่ตามองเห็นได้
 - สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) สามารถดูดซับคลื่นในช่วงแสงสีแดงและสีน้ำเงินได้มากกว่าช่วงคลื่นแสงสีเขียว ทำให้เราสามารถมองเห็นพืชเป็นสีเขียว เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นแสงสีเขียวที่อยู่ในช่วงแสงที่ตามองเห็นได้
- โดยที่แสงและสีแต่ละช่วงนั้นให้ผลความเจริญเติบโตที่ต่างกันดังนี้

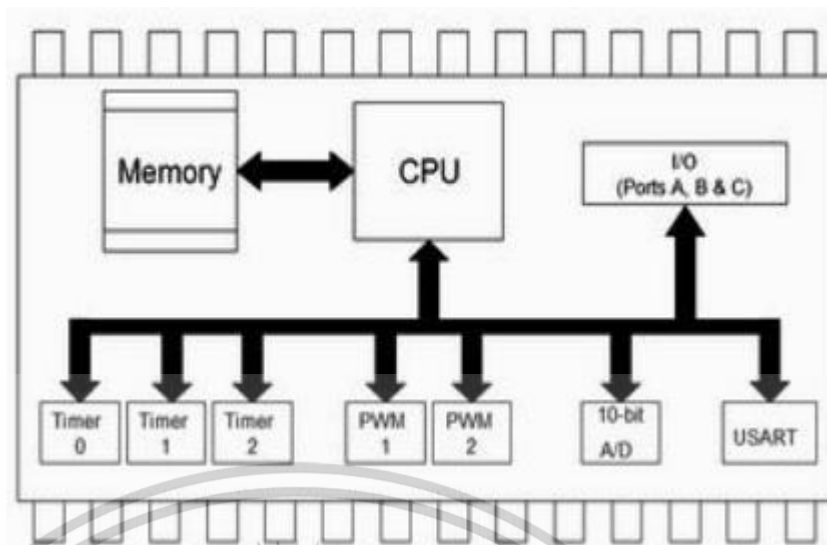
- แสงสีน้ำเงิน (400–520 นาโนเมตร) มีผลต่อปริมาณของคลอโรฟิลล์ และการเจริญเติบโตของใบพืช รวมทั้งการสร้างรากในระยะแรกของพืช (veg stage/ growth) แต่ไม่ควรให้แสงสีฟ้ามากเกินไปในพืชบางชนิด เพราะอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้
- แสงสีแดง (630–660 นาโนเมตร) จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลำต้นและการขยายตัวของใบ รวมทั้งมีผลกับพืชเมื่ออยู่ในช่วงที่เริ่มออกดอก (flowering) จึงเหมาะกับพืชที่เราต้องการผลมากกว่าพืชใบ
- แสงสีเขียว (500–600นาโนเมตร) ถึงแม้พืชจะนำมาใช้น้อยที่สุด แต่ก็ยังมีผลกับใบพืชที่อยู่ด้านล่าง เนื่องจากแสงสีเขียวทะลุผ่านได้ดีกว่า ทำให้พืชได้รับแสงอย่างทั่วถึง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์คืออุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ ที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่างๆไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรมหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความสมบูรณ์ในตัวของมันเอง ทำให้มีขนาดเล็กและสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่เชื่อมต่อ ไปประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็กและคำว่า คอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กแต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับ ระบบคอมพิวเตอร์ที่คนโดยส่วนใหญ่ เคยกล่าวคือ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอา ซีพียูหน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก สำคัญ ของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกันโดยทำ การบรรจุเข้าไว้ในตัวถึงเดียวกัน ความแตกต่างของ Microcontroller กับ Microcomputer คือ Microcontroller มีความสมบูรณ์ภายในตัวของมันเองคือ มีส่วนประกอบต่างๆ ครบถ้วนส่วน Microcomputer ต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ข้างเคียงที่เชื่อมต่อจากภายนอกเช่น แป้นพิมพ์เครื่องอ่านเขียนแผ่นบันทึกหน่วยความจำ I/O ฯลฯ [14]

- ข้อแตกต่างระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบัน จะไม่มีหน่วยความจำ RAM, ROM และPort อยู่ในตัวทำให้ต้องต่อหน่วยความจำ โปรแกรมภายนอกเพิ่มและต้องใช้ ICs ขยายพอร์ตเพิ่มเติม ข้อดีคือสามารถเพิ่มหน่วยความจำ ได้ตลอด ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีวงจรพื้นฐานประกอบอยู่ภายในชิป เช่น หน่วยความจำ RAM, ROM และ I/O Port ดังนั้น ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีขนาดเล็กกว่า และราคาต่ำกว่าระบบไมโครโปรเซสเซอร์
- โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ ดังแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ ของ Wattanawongpaiboon, P. (2007).

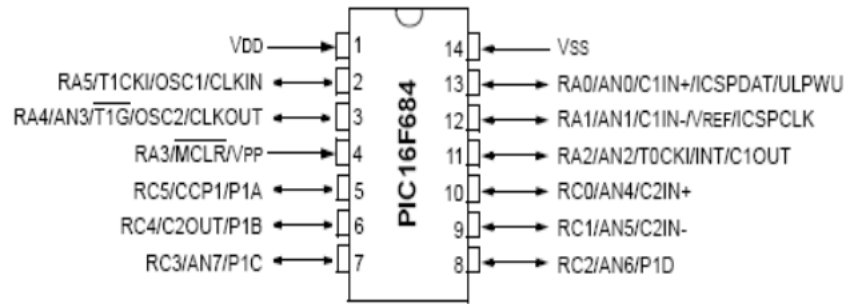
- หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานหรือประมวลผลตามชุดของคำสั่งเครื่องจากซอฟต์แวร์คำสั่งเริ่มใช้ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ต้นศตวรรษ 1960 หน่วยประมวลผลเปรียบเสมือนเป็นสมองของคอมพิวเตอร์ในการทำหน้าที่ตัดสินใจหรือคำนวณจากคำสั่งที่ได้รับมาเช่น การเปรียบเทียบ การกระทำการทางคณิตศาสตร์ ฯลฯ โดยมีกระบวนการพื้นฐานคือ
 - อ่านชุดคำสั่ง (Fetch)
 - ตีความชุดคำสั่ง (Decode)
 - ประมวลผลชุดคำสั่ง (Execute)
 - อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ (memory)
 - เขียนข้อมูล/ส่งผลการประมวลกลับ (write back)
- หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะคือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยงอีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานทดในการคำนวณของซีพียูและเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปแต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรมซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

- **ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port)** มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ต เอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากใช้ร่วมกันระหว่าง พอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณอาจจะด้วยการกดสวิตช์เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไป พอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
- **ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS)** คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูล ระหว่าง ซีพียูหน่วยความจำและพอร์ตเป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus) บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลเพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถประมวลผลของซีพียูสำหรับในงานทั่วไปขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิต และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16,32 และ 64 บิต บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของ หน่วยความจำโดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้นซีพียูต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อนดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรส จึงต้องมีจำนวนมากยิ่งมากเท่าไรก็จะเป็นการแสดงขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับได้โดยสามารถคำนวณได้จาก จำนวนแอดเดรสของหน่วยความจำ = 2 ยกกำลัง n (n คือจำนวนของเส้นทาง) ยกตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้ 2 ยกกำลัง $10 = 1,024$ ตำแหน่งหากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริงๆ จะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลก่อนว่าเป็นเท่าใดหากเป็น 8 บิต ความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้น จะเท่ากับ $8 \times 1024 = 8,192$ บิต และ 1 กิโลไบต์เท่ากับ 1,024 ไบต์ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าว จึงมีความจุของหน่วยความจำ เท่ากับ 8,192 บิต
- **วงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกา (Clock)** นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับการทำงานจังหวะหากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย **ดังแสดงดังรูปที่ 2.12**

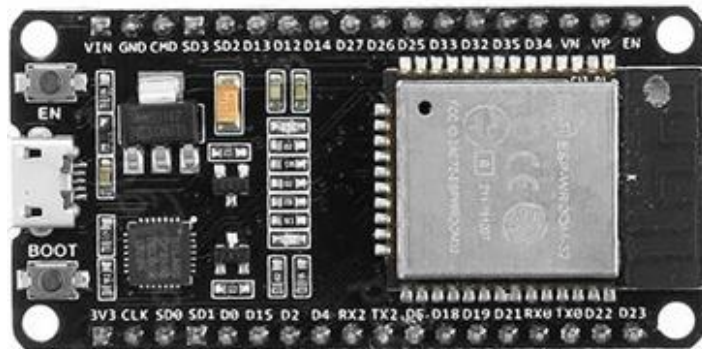
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16f684 ของ Wattanawongpaiboon, P. (2007).

- ESP32 เป็น Micro Controller ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi , Bluetooth – BLE ภายในตัว ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคือ ภาษา C หรือ Python ภาษา Python ต้องทำการอัปเดตเฟิร์มแวร์ให้รองรับ Python การพัฒนาโปรแกรมขึ้นอยู่กับผู้ที่พัฒนาโปรแกรม IDE ที่ใช้พัฒนาคือ Arduino IDE หรือ Visual Studio สำหรับ Visual Studio จำเป็นต้องติดตั้ง Plugin Espressif IDF หรือ PlatformIO IDE และต้อง Enable (Arduino) ESP32 รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ BLE หรือ Bluetooth ได้โดยไม่ต้องซื้อโมดูลเพิ่มเติม บอร์ด ESP32 ยังมีการทำงานที่แบ่งเป็น 2 Core และ Pin I/O เลือกฟังก์ชันการทำงานได้ใน Pin เดียวกันเช่น การแปลง Analog to Digital หรือ Digital to Analog การเชื่อมต่อ SD Card Camera PWD RTC และ Touch เป็นต้น Board ESP32 Develop kit เป็นบอร์ดรุ่นแรก ที่มีราคาไม่สูงมากและมี Wi-Fi 802.11b/g/n Wi-Fi, BT 4.0, BLE แล้วยังมี CPU 2 Core อยู่ในบอร์ดเดียวกัน มีความเร็วสูงสุด 240Mhz , 520KB of SRAM สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino , Micro Python และอื่นๆ ได้บอร์ดesp32 มีขาทั้งหมด 30 pin และ 36 pin ไว้ใช้งานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ดังแสดงดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ESP wroom-32 36pin ของ V89 Infinity Technology. (2021)

- Power Pins: รับพลังงานได้สูงสุดไม่เกิน 5V และ 3.3V สำหรับจ่ายให้กับขาที่เชื่อมต่อกับบอร์ด ESP32
- ADC (Analog to digital): เป็นการแปลงกระแสไฟฟ้า Analog ให้เป็น Digital มีทั้งหมด 18 ขา และ มีความละเอียดอยู่ที่ 12 บิต หรือ ขาที่เป็น ADC1_CH0 (GPIO32)
- DAC (Digital to Analog) Channels: เป็นการแปลงกระแสไฟฟ้าที่เป็น Digital ให้เป็น Analog มีทั้งหมด 2 ขา (DAC_1 (GPIO25) DAC_2 (GPIO26) และมีความละเอียดอยู่ที่ 8 บิต
- PWM Pins: เป็นขาที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Motors และ LED ที่เป็นการควบคุมแบบใช้คลื่นนาฬิกา หรือ 0/1 ในการควบคุม จะมีอยู่ทั้งหมด 25 ขา หรือทุกขาที่อยู่บนบอร์ด ESP32
- EN or Enable Pin: EN เป็นปุ่ม Enable ขานี้จะมีกระแสไฟอยู่ที่ 3.3V เมื่อมีการกดปุ่มจะเป็นเหมือนปุ่ม Reset micro controller [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

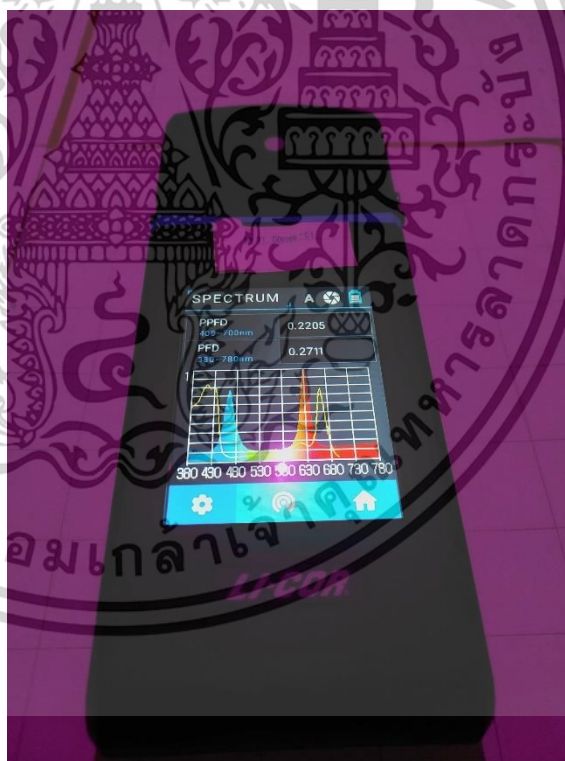
2.6 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

สเปกโตรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทัศนศาสตร์สำหรับการวัดคุณสมบัติของแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่งๆ ของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อธิบายอย่างง่าย คือ สเปกโตรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกตามความยาวคลื่นต่างๆ เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ศึกษาองค์ประกอบของสเปกตรัมหนึ่งๆ ตัวอย่างของสเปกโตรมิเตอร์อย่างง่ายที่สุดชนิดหนึ่งคือ ปริซึม (prism) ซึ่งเราทราบมาแล้วว่าแสงขาว (visible light) ประกอบไปด้วยแสงสีต่างๆ (อย่างน้อยต้องประกอบด้วยแสงปฐมภูมิ) ซึ่งในสภาวะปกติตาเราไม่สามารถแยกแยะแสงสีทั้งหลายที่รวมกันเป็นสีขาวได้แต่เมื่อแสงขาวเดินทางผ่านปริซึม แสงสีต่างๆ จะหักเหผ่านปริซึมด้วยมุมที่แตกต่างกัน เราจึงเห็นสีต่างๆ เป็นสีรุ้งนั่นเอง หลักการคือเครื่องมือวัดเชิงแสงชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดคุณสมบัติเฉพาะของแสงได้แก่ สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นำไปใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อระบุชนิดของสสาร ผลการวัดที่แตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน แต่บางทีก็อาจเกิดจากปรากฏการณ์โฟลตาไรซ์ก็ได้ ตัวแปรอิสระได้แก่ ความยาวคลื่นของแสง มักระบุเป็นหน่วยย่อยของเมตร หรือบางครั้งก็ระบุเป็นสัดส่วนของพลังงานโฟตอน เช่น หมายเลขคลื่น หรืออิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นอยู่แล้ว เราใช้สเปกโตรมิเตอร์ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกโทรสโกปี โดยสร้างเส้นสเปกตรัมขึ้น และตรวจวัดความยาวคลื่นกับความเข้ม สามารถวัดได้ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ ไปจนถึงรังสีอินฟราเรดไกล ถ้าย่านความถี่ของคลื่นที่สนใจตกอยู่ในย่านของสเปกตรัมที่ตามองเห็น มักเรียกการศึกษาเช่นนั้นว่า spectrophotometry โดยหลักการทั่วไปของการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวที่มีพลังงานที่เหมาะสมนั้นไปที่วัสดุตัวอย่างจะทำให้เกิดการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของสสารนั้นๆ ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงดังกล่าว ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วเกิดการคายพลังงานออกมาอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมในรูปของความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งตัวเครื่องจะทำการ detect ช่วงของพลังงานเหล่านั้น เพื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านการสะท้อน และการส่องผ่านจากวัสดุตัวอย่าง แล้วนำมาทำการเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของ Beer-Lambert โดยค่าการดูดกลืนแสงหรือ ค่า absorbance ของสสารนั้นๆ [16-17]

- LI-180 Spectrometer LI-180 รวมการวัดสเปกตรัมแบบถือด้วยมือที่แม่นยำเข้ากับอินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่าย วัดการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจริงจากการปรับสเปกตรัม การปรับความสูง และการวางตำแหน่ง LI-180 จะบันทึกตัวแปรต่างๆ มากมาย รวมถึง PAR (เช่นความหนาแน่นของโฟตอนสังเคราะห์แสงเฉพาะสี (PPFD) ความหนาแน่นของโฟตอนฟลักซ์ (PFDF) การฉายรังสี (W/m²) และอื่นๆ เลือกการวัดเพื่อดูรายละเอียด เช่น อัตราส่วนของสีแดงต่อสีน้ำเงินหรือความเข้มของสีแดงต่อสีแดงเข้ม ซึ่งมีความสามารถที่ระบุได้ดังนี้ ดังแสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงความยาวคลื่น: 380 ถึง 780 nm
- แบนด์วิธสเปกตรัม: ประมาณ 12 nm
- ช่วงการวัด: 70 – 150,000 lux 0.5 – 1,000 วัตต์/ตร.ม. (การฉายรังสี)
1 – 3,000 ไมโครโมล m⁻² s⁻¹ (PPFD)
- ตัวตรวจจับ: เซ็นเซอร์รับภาพเชิงเส้น CMOS
- ความสามารถในการทำซ้ำของความยาวคลื่น: ± 1 นาโนเมตร
- ความแม่นยำของพาร์: ± 5%
- ความแม่นยำในการส่องสว่าง: ± 5%
- ความละเอียดดิจิทัล: 16 บิต
- ความสามารถในการวัด: PPFD สำหรับแถบคลื่น PAR Wavebands แบบกำหนดเอง อัตราส่วน Waveband เริ่มต้น และอัตราส่วน Waveband แบบกำหนดเอง [18]



รูปที่ 2.14 เครื่อง Spectrometer Li-180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง “The research on LED supplementary lighting system for plants” จากวารสาร Optik

แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสามารถนำมาใช้เพื่อทำให้ผักโตเร็วขึ้นในระบบการผลิตพืชแบบปิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ความเข้มของแสงไม่เพียงพอ เพื่อศึกษาการปรับปรุงอัตราการเติบโตของมะเขือเทศเชอร์รี่โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง LED เราได้ออกแบบระบบไฟ LED สีแดงและสีน้ำเงิน (การกระจายสเปกตรัมสัมพัทธ์) ในอัตราส่วนที่แน่นอนและดำเนินการผลิตระบบแสงเสริม LED เราดำเนินการติดตามสถานการณ์การเติบโตของมะเขือเทศเชอร์รี่กลุ่มหนึ่งภายใต้ระบบ LED และกลุ่มอื่น ๆ ของมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ไม่มีระบบไฟเสริม LED สังเกตและเปรียบเทียบกับผลการเจริญเติบโตของมะเขือเทศสองกลุ่มในช่วงเวลาที่ต่างกัน ในการทดลองของใช้ระบบเสริมแสงกับ LED สีแดงและสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่นสูงสุดคือ 650 นาโนเมตรและ 460 นาโนเมตรตามลำดับและอัตราส่วนการกระจายสเปกตรัมสัมพัทธ์คือ 4 : 1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบไฟส่องสว่างเสริม LED ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของมะเขือเทศอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความแตกต่างของความยาวคลื่นระหว่างขั้นตอนการเจริญเติบโตของใบและการเจริญเติบโตของใบและช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผลไม้บ่งชี้ว่าความนี้แสดงสวิตช์ตัวเลือกสัดส่วนแสงสีแดงและสีน้ำเงินที่สามารถนำไปใช้กับระบบไฟ LED ดังแสดงดังรูปที่ 2.15 [19]

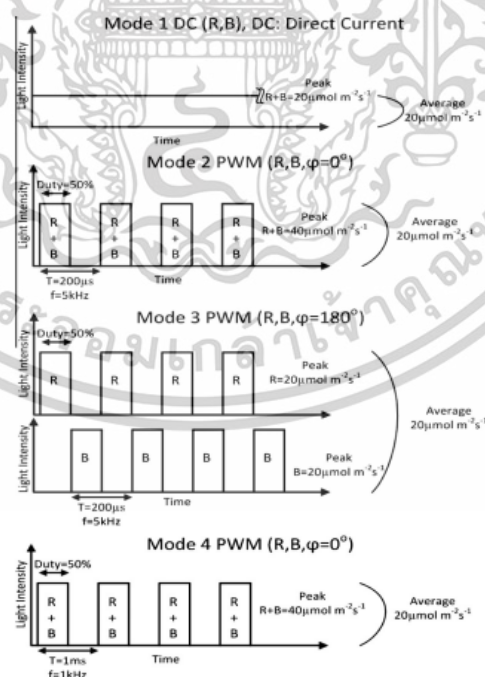


รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบสถานการณ์การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศของทั้งสองกลุ่ม หลังจากสามสัปดาห์ ของ (Xu et al.,2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยเรื่อง “Pulse timing control for LED plant growth unit and effects on carnation ” จากวารสาร Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลของการเจริญเติบโตของคาร์เนชั่นโดยใช้หลอดLEDในโหมดการทำงานต่าง ๆ ต่อการทำงานในสภาพแวดล้อมเรือนกระจกแบบอัตโนมัติ หน่วยการเจริญเติบโตของพืชที่เกี่ยวข้องกับหลอดLEDสีแดงและสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน (Mod1, Mod2, Mod3, Mod4) ถูกป้อนในโหมดที่แตกต่างกันและผลกระทบที่มีต่อดอกคาร์เนชั่นเมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุม ดังนั้นการทำงานจะทำงานด้วยโหมดการทำงานที่แตกต่างกันสี่โหมด การควบคุมจังหวะของพัลส์ (เฟสของรูปแบบคลื่น) ระหว่างแสงสีแดงและสีน้ำเงินในการหรี่แสง PWM ได้รับการตรวจสอบ การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาในการพัฒนาดอกคาร์เนชั่นการเจริญเติบโตและระยะบานได้ถูกนำมาเปรียบเทียบ ในการใช้แสงที่แตกต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองปากใบพื้นที่ใบเนื้อหาคลอรอฟิลล์และดอกไม้ในดอกคาร์เนชั่นเมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุม ได้รับผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในทุกพารามิเตอร์ที่ศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Mod 2 ในขณะที่เราได้รับผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแย่กว่าในการนำ Mod 3 ไปใช้งานมากกว่าการใช้งานควบคุม ดังแสดงดังรูปที่ 2.16 [20]

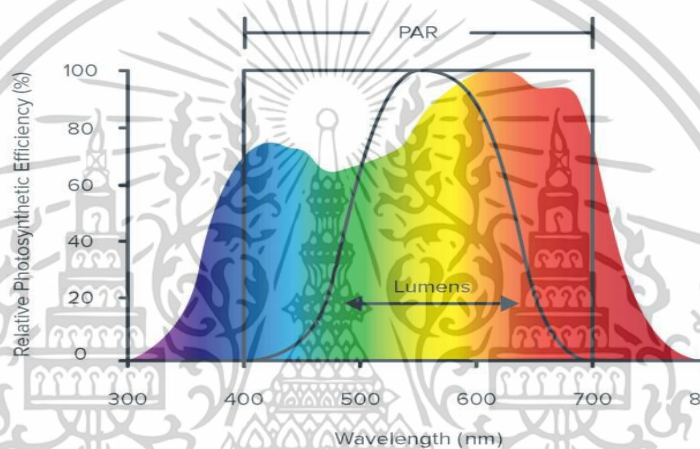


รูปที่ 2.16 หน่วยการเจริญเติบโตของพืชที่เกี่ยวข้องกับ LED ของ (Senol et al, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยเรื่อง “การออกแบบแสงด้วยหลอดLEDส่องสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคารโดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน” จากวารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร

การเพาะปลูกพืชในอาคารช่วยทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูงตลอดทั้งปี โดยการควบคุมแสงเทียมเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง อัตราการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านคุณภาพ ปริมาณ และระยะเวลาของแสง ปริมาณแสงของพืชเรียกว่า ส่วนปริมาณโฟตอนที่ตกลงบนพื้นผิว PAR เรียกว่า PPFD โดยผลรวมของค่า PAR ที่ได้รับต่อวันหรือค่า DLI เป็นตัวแปรสำคัญในการเพาะปลูกพืชในอาคาร บทความนี้แสดงให้เห็นถึงการว่าค่าประกอบจากค่าโฟตอนเป็นค่าความสว่างของLED ดังแสดงดังรูปที่ 2.17 [21]

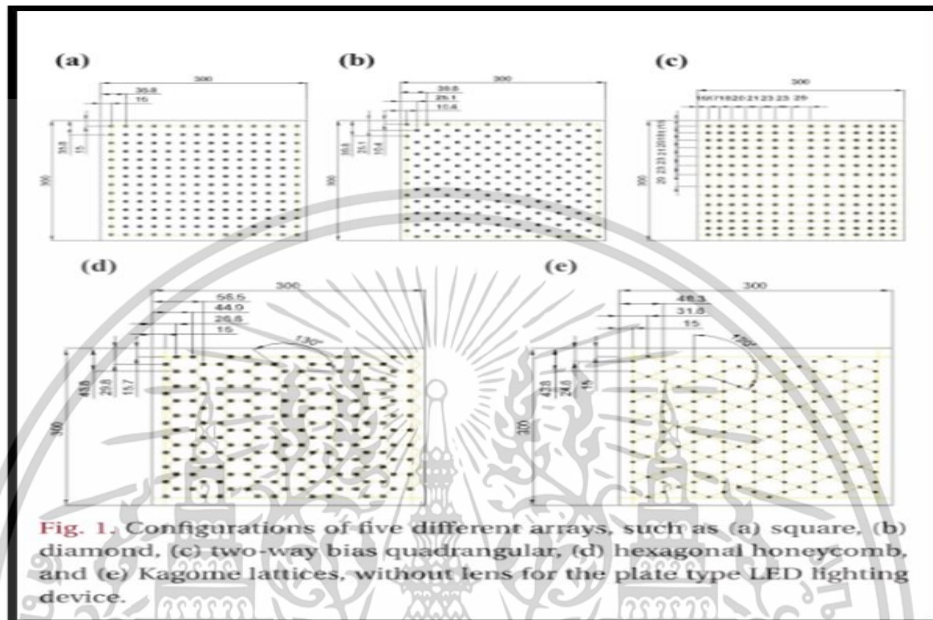


รูปที่ 2.17 การตอบสนองโดยเฉลี่ยของพืชต่อการแผ่รังสีที่ใช้แสงสังเคราะห์ ของ กรวิทย์ กระจ่างพันธ์(2561)

งานวิจัยเรื่อง “การจำลองลักษณะการกระจายความสว่างและความหนาแน่นของโฟตอนจากการจัดเรียงหลอด LED” จากวารสาร TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC MATERIALS

งานวิจัยนี้เป็นการใช้โปรแกรมการจำลองการจัดเรียงรูปแบบไฟ LED เพื่อศึกษาในส่วนค่าความสม่ำเสมอ ค่าความเข้มแสงของโฟตอนflux โดยประกอบไปด้วยการจัดเรียงไฟ LED ทั้งหมด 5 รูปแบบด้วยกันทั้งหมดได้แก่ (a) square, (b) diamond, (c) two-way bias quadrangular, (d) hexagonal honeycomb (e) Kagome lattices โดยที่งานวิจัยจะเน้นไปที่การวิเคราะห์การออกแบบการจัดวางหลอด LEDแต่ละรูปแบบมีผลลักษณะใดบ้างที่เกิดข้อแตกต่างกัน และการทำความเข้าใจลักษณะเหล่านี้จะช่วยในการออกแบบระบบไฟ LED ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในงานวิจัยของเราเลือกที่จะใช้การจัดเรียงในรูปแบบ b (diamond) เนื่องจากมีการติดตั้งที่ง่ายสะดวกถึงแม้ว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าความสม่ำเสมอเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรูปแบบ e (Kagome lattice) โดยทำการแก้ปัญหาโดยทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพค่าความสม่ำเสมอภายในการทดลอง ดังแสดงดังรูปที่ 2.18 และ 2.19 [22]



รูปที่ 2.18 รูปแบบลักษณะการจัดเรียงไฟ LED ทั้ง 5 รูปแบบ ของ Jeon(2012)

Table 1. Optical simulation results of five different arrays and number of LEDs.

Lattice structure	Number of LEDs arranged	Uniformity ratio of illumination (%)	photosynthetic photon flux density ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
			Max	Min
Square	198	55.23	342.2	189.0
Diamond	190	56.24	356.3	200.4
Two-way Bias	198	58.61	339.1	199.1
Honeycomb	191	55.37	347.1	192.2
Kagome	190	62.31	331.4	206.5

รูปที่ 2.19 ตารางสรุปผลการทดลอง LED ทั้ง 5 รูปแบบ ของ Jeon(2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

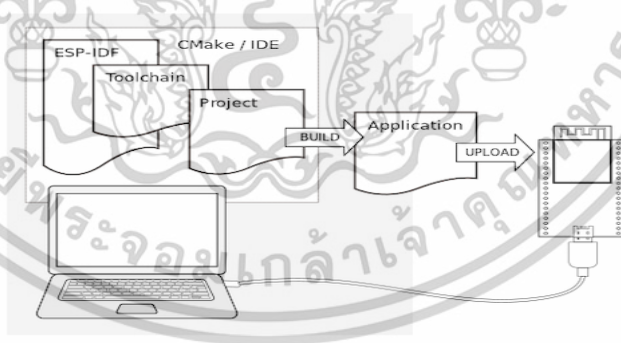
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบแสงเทียมเพื่อเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและอธิบายการติดตั้งประกอบอุปกรณ์ภายในชั้นปลูก โดยจะอธิบายออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของอุปกรณ์และการติดตั้ง ส่วนของโปรแกรมการใช้งาน ส่วนของการทดลองการวัดค่า ซึ่งในแต่ละส่วนจะอธิบายหน้าที่การทำงานต่าง ๆ ของการใช้งานอื่น ๆ ทั้งการวัดค่า PPFD ภายในชั้นปลูก การใช้งานเครื่อง Spectrometer ตามลำดับส่วนกล่าวไว้ข้างต้น

3.1 การเขียนโปรแกรมและการออกแบบการใช้งานเพื่อควบคุมแสงไฟ LED ภายในชั้นปลูก

ภายในขั้นตอนส่วนนี้จะเป็นการอธิบายการเขียนใช้งานโปรแกรมเพื่อควบคุมไฟ LED ซึ่งเป็นส่วนที่นำไปใช้งานในขั้นตอนการทดลองซึ่งสิ่งที่จะศึกษาคือความยาวคลื่นแสงที่มีความแตกต่างกันออกไปแสดงผลตามการใช้งานของผู้ศึกษาซึ่ง LED ที่ใช้ในการควบคุมทั้งหมดจะใช้จำนวน 3,000 ดวง ภายในชั้นปลูกเพื่อให้สามารถนำไปให้แสงสว่างภายในทั้งชั้นปลูก โดยจะแสดงภาพแผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่รับคำสั่งจากผู้เขียนโปรแกรมระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงดังรูปที่ 3.1

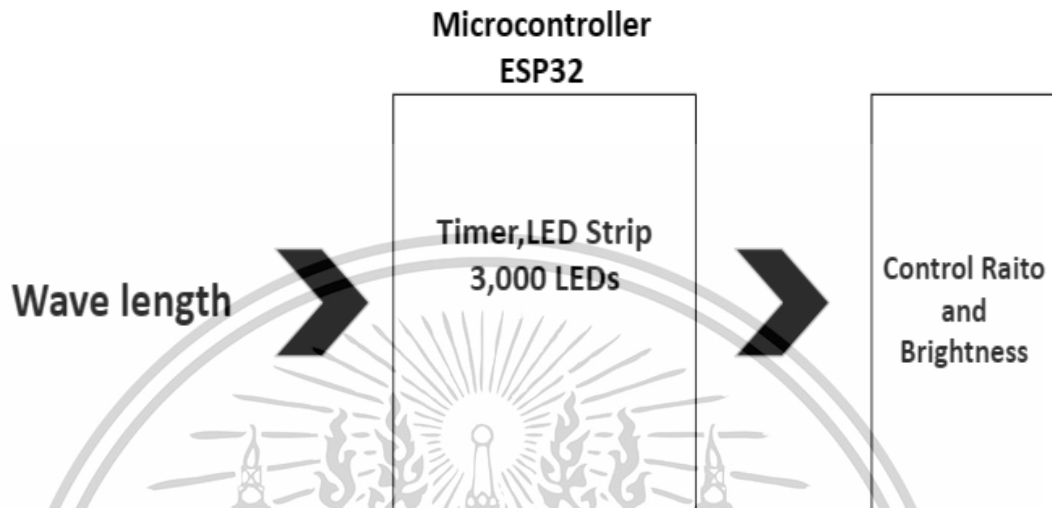


รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโปรแกรมเพื่อควบคุมการใช้งาน

ของ V89 Infinity Technology. (2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

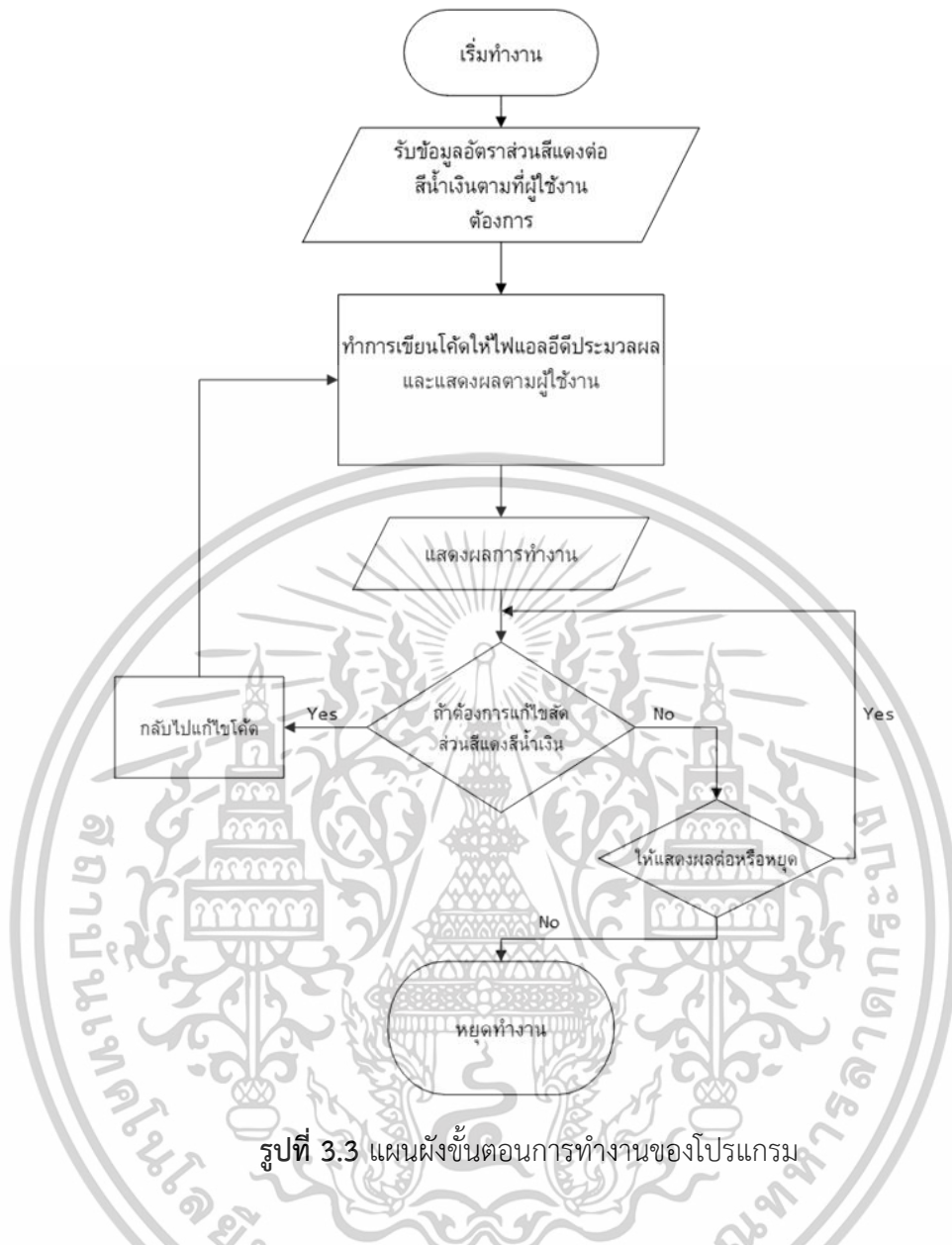
ขั้นตอนการนำการเขียนโปรแกรมไปใช้งานซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนสั่งงานจะใช้ Arduino IDE และจะระบุสิ่งที่ควบคุมภายในชั้นปลุก ดังแสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.2 แนวคิดในการออกแบบควบคุมชั้นปลุก

- ควบคุมในส่วนของความสว่างของจำนวนไฟ LED ตั้งแต่ 0-100% โดยมีจำนวน LED ทั้งหมด 3,000 ดวง
- ควบคุมอัตราส่วนของแต่ละความยาวคลื่นได้หรือเป็นไปตามที่ผู้ใช้งานกำหนด
- ควบคุมการเปิดปิดทำงานของการแสดงผลไฟของชั้นปลุกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

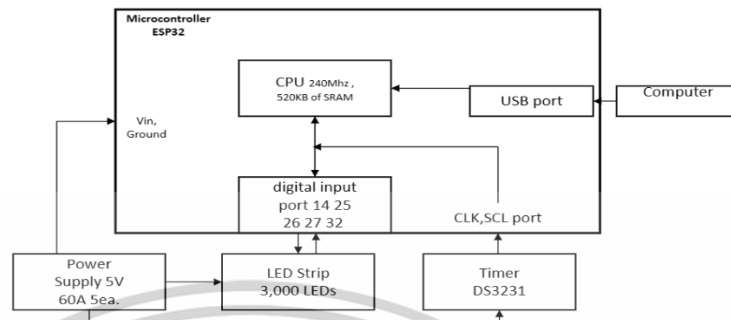
3.2 ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และขั้นตอนการติดตั้งระบบไฟ LED

ในการทดลองการใช้งานไฟ LED ภายในชั้นปลุกนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์หลายชนิดที่ทำหน้าที่แต่ละอย่างภายในระบบได้เพื่อที่จะควบคุมไฟในชั้นปลุกเหมาะสมสำหรับการทดลองได้ โดยจะสามารถแบ่งหัวข้อแต่ละภาคส่วนของประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ 6 ส่วนดังนี้ ดังแสดงดังรูปที่ 3.4

- โครงประกอบชั้นปลุกพีช
- อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์
- อุปกรณ์ไฟเลี้ยงระบบ
- ไฟ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

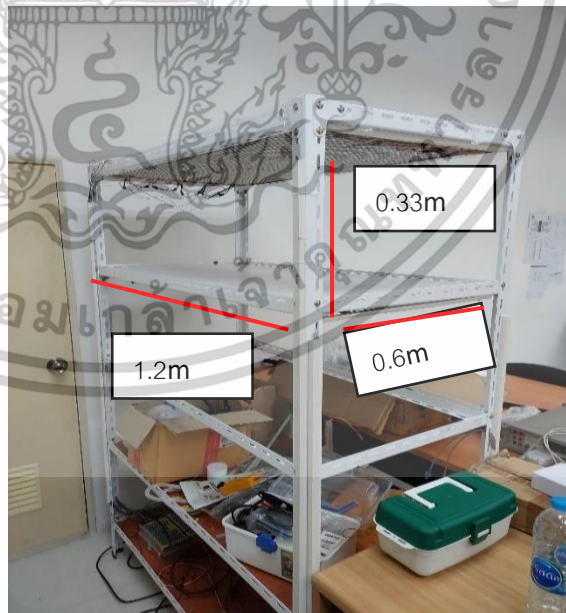
- ของอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ใช้ในการดำเนินงาน
- สเปคโทรมิเตอร์



รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์

- โครงประกอบชั้นปลูกพืช

การออกแบบโครงสร้างชั้นปลูกนั้นจะคำนึงถึงการปลูกพืชเป็นหลัก ต้องแข็งแรงทนทานต่อการรับน้ำหนักต่อปริมาณของพืชที่นำมาปลูกในชั้นเพื่อที่จะไม่ได้รับผลกระทบของเรื่องการเสียหายได้ โดยจะมีขนาด กว้าง 0.6 m ยาว 1.2 m สูง 0.33 m ดังแสดงดังรูปที่ 3.5

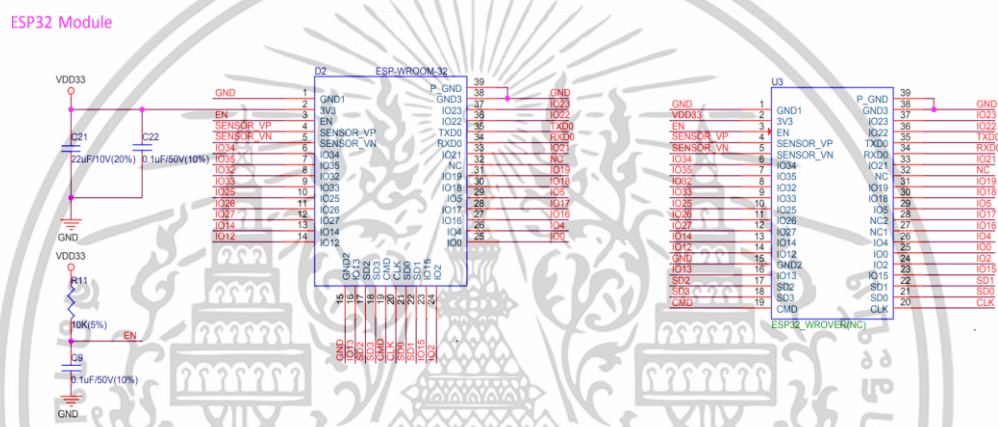


รูปที่ 3.5 โครงเหล็กสำหรับการทำไฟชั้นปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์

ESP32 คือ Wi-Fi microcontroller ที่ถูกพัฒนาต่อจาก ESP8266 โดยเพิ่ม CPU เป็น 2 core, Wi-Fi ที่เร็วขึ้น, มีขา GPIO ให้ใช้งานมากขึ้น และรองรับ Bluetooth อีกด้วย นอกจากนี้ ESP32 ยังมาพร้อมทั้ง touch-sensitive pins ที่สามารถใช้ปลุก ESP32 จากโหมด deep sleep บอร์ด ESP32 เองยังมีการทำงานที่แบ่งเป็น 2 Core และ Pin I/O เลือกลงการทำงานได้ใน Pin เดียวกัน เช่น การแปลง Analog to Digital หรือ Digital to Analog การเชื่อมต่อ SD Card Camera PWD RTC และ Touch LED เป็นต้น โดยใช้ขาเชื่อมต่อสำหรับการส่งข้อมูลหา LED คือ I/O ขา 14 25 26 27 32 ดังแสดงดังรูปที่ 3.6 จะแสดงโครงสร้างและการเชื่อมต่อของ ESP32



รูปที่ 3.6 โครงสร้างหน่วยประมวลผลและขาการเชื่อมต่อของ ESP32 ของ V89 Infinity Technology. (2021)

โดยมีคุณสมบัติสำคัญดังนี้

- ซีพียู : CPU 2 Core อยู่ในบอร์ดเดียวกัน มีความเร็วสูงสุด 240Mhz , สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino , MicroPython มี Wi-Fi 802.11b/g/n Wi-Fi ,BT 4.0,BLE.
- แรม : SRAM 520KB
- จำนวนขาทั้งหมด : 38 ขา ข้างละ 19 ขา
- มีความสามารถอีกหลายหลาย เช่น Capacitive Touch , Hall Sensor, ADCs , DAC , UART , SPI ,I2C
- วงจรปรับแรงดันและไฟเลี้ยง : รับไฟได้ที่ 3.7-5V ปรับแรงดันให้คงที่ 3.3 V เพื่อจ่ายไฟให้กับชิพ ESP32
- มีขาต่อสำหรับ ADC : 18 ขา มีความละเอียดที่ 12 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีขาต่อสำหรับ DAC : 2 ขา มีความละเอียดที่ 8 บิต
- อุปกรณ์ไฟเลี้ยงระบบ

Switching Power Supply (สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย) คือ อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันสูง เช่น 220 VAC ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำ โดย Switching Power Supply จะทำงานในลักษณะเดียวกันกับหม้อแปลงแรงดันทั่วไป แต่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและมีขนาดเล็กกว่า โดยหลักการทั่วไปของ Switching Power Supply จะประกอบด้วย เรกติไฟเออร์ (Rectifier) ทำหน้าที่ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง, คอนเวอร์เตอร์ (Converter) ทำหน้าที่ แปลงความถี่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง และแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีความต้านทานทางด้านเอาต์พุตของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ได้ตามความต้องการ ซึ่งจะใช้งานอยู่ในช่วง 0-5 V เพื่อให้ตรงความต้องการของการใช้งานกับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานร่วมกัน ดังแสดงดังรูปที่ 3.7

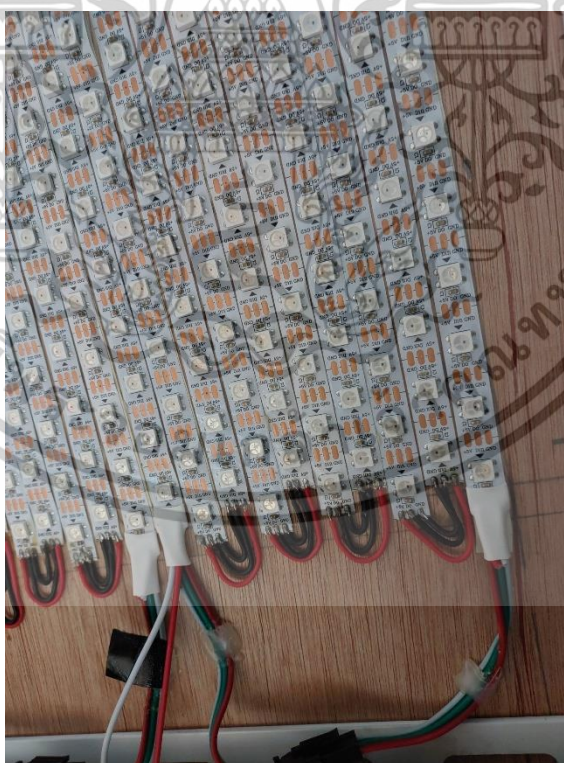


รูปที่ 3.7 Switching power supply 5V 60A ของ <https://shopee.co.th/SOMPOM-S-300-5-300W-5V-60A-SWITCHING-DRIVER-LED-LIGHT-STRIP-DISPLAY-SCREEN-LIGHTING-MONITOR-POWER-SUPPLY-i.45384176.2242086816>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไฟ LED

LED Strip WS2812B เป็นแหล่งกำเนิดแสง LED ควบคุมอัจฉริยะที่วงจรควบคุมและชิป RGB รวมอยู่ในชุดส่วนประกอบไอซีเบอร์ 5050 ภายในประกอบด้วยสลักข้อมูลพอร์ตดิจิทัลและวงจรไดรฟ์ขยายสัญญาณปรับรูปร่าง นอกจากนี้ยังมีออสซิลเลเตอร์ภายในที่มีความแม่นยำและส่วนควบคุมกระแสไฟคงที่ที่ติดตั้งโปรแกรมได้ด้วยแรงดันไฟฟ้า 12 V ทำให้มั่นใจได้ว่าความสูงของสีของแสงจุดพิกเซลจะสอดคล้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลอดไฟ LED ที่ใช้งานการทดลองเลือกใช้เป็น LED Strip รุ่น WS2812B นำมาใช้ควบคู่กับตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะสามารถควบคุมในเรื่องของ อัตราส่วนของสีไฟ ความสว่าง การเปิด/ปิด การทำงานของตัวไฟ โดยตัวไฟ LED จะสามารถทำงานในช่วงความดันไฟฟ้าที่ 3.5-5.3 V ช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้ -25 ถึง 80 °C ถัดมาในส่วนของความยาวคลื่นแสงที่สามารถแสดงได้นั้นจะประกอบ 3 สี ได้แก่ สีแดง (620-625nm) สีเขียว (522-525nm) สีน้ำเงิน (465-467nm) ดังแสดงดังรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นการวางจัดเรียงไฟ LED ในรูปแบบ Diamond ลักษณะการจัดเรียงจะเป็นการวางเส้นไฟ LED Strip เรียงกันในแนวยาวแถวแรกแถวต่อไปจะเรียงโดยการให้ตัวไฟ LED Strip อยู่กึ่งกลางระหว่างช่องว่างของ LED Strip แถวแรกโดยที่ระยะห่าง LED Strip แต่ละแถวจะชิดเรียงติดกันจนครบ 3,000 ดวง

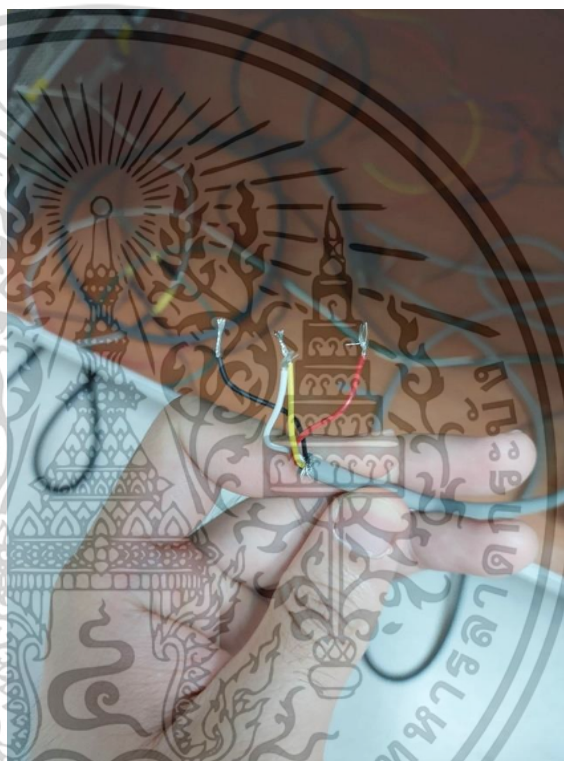


รูปที่ 3.8 LED รุ่น WS2812B จัดเรียงรูปแบบ diamond

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนของอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ใช้ในการดำเนินงาน

- สายไฟ เลือกสายไฟชนิดแบบแรงดันต่ำ ชนิดสายไฟที่ใช้จะเรียกว่าชนิด VCT สายไฟชนิด VCT จะเป็นสายไฟชนิดแรงดันต่ำ สามารถทนแรงดันได้ 750 V ตัวสายมีลักษณะกลม มีทั้งชนิด 1 ,2 แกน, 3 แกน และ 4 แกน โดยจุดเด่นของสายชนิดนี้ คือ จะเป็นสายที่ประกอบด้วยสายทองแดงฝอยเส้นเล็ก ๆ จึงทำให้สายมีความอ่อนตัว และทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี และยังเป็นสายที่สามารถต่อลงดินได้ดังแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สายไฟ4คอร์

- หัวแร้ง (Soldering iron) หัวแร้งบัดกรีที่ใช้ในงานบัดกรีด้านอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ มักจะเป็นหัวแร้งที่สร้างความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า เพื่อความสะดวกในการใช้งานซึ่งเรียกว่า หัวแร้งบัดกรีไฟฟ้า(Electric Soldering Iron)ใช้ความร้อนสูงและรวดเร็ว โดยการทำงานของหัวแร้งชนิดนี้จะใช้หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า คือแปลงแรงดันไฟฟ้า ให้เป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำ แต่จ่ายกระแสได้สูง โดยภายในตัวหัวแร้งจะมีลักษณะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีขดลวด 3 ขด พันอยู่บนแกนเหล็ก โดยขดปฐมภูมิ จะพันด้วยลวดเส้นเล็กจำนวนมาก ๆ นำไปต่อเข้ากับปลั๊กไฟบ้าน 220 V ส่วน

ทางด้านขดทุติยภูมิจะมี 2 ขด คือ ขดเส้นลวดเล็ก พันให้ได้แรงดันไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 2.2 V เพื่อใช้ไปจุดหลอดไฟขนาดเล็กเพื่อแสดงการทำงาน และอีกขดจะพันด้วยลวดเส้นใหญ่โดยพัน 5-6 รอบ เพื่อให้ได้กระแสสูงมากและต่อเข้ากับชุดปลายหัวแร้ง เพื่อสร้างความร้อนในการบัดกรี การปิด-เปิดการทำงานจะใช้สวิตช์ ซึ่งทำลักษณะคล้ายไกปืน ในการเปิด-ปิดการให้ความร้อนในขณะที่ใช้งาน นำมาใช้ร่วมกับตะกั่วเพื่อใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 หัวแร้ง

- น้ำยาบัดกรีกับตะกั่ว น้ำยาประสาน (FLUX) นิยมใช้ในการบัดกรีโลหะ เพราะจะช่วยทำให้ตะกั่วบัดกรีมีปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะทำให้สามารถเชื่อมประสานกันติดแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 น้ำยาบัดกรีกับตะกั่ว

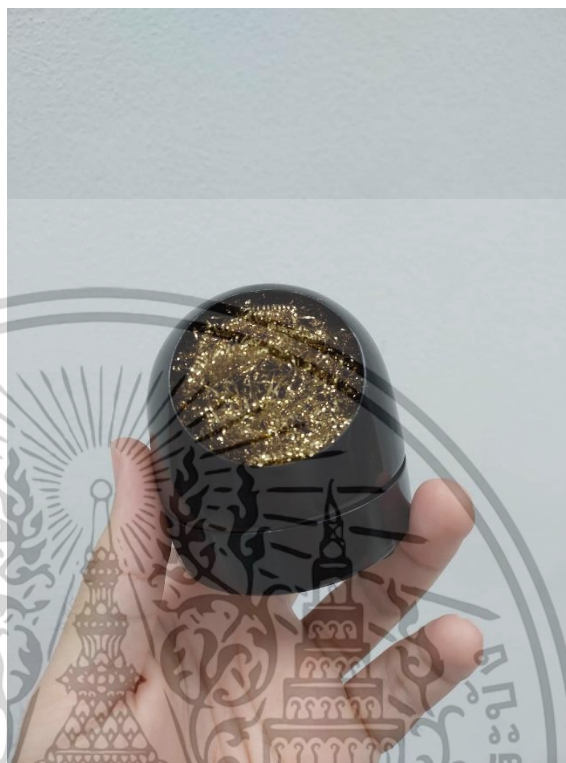
- คีมปลอกสายไฟ (Wire stripper) เป็นอุปกรณ์เครื่องมือช่าง ที่ถูกออกแบบมาสำหรับใช้ในการตัดปลอกสายไฟ เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อสายไฟขนาดต่างๆ และการปอกฉนวนของสายไฟออกจากลวดทองแดงที่อยู่ด้านใน ซึ่งจะทำให้การเชื่อมต่อนั้น สามารถที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะนำการตัดปลอกสายไฟได้ดี



รูปที่ 3.12 คีมปลอกสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฝอยขัดหัวแร่ (Solder Cleaning Ball) ไว้ทำความสะอาดหัวแร่เมื่อใช้งานเสร็จหรือต้องการทำความสะอาด ดังแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ฝอยขัดหัวแร่

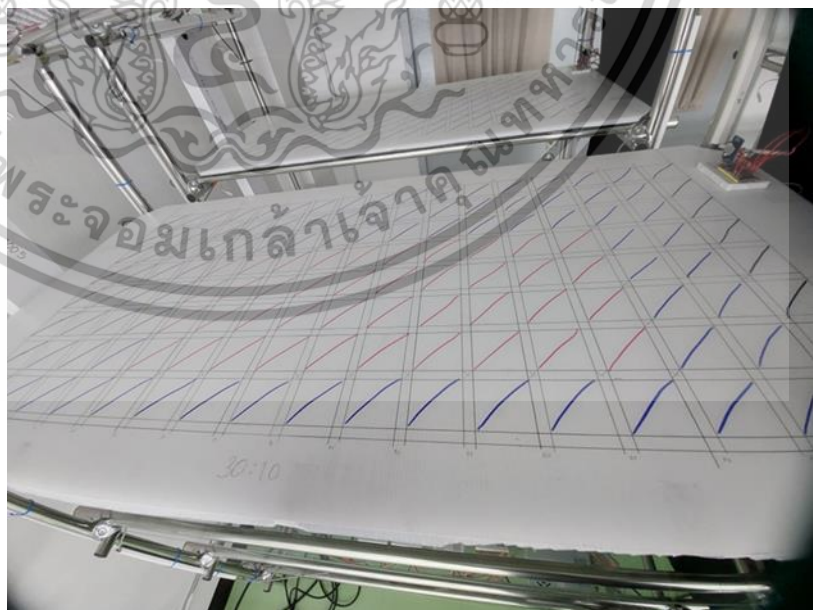
- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์ถูกพัฒนามาจาก กัลวานอมิเตอร์ (galvanometer) มีหลักการทำงานคือ เมื่อป้อนกระแสไฟเข้าไป จะทำให้ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเกิดอำนาจแม่เหล็กนี้จะส่งผลไปยังเข็มที่ยึดติดอยู่เกิดการเคลื่อนที่ ในปัจจุบันมีการพัฒนาจนกลายเป็นมัลติมิเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeter) และมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeter) เป็นต้น ความแตกต่างของการทำงานมัลติมิเตอร์แบบเข็มและดิจิตอลมัลติมิเตอร์นั้นคือ เมื่อมีปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลเข้าสู่วงจร ถ้าเป็นมัลติมิเตอร์แบบเข็มจะเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดเป็นปริมาณทางกลและขับไปยังเข็มที่ยึดติดไว้ทำให้เข็มนั้นเคลื่อนที่ไปยังค่าที่วัดได้ ส่วนดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะเปลี่ยนปริมาณทางไฟฟ้านั้นส่งผ่านไปยังวงจรสัญญาณดิจิตอลและส่งต่อไปยังหน้าจอเพื่อแสดงผลเป็นตัวเลข ดังแสดงดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

- ตารางกิต ใช้ในการบอกตำแหน่งในการวัดค่า PPFD แต่ละจุดภายในชั้นปลูก ซึ่งระยะห่างแต่ละช่องมีความยาวเท่ากับ 5.08 cm ดังแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตารางกิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แผ่นสะท้อน (reflector) สำหรับงานปลูกพืชโดยเฉพาะ ขนาดแผ่น (79.4 x 110 cm.) หนา 0.3 mm มีผิวเงาสีขาว วัสดุทำมาจาก Polymer-based film Polypropylene สามารถสะท้อนช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการปลูกพืช 400-800 nm โดยจะใช้ในการติดตั้งร่วมกับชั้นปลูกเพื่อทำการทดลอง ดังแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผ่นสะท้อนที่ใช้ในการติดตั้งชั้นปลูก

- เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เลือกใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่วัดได้ในช่วง $-55 - 150^{\circ}\text{C}$ ค่าความคลาดเคลื่อน 0.5°C Output เป็นแบบ Analog ใช้ไฟเลี้ยง 4 - 30 VDC เหมาะสำหรับทำโปรเจกต์และควบคุมอุณหภูมิต่าง ๆ เช่น ตู้อบ แพลงผัก ตู้ฟักไข่ ดังแสดงดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แคลมป์มิเตอร์ รุ่น Uni-t Ut204+ ของ

<https://shopee.co.th/Digital-Clamp-Meter-UNI-T-UT204-->

i.100754880.4025490757

• สเปกโตรมิเตอร์

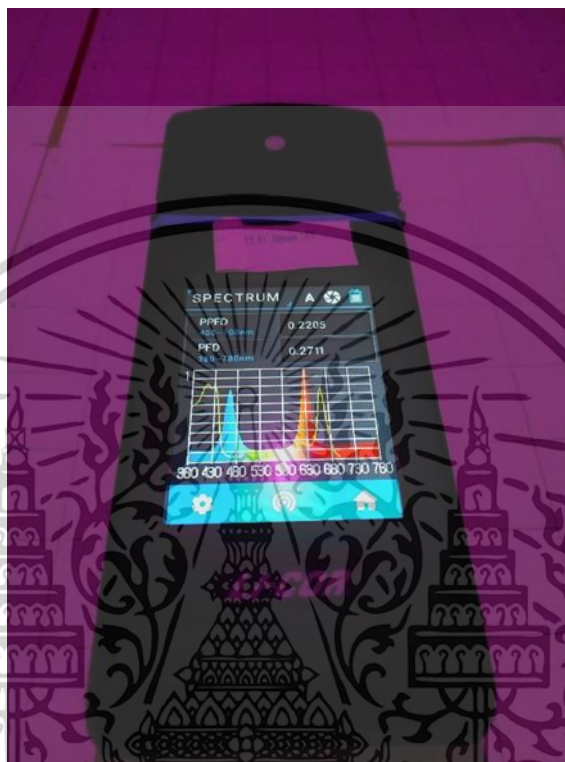
สเปกโตรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทัศนศาสตร์สำหรับการวัดคุณสมบัติของแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง ๆ ของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อธิบายอย่างง่าย คือ สเปกโตรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกตามความยาวคลื่นต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ศึกษาองค์ประกอบของสเปกตรัมหนึ่ง ๆ ตัวอย่างของสเปกโตรมิเตอร์อย่างง่ายที่สุดชนิดหนึ่งคือ ปริซึม (prism) ซึ่งเราทราบมาแล้วว่าแสงขาว (visible light) ประกอบไปด้วยแสงสีต่าง ๆ (อย่างน้อยต้องประกอบด้วยแสงปฐมภูมิ) ซึ่งในสภาวะปกติตาเราไม่สามารถแยกแยะแสงสีทั้งหลายที่รวมกันเป็นสีขาวได้แต่เมื่อแสงขาวเดินทางผ่านปริซึม แสงสีต่าง ๆ จะหักเหผ่านปริซึมด้วยมุมที่แตกต่างกัน เราจึงเห็นสีต่าง ๆ เป็นสีรุ้งนั่นเอง

ซึ่งในการทดลองจะใช้สเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวัดแสงสำหรับการปลูกพืช LI-180 Spectrometer เหมาะกับการวัดเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืชถูกขับเคลื่อนโดยรังสีแอดทิฟสักระยะแสง (PAR) ซึ่งกำหนดเป็นความยาวคลื่นระหว่าง 400 ถึง 700 nm ช่วงนี้มักถูกแยกออกเป็นแถบ "สี" ที่แตกต่างกันสามแถบสำหรับการวิจัยพืช การปรับเปลี่ยนความเข้มของความยาวคลื่นสีแดง น้ำเงิน เขียว พร้อมด้วยแถบใกล้รังสียูวี (380-400 nm) และแถบสีแดง (700-780 nm) สามารถมีอิทธิพลต่อลักษณะต่าง ๆ ของพืช เช่น อัตราการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมี, และอื่น ๆ ข้อมูลการวัด เปลี่ยนแปลงตามเวลาจริงจากการปรับสเปกตรัม การปรับความสูง และการวาง

ตำแหน่ง LI-180 จะบันทึกตัวแปรต่าง ๆ มากมาย รวมถึง PAR (เช่นความหนาแน่นของโฟตอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์แสงเฉพาะสี (PPFD) ความหนาแน่นของโฟตอนฟลักซ์ (PFD) การฉายรังสี (W/m²) และอื่น ๆ เลือกการวัดเพื่อดูรายละเอียด เช่น อัตราส่วนของสีแดงต่อสีน้ำเงินหรือความเข้มของสีแดงต่อสีแดงเข้ม ดังแสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เครื่อง spectrometer Li-180

ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับชั้นปลูกพืช

- เริ่มจากนำโครงเหล็กชั้นปลูกที่มีขนาด กว้าง 0.6 m ยาว 1.2 m สูง 0.33 m ติดตั้งกับไฟ LED และสายไฟ ซึ่งไฟ LED ติดจำนวนทั้งหมด 3,000ดวง โดยแบ่งเป็นจำนวนแถวละ 60 ดวง จำนวน 50 แถว
- ทำในส่วนของภาคจ่ายไฟนำ Switching Power Supply ขนาด 5V 60A มาติดตั้งเพื่อแปลงไฟจาก 220V เป็น 5V และทำจ่ายกระแสให้กับไฟ LED
- ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการแสดงผลของไฟ LED โดยควบคุมในส่วนของอัตราส่วนของไฟสีแดงกับสีน้ำเงินให้เป็นรูปแบบ 3ต่อ1 และควบคุมความสว่างกับระยะเวลาในการเปิดปิด

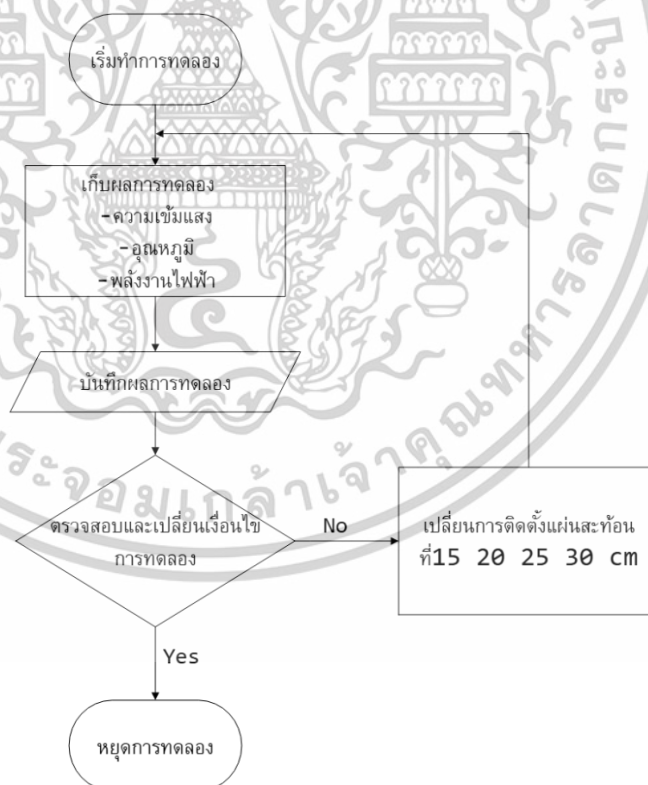
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เขียนโปรแกรมเข้าไปนำไปประกอบรวมกับชั้นปลูก ที่ได้ทำการติดตั้งในส่วนของไฟ LED
- จากนั้นทำการเปิดไฟชั้นปลูกเป็นอันเสร็จสิ้นการติดตั้ง

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในส่วนนี้จะเป็นขั้นตอนของการวัดแสงโดยใช้เครื่อง Spectrometer ร่วมกับตารางกิต เพื่อที่จะใช้วัดแต่ละตำแหน่ง ในการวัดและเก็บข้อมูลของค่า PPFD ที่ตกกระทบลงมาจากรังสีไฟ LED เพื่อค่าที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช รูปแบบการเก็บค่านั้นจะใช้การเก็บแบบ Logging time เพื่อให้มีความต่อเนื่องของแสงที่ตกกระทบลงกับชั้นปลูก ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการเก็บค่า PPFD แต่ละตำแหน่งตามตารางกิตเพื่อนำไปศึกษาพฤติกรรมโปรไฟล์ของไฟ LED แต่ละอัตราส่วนว่ามีรูปแบบลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงดังรูปที่ 3.20

ทำการสร้างตารางกิตขึ้นมาไว้ภายในชั้นปลูก โดยที่ระยะห่างระหว่างช่องมีค่า 5.08 cm



รูปที่ 3.20 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

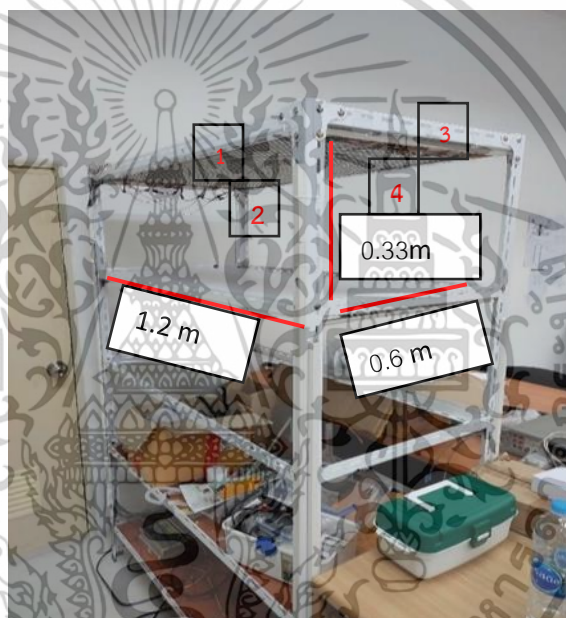
3.2.1. ทดลองในส่วนของการวัดความยาวคลื่นแสงของอัตราส่วนสีแดงกับสีน้ำเงินโดย

กำหนดให้มีอัตราส่วนระหว่างสีแดงกับสีน้ำเงินเป็น 3 ต่อ 1 ภายในชั้นปลูกทั้งหมด โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ LI-180 Spectrometer ในการวัดหาค่า PPFD และ อัตราส่วนของความยาวคลื่นสีแดงกับสีน้ำเงิน

3.2.2.ทำการบันทึกวิเคราะห์ผลของอัตราส่วน 3ต่อ1 พล็อตกราฟดูค่า PPFD ที่เกิดขึ้น ภายในชั้นปลูก และดูความเป็น Uniformity ที่เกิดขึ้นภายในชั้น

3.2.3.ทำการปรับแก้โดยติดตั้งเพิ่มตัว Reflector เข้าไปภายในชั้นปลูกเพื่อที่จะศึกษาความ เปลี่ยนแปลงของแสงภายในชั้นปลูกว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบอย่างไรและ เพื่อที่จะให้มีการเกิดความ Uniformity มากที่สุดภายในชั้นปลูก และเปรียบเทียบกับ รูปแบบที่ไม่ใส่ Reflector โดยทำการติดตั้งเพิ่มที่ในตำแหน่ง 1 2 3 และ 4 ดังแสดง ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ตำแหน่งการติดตั้งของแผ่นสะท้อน

3.2.4.ทำการวัดอุณหภูมิ วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน เมื่อมีการเปลี่ยนการติดตั้งแผ่นสะท้อนที่ แต่ละเงื่อนไขความกว้าง

3.2.5.ปรับเปลี่ยนระยะของ Reflector ที่มีความยาวต่างกัน ตั้งแต่ 15 20 25 30 cm

3.2.6.ทำการทดลองซ้ำในของ 3.3.3 จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนระยะของ Reflector ตามข้อ 3.3.6

3.2.7.วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นระหว่างไม่ใส่ Reflector กับใส่ Reflector ที่ แต่ละเงื่อนไขการทดลอง

3.2.8.สรุปผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

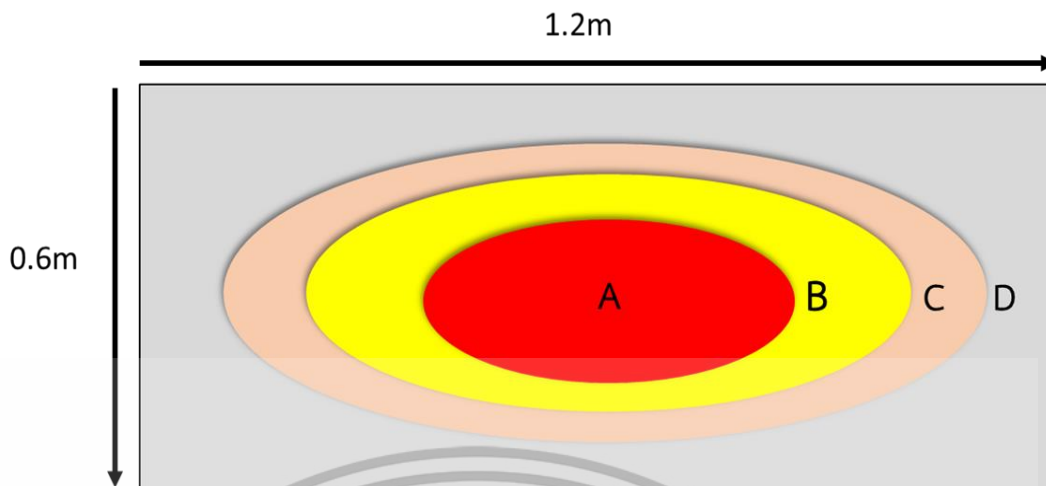
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

บทนี้นำเสนอผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายใต้การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ LED ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิภายในชั้นปลูก ความเข้มแสงในหน่วย PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) ความกว้างของตัวสะท้อนแสง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง สำหรับการนำเสนอผลการทดลอง จะประกอบด้วยข้อมูลในรูปแบบของตาราง กราฟ และ ค่าคำนวณด้านความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) รวมถึง ภาพแสดงการจัดวางตัวสะท้อนแสงในแต่ละเงื่อนไข โดยพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์คิดเป็น 75% ของพื้นที่ทั้งหมดภายในชั้นปลูก ซึ่งเลือกเฉพาะบริเวณที่พืชมีแนวโน้มจะได้รับแสงอย่างแท้จริง เพื่อคำนวณและวิเคราะห์ผลของความสม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้นภายใต้แต่ละรูปแบบการทดลอง หลักการของการเพิ่มหรือลดความเข้มของแสงในการทดลองนี้ เริ่มจากการเปิดใช้งานหลอดไฟ LED ทุกดวงที่ระดับกำลังไฟฟ้า 100% เพื่อใช้เป็นค่าตั้งต้น (baseline) จากนั้นทำการวัดค่า PPFD ที่เกิดขึ้นภายในชั้นปลูก และศึกษาผลที่ได้ เพื่อตรวจสอบว่าความเข้มแสงที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับช่วงที่ต้องการหรือไม่ โดยกำหนดช่วงเป้าหมายของ PPFD ไว้ที่ $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ หากพบว่าค่าความเข้มแสงไม่สอดคล้องกับเป้าหมาย จะทำการปรับการจ่ายไฟฟ้าให้กับ LED ในแต่ละตำแหน่งของชั้นปลูก โดยลดเปอร์เซ็นต์การจ่ายไฟทีละขั้น (เช่น จาก 100% \rightarrow 90% \rightarrow 80% เป็นต้น) จนกว่าจะได้ค่าความเข้มแสงที่อยู่ในช่วงที่ต้องการ และสามารถเพิ่มระดับความสม่ำเสมอของแสงภายในพื้นที่ปลูกได้ ตัวอย่างเช่น ในบริเวณตำแหน่ง X ซึ่งวัดค่า PPFD ได้สูงกว่าค่ากำหนด จึงทำการลดระดับการจ่ายไฟลงจาก 100% เหลือ 80% และทำการวัดค่าใหม่ หากยังสูงเกินเป้าหมาย จะลดลงต่อเนื่องเป็น 70% และทำการวัดซ้ำอีกครั้ง โดยการปรับค่าดังกล่าวจะดำเนินไปจนได้ค่า PPFD ที่ใกล้เคียงกับค่ากำหนดมากที่สุด พร้อมทั้งพิจารณาค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการกระจายแสงภายในชั้นปลูก

การคำนวณค่า Uniformity นั้นหาได้จากการนำค่า PPFD(max) และ PPFD(min) มาหารกันตามสมการได้ดังนี้ จะออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า Uniformity

$$\% \text{Uniformity} = \frac{\text{PPFD}_{\text{avg}}(\text{min})}{\text{PPFD}_{\text{avg}}(\text{max})} \times 100 \quad (1)$$

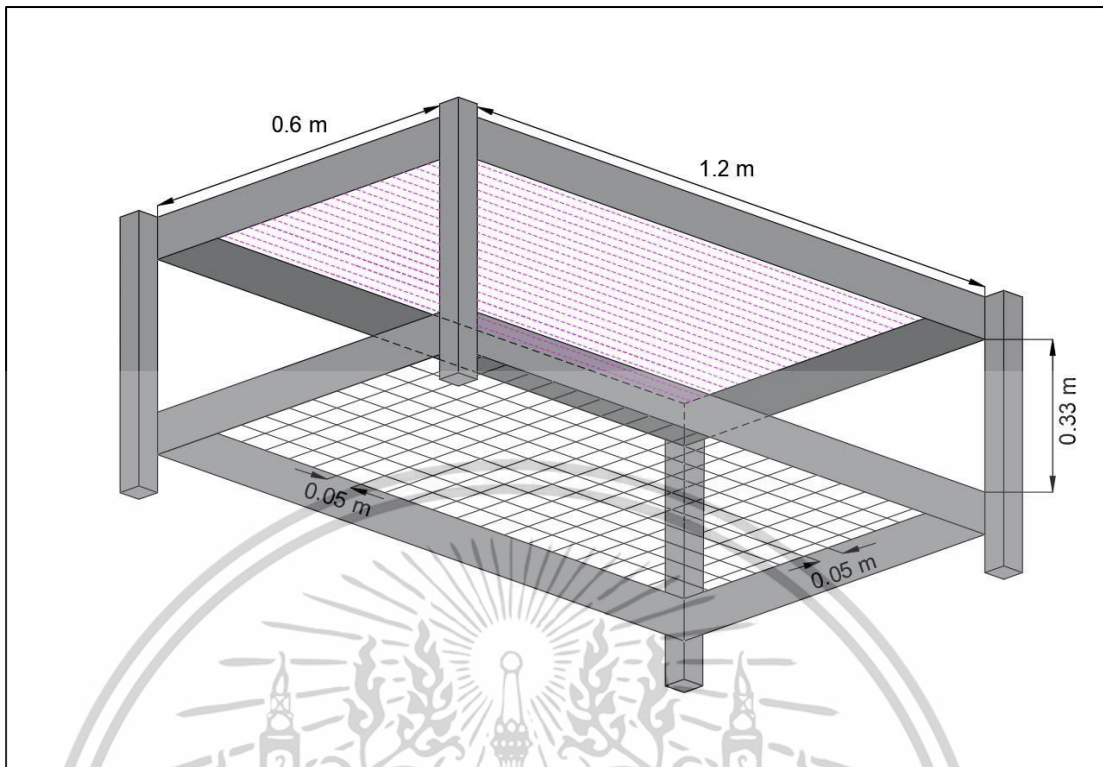
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โดอะแกรมแสดงพื้นที่ภายในชั้นปลูกที่ใช้ในการศึกษาการทดลองภายในชั้นปลูก

รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองภายในชั้นปลูก โดยแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ A, B, C และ D ซึ่งพื้นที่ A, B และ C ถูกกำหนดให้เป็น พื้นที่ตัวแปรหลัก ที่ใช้ในการศึกษาทดลอง โดยครอบคลุมพื้นที่รวมกันประมาณ 75% ของพื้นที่ทั้งหมดภายในชั้นปลูก ซึ่งสอดคล้องกับบริเวณที่เนื้อเยื่อได้รับแสงโดยตรงและมีผลต่อการเจริญเติบโตมากที่สุด ในขณะที่ พื้นที่ D เป็นพื้นที่ที่เหลืออยู่จากการตัดพื้นที่ 75% ข้างต้น ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นพื้นที่วิเคราะห์หลัก แต่ยังคงอยู่ในขอบเขตการติดตั้งของระบบแสงสว่าง สำหรับการทดลองในครั้งนี้ จะทำการ ควบคุมและปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ LED ที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ A, B และ C โดยมุ่งเน้นให้แต่ละพื้นที่สามารถปรับระดับความเข้มแสง (PPFD) ให้เข้าใกล้หรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ทั้งนี้การกำหนดระดับการจ่ายกระแสไฟในแต่ละพื้นที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายและสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการจ่ายไฟ ความเข้มแสง และความสม่ำเสมอของแสงภายในชั้นปลูกได้อย่างเป็นระบบ

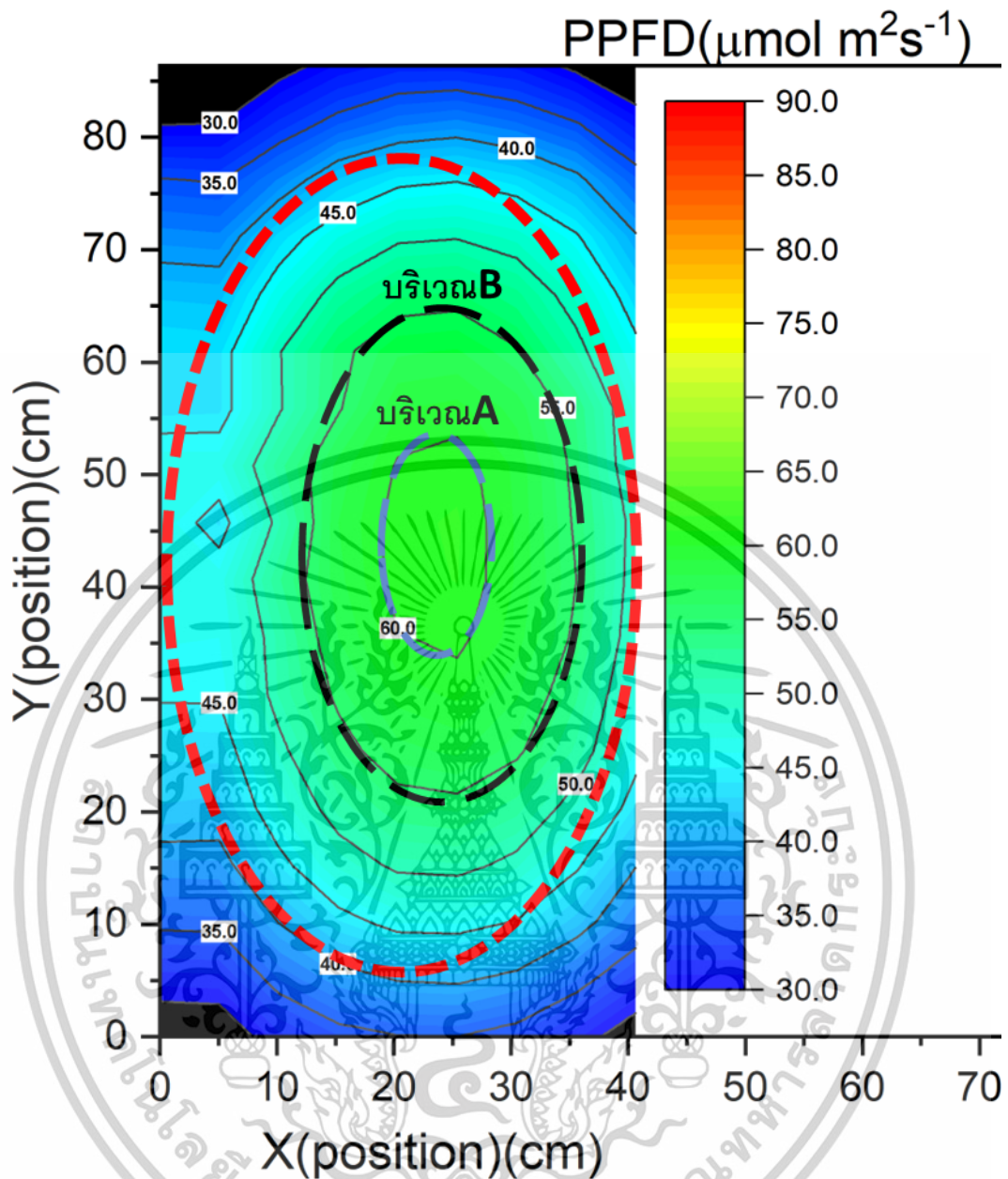
- 4.1 เงื่อนไขการทดลองที่ 1 มีการจ่ายกระแสไฟกับตัวLEDที่ 100% โดยที่ไม่ติดตั้งตัวสะท้อน



รูปที่ 4.2 โต๊ะแถมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.2 แสดง โต๊ะแถมของชั้นปลูกที่ใช้ในการทดลอง โดยมีขนาดพื้นที่ กว้าง 0.60 m ยาว 1.20 m และมีความสูงจากพื้นชั้นปลูกถึงตำแหน่งติดตั้งหลอดไฟ LED เท่ากับ 0.33 m ซึ่งเป็นระยะห่างมาตรฐานที่ใช้ในการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงในงานวิจัยนี้ รูปแบบที่แสดงในภาพเป็นเงื่อนไขการทดลอง ชุดที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่มีการติดตั้งตัวสะท้อนแสงใด ๆ ภายในชั้นปลูก และมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ LED ที่ระดับ 100% ของกำลังไฟทั้งหมด เพื่อใช้เป็นค่าตั้งต้น (baseline) สำหรับเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ ในการทดลอง นอกจากนี้ ยังได้กำหนดตำแหน่งการวัดค่าความเข้มแสงด้วย เครื่อง Spectrometer โดยใช้ระยะห่างระหว่างจุดตัดของตำแหน่งการวางเครื่องมือ เท่ากับ 0.05 m (5 cm) ในแนวแกน X และ Y เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างละเอียดและครอบคลุมพื้นที่ภายในชั้นปลูกอย่างทั่วถึง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากตำแหน่งดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสง (PPFD) และความสม่ำเสมอของแสงในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

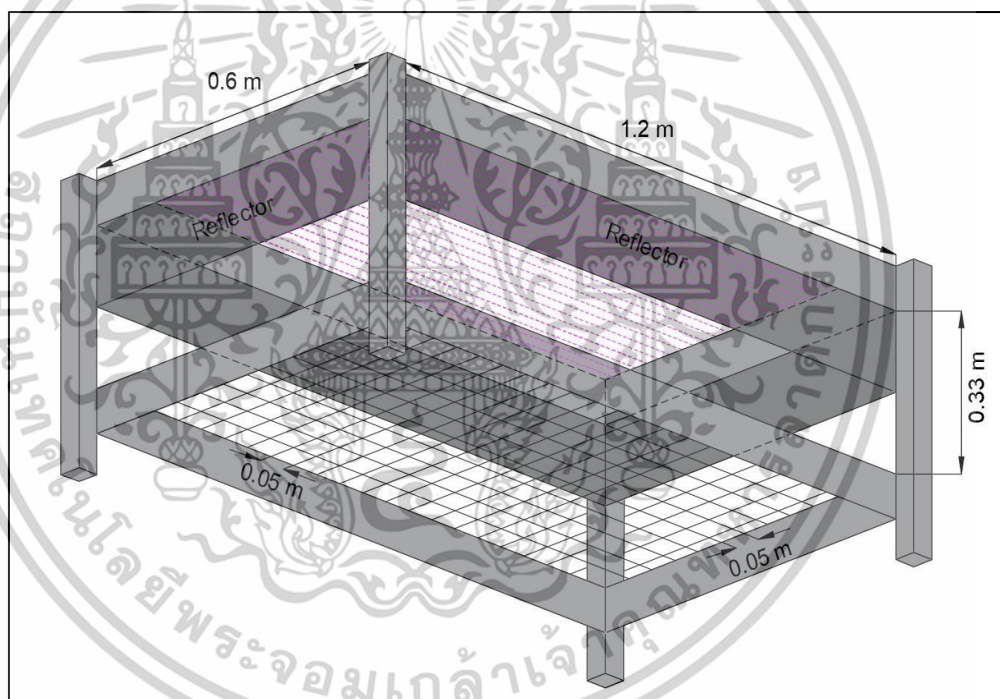


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เงื่อนไขที่ 1 ภายในขนาดชั้นปลูกการทดลอง

จาก เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่มีการ จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอด LED ทั้งหมด 100% ครอบคลุมทุกพื้นที่ภายในชั้นปลูก โดยไม่มีการปรับลดกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ A และ B จึงถือเป็น ค่าตั้งต้นของระบบก่อนที่จะมีการปรับปรุงใด ๆ ในแง่ของประสิทธิภาพแสง ในรูปที่ 4.3 แสดง ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาจะเห็น เส้นประวงกลมสีแดง ซึ่งระบุขอบเขตของบริเวณที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) โดยพื้นที่ภายในวงกลมนี้เป็นพื้นที่หลักที่ใช้เปรียบเทียบผลจาก การทดลองในเงื่อนไขต่าง ๆ จากผลการทดลองในเงื่อนไขที่ 1 พบว่า ค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) เท่ากับ 59.2% ซึ่งยังไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงพืชที่ต้องการแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่ำเสมอ ดังนั้น เงื่อนไขการทดลองในชุดถัดไปจะมุ่งเน้นไปที่การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของระบบ ได้แก่ การปรับความกว้างของ ตัวสะท้อนแสง (Reflector) ที่ติดตั้งภายในชั้นปลูก การปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าในบริเวณ A และ B อย่างเป็นระบบ เพื่อ เพิ่มค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) ให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น และทำให้คุณภาพแสงภายในชั้นปลูกมีความเหมาะสมต่อการใช้งานทางการเกษตรในระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ค่าความสม่ำเสมอที่ได้จากการปรับในแต่ละเงื่อนไขจะถูกนำเสนอและวิเคราะห์ในรายละเอียดในหัวข้อถัดไปของบทนี้

- 4.2 เงื่อนไขการทดลองที่ 2 จ่ายกระแสภายในบริเวณ A 70% ,B 70% โดยมีการติดตั้งตัวสะท้อนที่ความกว้าง 15 cm

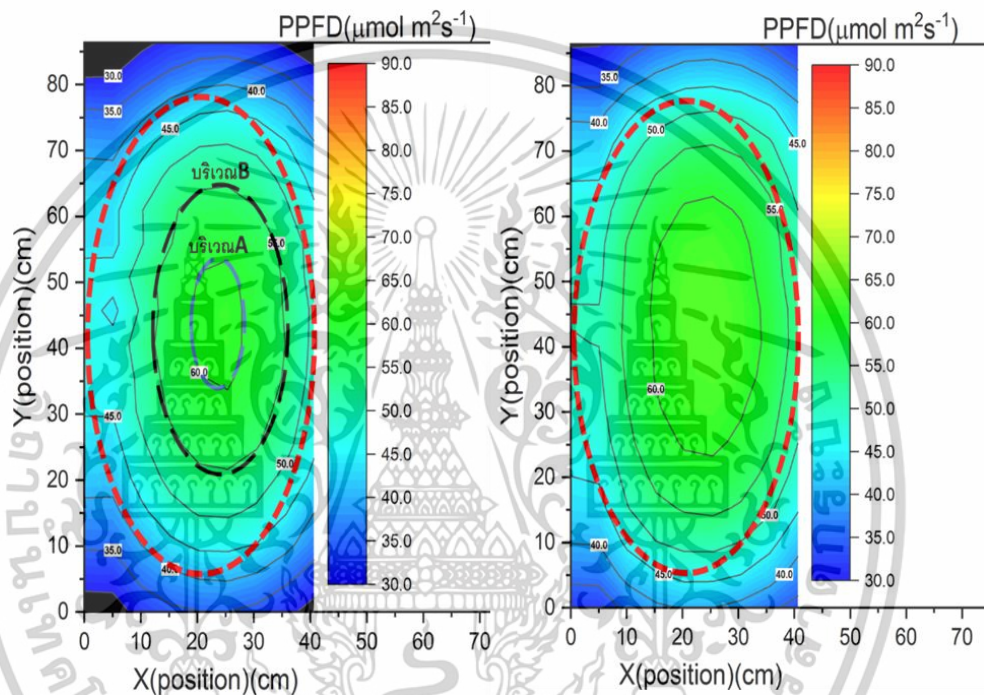


รูปที่ 4.4 โต๊ะแกรมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.4 แสดงโต๊ะแกรมของชั้นปลูกภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ทดลองกว้าง 0.6 m ยาว 1.2 m โดยมีความสูงจากพื้นถึงตำแหน่งของชุดไฟ LED (LED) เท่ากับ 0.33 m ในเงื่อนไขนี้มีการติดตั้ง แผ่นสะท้อนแสง (reflector) ซึ่งมีความยาว 15 cm เพื่อช่วยกระจายแสงและเพิ่มความสม่ำเสมอของแสงในบริเวณที่ต้องการปลูกพืช โดยมีการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับไฟ LED ในบริเวณ A และ B ที่ระดับ 70% ของกำลังสูงสุด ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดจุดวัดแสงโดยใช้ เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) ในการวัดค่าความเข้มแสงและสเปกตรัมของแสงที่จุดตัดภายในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยเว้นระยะห่างจุดวัดทุก 0.05 m เพื่อให้สามารถประเมินความสม่ำเสมอของการกระจายแสงได้อย่างละเอียด การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลของการติดตั้งแผ่นสะท้อนและการปรับกระแสไฟในแต่ละบริเวณต่อความสม่ำเสมอของการกระจายแสง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบปลูกแบบควบคุม



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1(ซ้าย) กับเงื่อนไขที่ 2(ขวา)

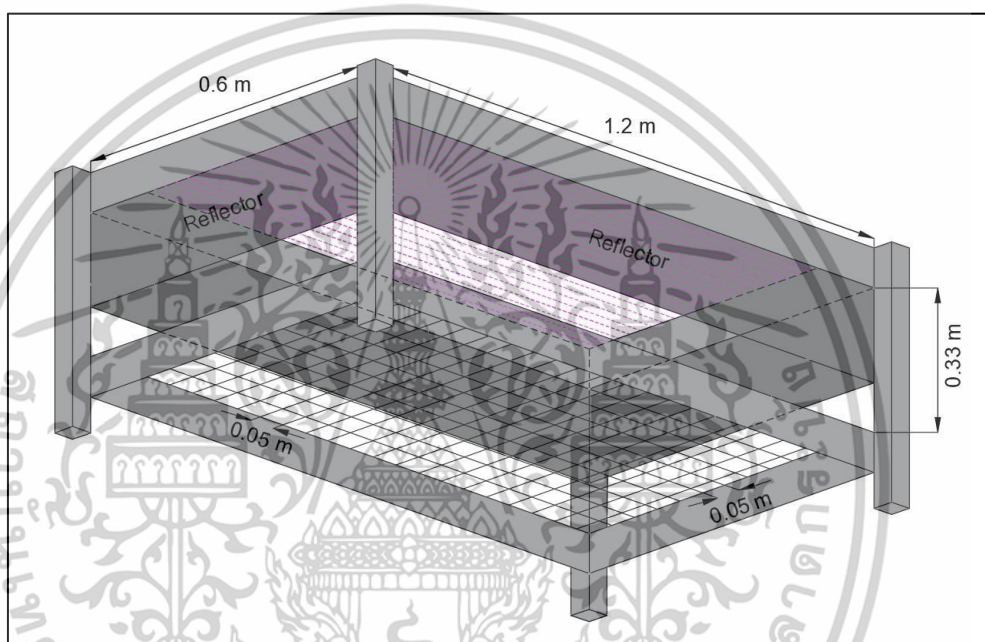
จากรูปที่ 4.5 สามารถสังเกตได้ถึงผลของการติดตั้งตัวสะท้อนแสงและการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อความสม่ำเสมอของการกระจายแสงภายในชั้นปลูก โดยรูปภาพด้านซ้ายแสดงสถานะที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง ขณะที่รูปด้านขวาแสดงสถานะที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงยาว 15 cm ควบคู่กับการปรับกระแสไฟฟ้าให้กับ LED ในบริเวณ A และ B

จากการเปรียบเทียบพบว่า การติดตั้งตัวสะท้อนร่วมกับการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบแยกส่วนในบริเวณ A และ B ส่งผลให้ ค่า PPFD Uniformity (Photosynthetic Photon Flux Density Uniformity) หรือความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสำหรับการสังเคราะห์แสงภายในพื้นที่ชั้นปลูก เพิ่มขึ้นเป็น 64.5% เมื่อเทียบกับการทดลองในสถานะที่ไม่มีตัวสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของค่า PPF Uniformity นี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบแสงสว่างด้วยการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงและการควบคุมกำลังไฟในลักษณะเฉพาะเจาะจงต่อแต่ละพื้นที่ มีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพของแสงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในระบบการปลูกแบบโรงเรือนหรือการควบคุมสิ่งแวดล้อม (Controlled Environment Agriculture)

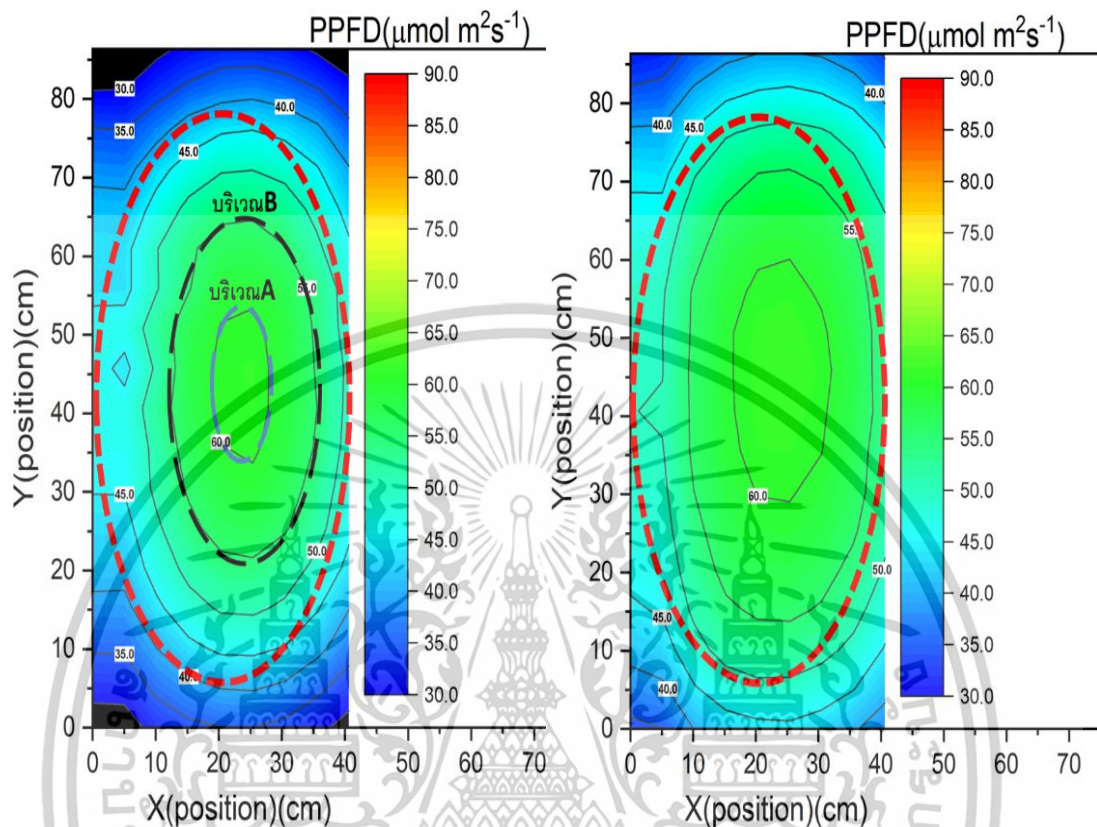
4.3 เงื่อนไขการทดลองที่ 3 จ่ายกระแสภายในบริเวณ A 30% B 50% โดยมีการติดตั้งตัวสะท้อนที่ความกว้าง 20 cm



รูปที่ 4.6 โต๊ะแกรมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 3

รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังของชั้นปลูกในสภาวะการทดลองที่ 3 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ทดลองกว้าง 0.6 m ยาว 1.2 m โดยมีระยะห่างในแนวตั้งจากพื้นถึงตำแหน่งของชุดไฟ LED เท่ากับ 0.33 m ภายใต้เงื่อนไขมีการติดตั้ง แผ่นสะท้อนแสง (reflector) ที่มีความยาว 20 cm เพื่อช่วยกระจายแสงให้ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกอย่างทั่วถึงมากยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้มีการ ปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ LED ในบริเวณ A และ B โดยตั้งค่ากระแสไฟที่ 30% สำหรับบริเวณ A และ 50% สำหรับบริเวณ B ของกำลังไฟสูงสุด เพื่อทดสอบผลของการจ่ายแสงแบบไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (spatially non-uniform lighting) ร่วมกับการควบคุมการสะท้อนของแสง นอกจากนี้ ได้กำหนดตำแหน่งการวัดความเข้มของแสงด้วยการใช้ เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) โดยติดตั้งตามจุดตัดของกริดภายในพื้นที่ปลูก ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดวัด เท่ากับ 0.05 m เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าความ

หนาแน่นของโฟตอนสำหรับการสังเคราะห์แสง (PPFD) ได้อย่างละเอียด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1(ชำย) กับเงื่อนไขที่ 3(ขวา)

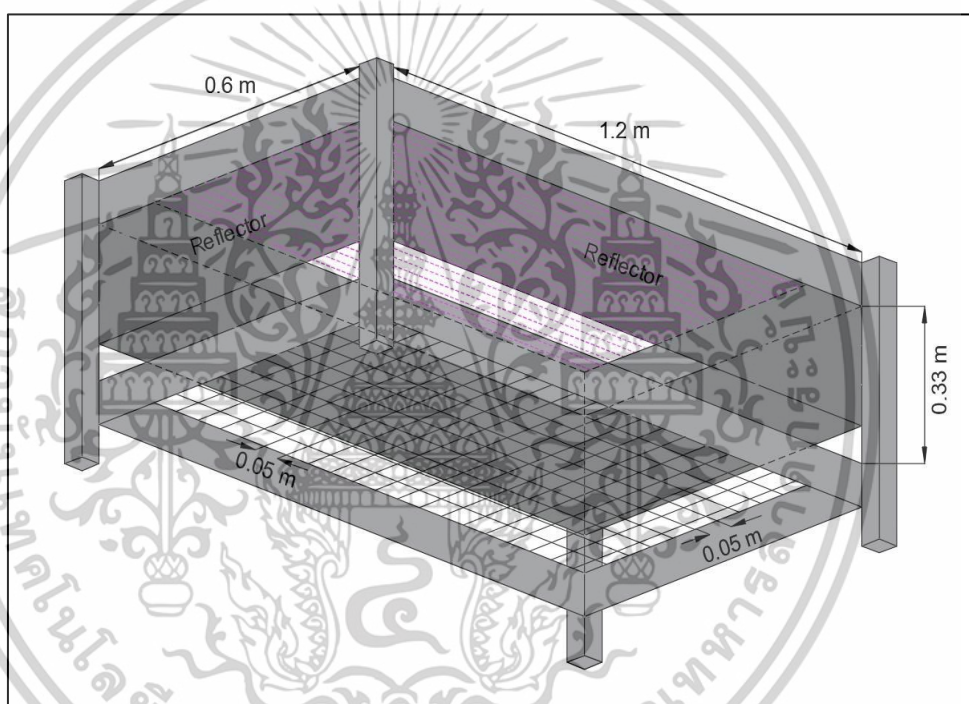
จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบการกระจายของความหนาแน่นของโฟตอนสำหรับการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Photon Flux Density: PPFD) ภายในชั้นปลูก ภายใต้สองสภาวะการทดลอง ได้แก่ กรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง (รูปด้านซ้าย) และ กรณีที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงความยาว 20 cm (รูปด้านขวา) ร่วมกับการ ปรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ LED ในบริเวณ A และ B ที่ระดับ 30% และ 50% ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่า การเพิ่มตัวสะท้อนแสงในระบบสามารถช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของการกระจายแสงในแนวราบภายในพื้นที่ปลูกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเมื่อมีการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าแยกเป็นรายโซน ทำให้แสงที่ตกกระทบในแต่ละตำแหน่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้ ค่า PPFD Uniformity เพิ่มขึ้นเป็น 66.9% เมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการติดตั้งตัวสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองนี้สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการออกแบบระบบแสงร่วมกับการควบคุมพลังงานไฟฟ้าเฉพาะจุด ว่าสามารถเพิ่มคุณภาพของสภาพแสงให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในระบบการปลูกแบบควบคุมสภาพแวดล้อม (Controlled Environment Agriculture) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- 4.4 เงื่อนไขการทดลองที่ 4 จ่ายกระแสภายในบริเวณ A 15% B 35% โดยมีการติดตั้งตัวสะท้อนที่ความกว้าง 25 cm



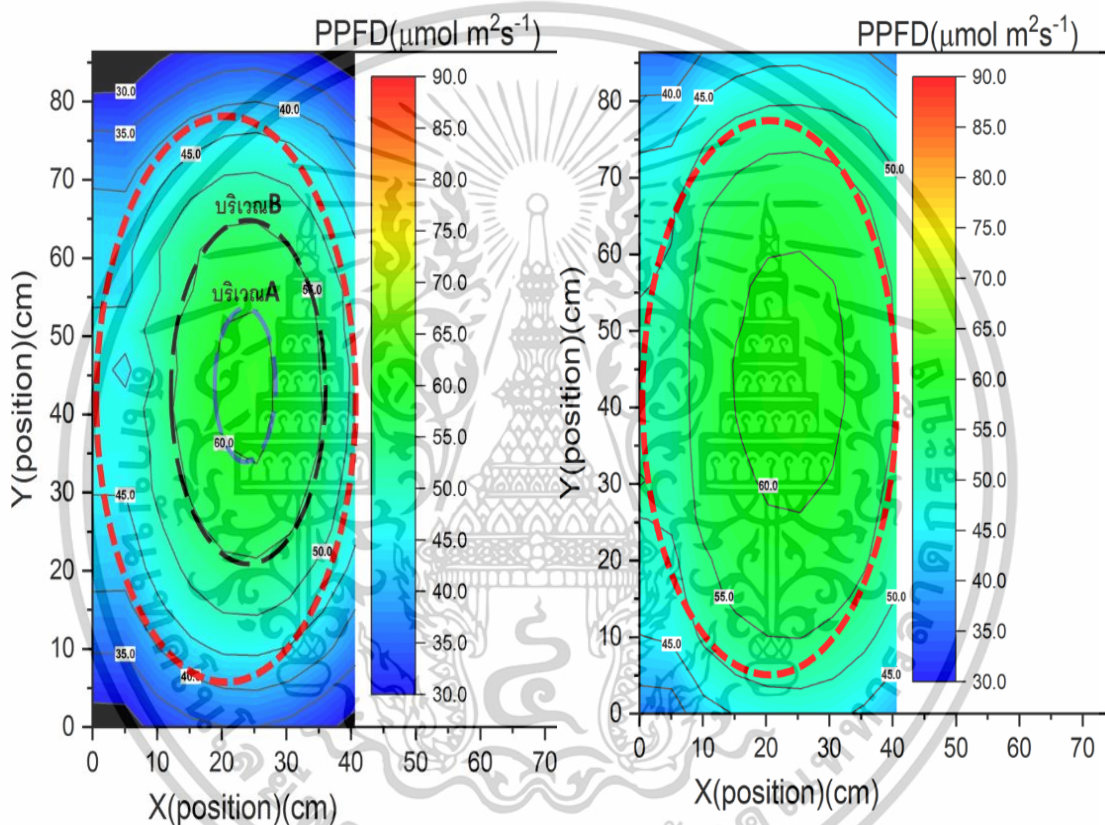
รูปที่ 4.8 โต๊ะแกรมชั้นปลูกภายใต้ เงื่อนไขการทดลองที่ 4

รูปที่ 4.8 แสดงโต๊ะแกรมของชั้นปลูกภายใต้ เงื่อนไขการทดลองที่ 4 โดยมีขนาดพื้นที่ปลูกกว้าง 0.6 m ยาว 1.2 m และความสูงจากพื้นถึงชุดไฟ LED เท่ากับ 0.33 m ซึ่งเป็นระยะที่ใช้ในทุกเงื่อนไขการทดลองเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลได้อย่างสอดคล้องกัน ในเงื่อนไขนี้ มีการติดตั้ง แผ่นสะท้อนแสง (reflector) ที่มีความยาว 25 cm โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการกระจายของแสงและลดการสูญเสียพลังงานแสงที่ไม่ตกกระทบในบริเวณเพาะปลูกโดยตรง ทั้งนี้ ได้มีการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ LED ในบริเวณ A และ B โดยกำหนดค่ากระแสไฟที่ 15% สำหรับบริเวณ A และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35% สำหรับบริเวณ B ของกำลังสูงสุด เพื่อศึกษาผลกระทบของการควบคุมแสงแบบไม่สมมาตร ร่วมกับการใช้แผ่นสะท้อนแสง

สำหรับการเก็บข้อมูลการกระจายของแสงได้กำหนดจุดวัดโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) วางตามจุดตัดของตารางกริดในพื้นที่ปลูก โดยมี ระยะห่างระหว่างจุดวัดเท่ากับ 0.05 m เพื่อให้ได้ข้อมูลความหนาแน่นของโฟตอนที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Photon Flux Density: PPFD) อย่างละเอียดและครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่



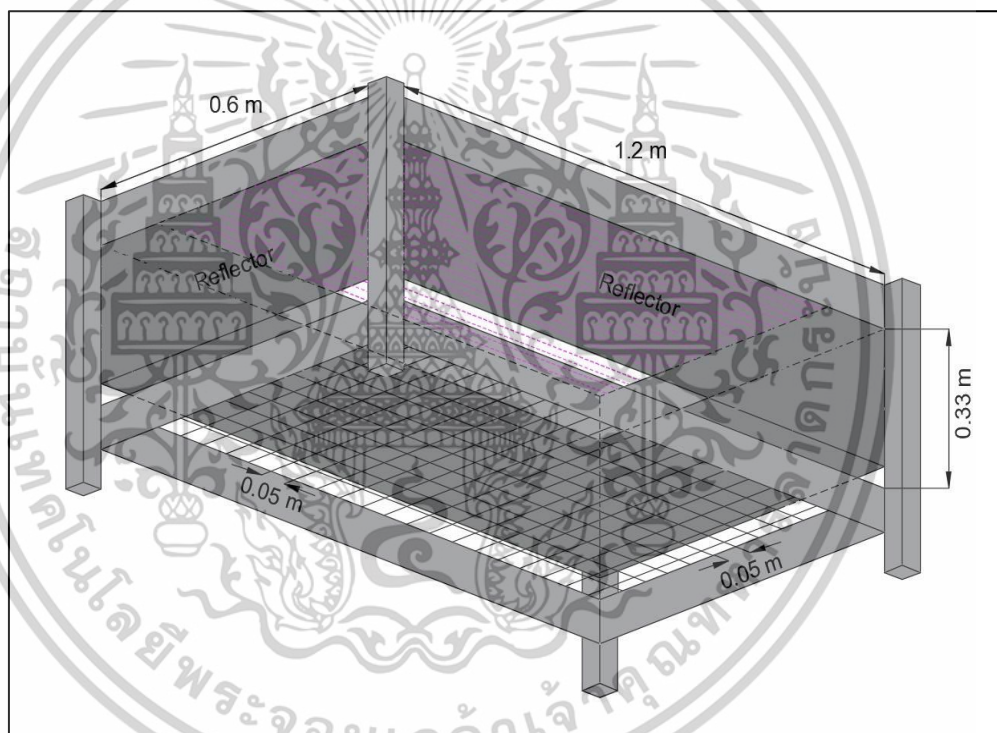
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1 (ซ้าย) กับเงื่อนไขที่ 4(ขวา)

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการเปรียบเทียบการกระจายของความหนาแน่นของโฟตอนที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Photon Flux Density: PPFD) ภายใต้สองสภาวะการทดลอง ได้แก่ กรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง (รูปด้านซ้าย) และ กรณีที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง ความยาว 25 cm (รูปด้านขวา) ร่วมกับการ ปรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับLEDในบริเวณ A และ B ที่ระดับ 15% และ 35% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบพบว่า การเพิ่มแผ่นสะท้อนแสงร่วมกับการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการกระจายแสงภายในพื้นที่เพาะปลูกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในบริเวณขอบหรือพื้นที่ที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งปกติมักมีความเข้มแสงต่ำกว่า ส่งผลให้ ค่า PPFD Uniformity เพิ่มขึ้นเป็น 72.2% ซึ่งสูงกว่าค่าในกรณีที่ไม่มีแผ่นสะท้อนอย่างชัดเจน

- 4.5 เงื่อนไขการทดลองที่ 5 มีการจ่ายกระแสภายในบริเวณ A 15% B 35% โดยมีการติดตั้งตัวสะท้อนที่ความกว้าง 30 cm

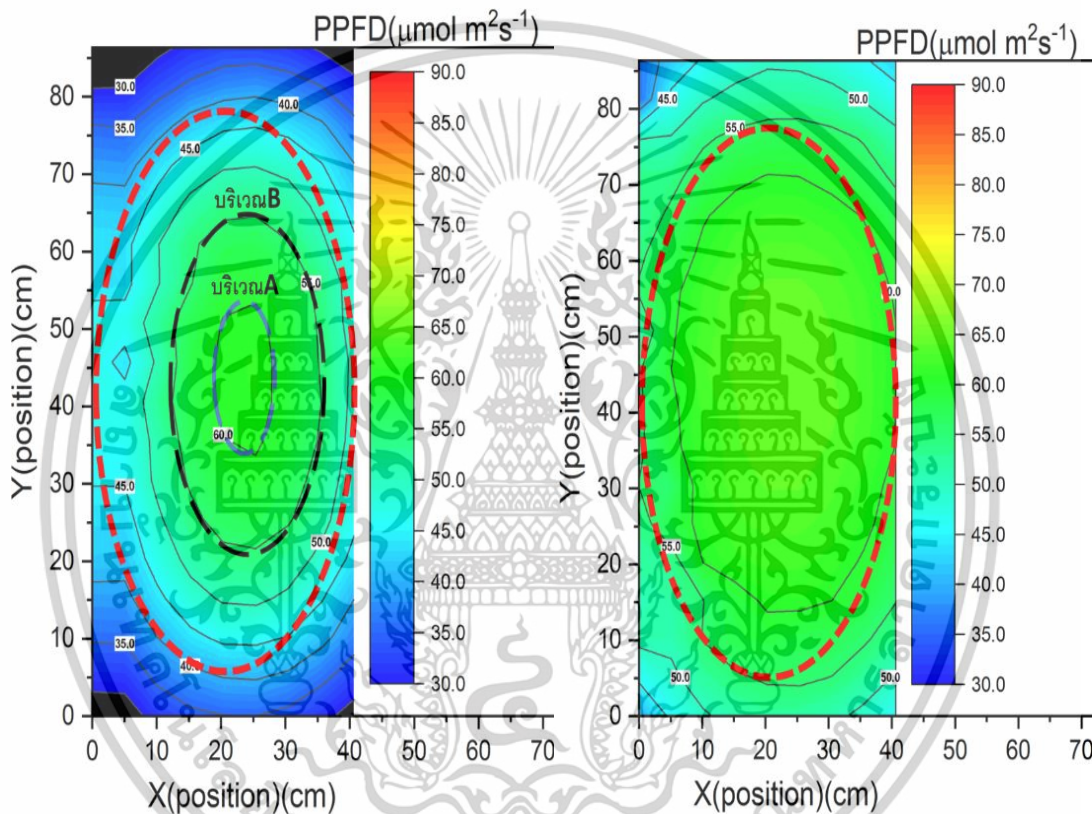


รูปที่ 4.10 โต๊ะแกรมชั้นปลูกเงื่อนไขการทดลองที่ 5

รูปที่ 4.10 แสดงแผนผังของชั้นปลูกภายใต้ เงื่อนไขการทดลองที่ 5 ซึ่งมีการกำหนดขนาดของพื้นที่ทดลองเท่ากับ ความกว้าง 0.6 m ความยาว 1.2 m และระยะห่างในแนวตั้งจากพื้นถึงชุดไฟ LED เท่ากับ 0.33 m โดยยังคงรูปแบบของการจัดวางพื้นที่เช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลได้อย่างสอดคล้องกันในเชิงระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเงื่อนไขนี้ ได้มีการ ติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง (reflector) ที่มีความยาว 30 cm ซึ่งเป็นความยาวที่มากที่สุดในชุดการทดลองทั้งหมด โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มการสะท้อนและกระจายของแสงให้ครอบคลุมพื้นที่ปลูกได้อย่างทั่วถึง ลดเงาหรือบริเวณที่มีความเข้มแสงต่ำ ทั้งนี้ได้มีการ ปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ LED ในบริเวณ A และ B ที่ระดับ 15% และ 35% ของกำลังไฟสูงสุดตามลำดับ เพื่อควบคุมการกระจายของแสงในลักษณะไม่สมมาตรและดูผลของการกระจายแสงภายใต้การจัดการพลังงานที่ประหยัดยิ่งขึ้น



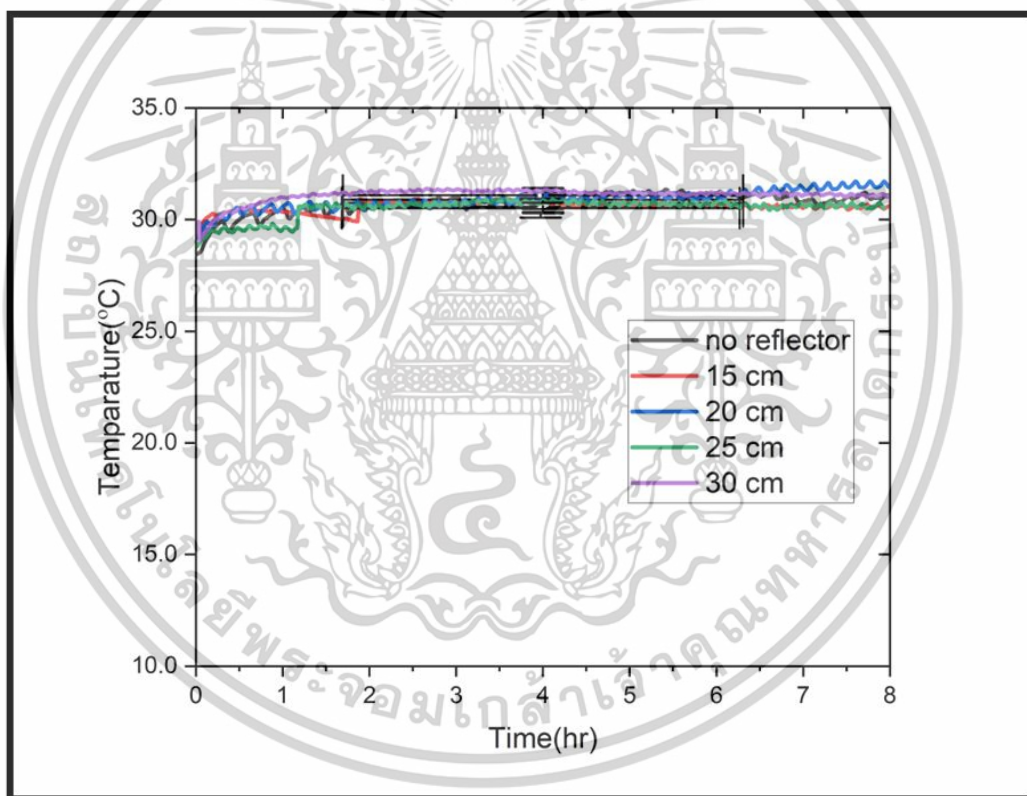
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ความเข้มของ PPFD เปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่ 1(ซ้าย) กับเงื่อนไขที่ 5(ขวา)

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลการเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของการกระจายแสงในรูปของค่า PPFD Uniformity (Photosynthetic Photon Flux Density Uniformity) ภายใต้ สองเงื่อนไข ได้แก่ กรณีไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง (รูปด้านซ้าย) และ กรณีที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงความยาว 30 cm (รูปด้านขวา) ร่วมกับการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับไฟ LED ในบริเวณ A และ B ที่ 15% และ 35% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบพบว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงที่มีความยาวมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายแสงไปยังพื้นที่ขอบเขตที่ห่างจากศูนย์กลางแหล่งกำเนิดแสง ได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งการปรับระดับการจ่ายกระแสไฟแบบแยกพื้นที่ (zone-specific power modulation) ยังช่วยลดจุดที่มีแสงเข้มข้นเกินไป (hotspot) และเพิ่มระดับแสงในบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย ส่งผลให้เกิดความสมดุลของแสงในภาพรวมของพื้นที่เพาะปลูก

ภายใต้เงื่อนไขนี้ ค่า PPF D Uniformity เพิ่มขึ้นเป็น 76.1% ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการทดลองก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นถึง ศักยภาพของการใช้แผ่นสะท้อนแสงขนาดใหญ่ร่วมกับการควบคุมพลังงานแสงอย่างมีแบบแผน ในการเพิ่มคุณภาพของแสงที่พืชได้รับอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชั้นปลูก



รูปที่ 4.12 กราฟอุณหภูมิภายในชั้นปลูกเทียบกับเวลา ระยะ8ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิภายในชั้นปลูก ภายใต้แต่ละเงื่อนไขการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ ความกว้างของตัวสะท้อน ต่ออุณหภูมิสะสมในบริเวณเพาะปลูก ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อสมดุลของสภาพแวดล้อมและการเจริญเติบโตของพืช ในการทดลองนี้ ได้มีการวัดอุณหภูมิภายในชั้นปลูกภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ได้แก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง โดยไม่มีการติดตั้งตัวสะท้อนแสง การติดตั้งตัวสะท้อนแสงที่มีความยาว 15 cm, 20 cm, 25 cm และ 30 cm

ข้อมูลที่ได้จากกราฟในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 3-4 ชั่วโมงแรกของการทดลอง มีความแตกต่างของอุณหภูมิเล็กน้อยระหว่างแต่ละเงื่อนไข ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากการเริ่มต้นทำงานของระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะ LED ที่ยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ ทั้งนี้ระบบแสงที่ติดตั้งตัวสะท้อนอาจมีการสะสมความร้อนในลักษณะที่แตกต่างกันในระยะต้น เมื่อเวลาผ่านไป อุณหภูมิของแต่ละเงื่อนไขเริ่มมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น และเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 30-31 °C แสดงให้เห็นว่าแม้จะมีการติดตั้งแผ่นสะท้อนที่มีความยาวแตกต่างกัน แต่ผลกระทบต่ออุณหภูมิสะสมในระยะยาวนั้น มีความแตกต่างไม่มากนัก

ผลการทดลองนี้จึงชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มความยาวของแผ่นสะท้อนเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของแสง (uniformity) ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในระบบปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการออกแบบระบบแสงสว่างในโรงเรือนหรือระบบปลูกพืชในร่ม ที่ต้องการประสิทธิภาพในการกระจายแสงโดยไม่เพิ่มความร้อนสะสมที่อาจส่งผลกระทบต่อการเติบโตของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าผลการทดลองแต่ละตัวแปรที่แต่ละเงื่อนไขในการทดลองทั้งหมด 5 เงื่อนไข

Condition	Reflector (cm)	PWM Current (%)		PPFD _{avg} ±5 (max) ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	PPFD _{avg} (min) ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Uniformity (%)	Power (W)	Temperature (°C)
		Area A	Area B					
1	-	90	90	61.1	36.2	59.2	115.05	31
2	15	70	70	63.9	41.2	64.5	106.65	31
3	20	30	50	61.6	41.2	66.9	102.05	30
4	25	15	35	61.4	44.3	72.2	98.45	30
5	30	15	35	64.9	49.4	76.1	94.7	31

อภิปรายผลการทดลอง

จากตาราง 4.1 จะสามารถสรุปได้ว่า จากการทดลองทั้งหมด 5 เงื่อนไขดังกล่าว เมื่อมีการเพิ่มความกว้างของตัวสะท้อน (reflector) เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดการ Uniformity เพิ่มขึ้นตาม ทำให้ได้ผลในส่วนของคุณค่าความ Uniformity เพิ่มขึ้น พลังงานที่ใช้ลดลง ในส่วนของอุณหภูมินั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจึงทำให้ไม่มีผลมากเท่าไรสาเหตุเนื่องจากเมื่อมีการปรับเปลี่ยนความกว้างของตัวสะท้อน (reflector) จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ LED น้อยแต่ละบริเวณตามเงื่อนไขของตามลำดับทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง ทำให้อุณหภูมิที่เกิดจาก LED ไม่สูงเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้า ค่าความ Uniformity ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจะอยู่ที่ความกว้างตัวสะท้อน 15cm กับ 25cm ซึ่งอัตราส่วนไฟ LED ที่ได้ทำการทดลองนั้นจะเลือกใช้เป็น แดง3 : น้ำเงิน1

โดยเมื่อนำมาเทียบกับงานวิจัยเก่าที่เคยได้ศึกษาและนำมาใช้อ้างอิงนั้น [10] ได้มีการจำลองในส่วนของการวางรูปแบบไฟ LED แล้วทำการคำนวณค่า Uniformity ออกมาว่ามีค่าที่ 62.3% ซึ่งงานเราเลือกใช้รูปแบบกับงานวิจัยที่อ้างอิงผลที่ได้ออกมาหลังจากคำนวณค่า Uniformity เท่ากับ 76.1% จะเห็นได้ว่าส่วนต่างจะอยู่ที่ 22.1% ซึ่งสิ่งที่แตกต่างกันก็คืองานของเราได้มีการติดตั้งตัวสะท้อน (reflector) ที่เปลี่ยนความกว้าง ทั้งหมด 4 ระดับด้วยกันอีกทั้งสามารถเพิ่มหรือลดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอด LED เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสมของผู้ใช้งาน งานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่ได้มีการติดตั้งตัวสะท้อนใดๆ เข้าช่วยทำให้เกิดข้อแตกต่างเกิดขึ้น

ยกตัวอย่างอีกงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง [23] เป็นการทดลองประเมินหาค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) โดยใช้ LED แบบ (SMD) ทดลองโดยเลือกใช้ด้วยกัน 2 แบบคือแบบพลังงานต่ำกับพลังงานสูง โดยใช้ระยะความสูงระหว่าง LED ถึงพื้น ที่ 10-70 cm โดยเปลี่ยนระยะความสูงทีละ 10 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cm ซึ่งผลการทดลองที่ออกมาได้นั้นเมื่อเทียบกับงานวิจัยของเราจะพบข้อแตกต่างได้ก็คือในระยะที่ 30 cm ค่าความ (Uniformity) ที่คำนวณได้ จะอยู่ที่ 20.8% เทียบกับกับงานวิจัยของเราที่ไม่มี การติดตั้งตัวสะท้อนจะมีค่า Uniformity อยู่ที่ 59.2% จากนั้นจะเป็นการติดตั้งLEDเพิ่มในระยะด้านข้าง สองด้านเพื่อเพิ่มค่า Uniformity ได้ผลลัพธ์ที่ระยะความสูง 30 cm หลังจากการคำนวณเท่ากับ 67.5% เมื่อเทียบกับแบบที่ติดตั้งตัวสะท้อน (reflector) ระยะความกว้างที่ 30cm จะให้ค่า Uniformity หลังจากคำนวณอยู่ที่ 76.1% มีผลต่างกันอยู่ที่ 12.7% แต่ก็สามารถได้ข้อสรุปจาก งานวิจัยที่อ้างอิงว่าเมื่อมีการเพิ่มระยะความสูงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มของแสงนั้นน้อยลงแต่จะ เพิ่มในส่วนของค่า Uniformity เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ในส่วนของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในชั้นปลูกเมื่อดูจากตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองได้ว่าจะ เฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ 30-31 องศา เท่านั้นเมื่อทำการเปิดระบบไฟLED เมื่อนำไปเทียบกับงานวิจัย [24] จากระบบการทำไฟ LED ปลูกพืชก่อนหน้านี้จะเฉลี่ยอยู่ที่ 31-33 °C อีกทั้งยังมีการติดตั้งพัดลม ระบายความร้อน นั้นจึงทำให้ในส่วนอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในชั้นของงานวิจัยเทียบกันจะห่างกันอยู่ที่ 1-2 °C ในส่วนของระบบการควบคุมจะมีลักษณะการทำงานโปรแกรมที่คล้ายกันแต่จะแตกต่างกันที่ รูปแบบเซนเซอร์ที่งานวิจัยที่อ้างอิงถึงนั้นจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ที่มีจำนวนมากกว่า เช่น ป้อนน้ำ เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น [25] งานวิจัยนี้เป็นอีกงานวิจัยที่ยกมาอ้างอิงเนื่องจากมีผลของอุณหภูมิ ที่มาเกี่ยวข้องดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ตัว LED ประเภท smd มีการเปลี่ยนความยาวคลื่นการแสดงสีความเข้มแสงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดย งานวิจัยที่อ้างอิงจะทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิที่ 25 ถึง 85 °C เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและ การจ่ายกระแสไฟให้กับตัว LED ก็จะทำให้ค่าความยาวคลื่นไม่แม่นยำตามที่ผู้ผลิตกำหนดและเมื่อมี จ่ายกระแสที่มากความเข้มแสงค่าสีที่ตรงก็จะลดน้อยตามลงมาด้วย นั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อนำมาอ้างอิง งานวิจัยของเราแล้วอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30-31 °C [26] โดยยกตัวอย่างงานวิจัยที่นำมาอ้างอิงที่ เื่ออนไขอุณหภูมิที่ 25 °C มีการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นจากเดิมเพิ่มขึ้นเป็น 1.36% จึงทำให้ไม่ มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของค่าความยาวคลื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญ รวมถึงการจ่ายกระแสให้กับ LED ที่จ่ายให้กับแต่ละดวงไม่ถึงเงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างนัยสำคัญเพราะว่าใน LED แต่ละดวงที่ใช้ จะมีการให้กระแสสูงสุดที่ 60mA ตามที่ผู้ผลิตกำหนดเท่านั้น จึงทำให้ในเรื่องของอุณหภูมิภายในชั้น กับกระแสและการแสดงสีความยาวคลื่นไม่มีการส่งผลกระทบต่อตัว ไฟ LED ที่ใช้ในการทดลอง

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์เทียบกับงานวิจัยอื่นถัดไปเป็นการสรุปตามวัตถุประสงค์ ของผู้วิจัยต่องานวิจัยนี้เพื่อทำการวิเคราะห์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้โดยเริ่มจากข้อที่

1. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสัดส่วนความเข้มของไฟ LED เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นไปตาม วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพราะได้มีการพัฒนาระบบจากระบบเดิมที่มีอยู่เป็นระบบที่ไม่สามารถควบคุม สัดส่วนความเข้มไฟ LED ได้ โดยที่ระบบเก่านั้นจะเป็นการนำหลอดไฟแยกสัดส่วนสีต่างๆซึ่งไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถควบคุมได้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งในการวิจัยของเราระบบเลือกที่ใช้โปรแกรมในการควบคุมสัดส่วนนี้ได้รวมถึงสามารถควบคุมการจ่ายกระแสไฟต่อดวงไฟ LED ที่ใช้งานในระบบได้อีกด้วย ซึ่งระบบใหม่ที่สร้างขึ้นปลุกขึ้นมาี้มีความกว้างที่ 0.6 m ความยาว 1.2 m ความสูง 0.33 m และทำการควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวรับคำสั่ง

2. เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมความสม่ำเสมอของความเข้มไฟ LED ในหัวข้อวัตถุประสงค์นี้จะเลือกการนำแผ่นสะท้อนมาใช้เนื่องจากปัญหาเกิดจากความเข้มแสงภายในชั้นปลุกนั้นมีค่าที่ไม่สม่ำเสมอทำให้การปลูกเพาะเนื้อเยื่อที่ได้รับแสงไม่เท่ากัน จึงทำให้นำตัวแผ่นสะท้อนมาใช้เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ ซึ่งเราเลือกใช้แผ่นสะท้อนที่มีลักษณะพื้นผิวมันเงาและเบา คล้ายกับกระดาษ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดลองความกว้างที่ 15 20 25 30 cm เพื่อที่ดูว่าความเข้มมีการเพิ่มขึ้นภายในชั้นเป็นเท่าไรที่แต่ละเงื่อนไข ซึ่งระบบการควบคุมความสม่ำเสมอนั้นก็ก็ได้ผลที่แตกต่างกันทำให้สามารถนำไปใช้งานเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของแสงภายในชั้นปลุกเพาะเนื้อเยื่อได้และยังช่วยในเรื่องของการจ่ายไฟให้กับ LED น้อยลงแต่ได้ผลของความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอีกด้วยเป็น 28.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยในหัวข้อ "การพัฒนาระบบควบคุมแสง LED สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ" ได้ออกแบบและพัฒนาระบบแสงที่สามารถควบคุมอัตราส่วนของการให้แสงจาก LED ได้อย่างยืดหยุ่นตามความต้องการของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสั่งงานผ่านตัวควบคุม เพื่อปรับเปลี่ยนระดับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแหล่งกำเนิดแสง LED ในแต่ละบริเวณได้อย่างเป็นอิสระ รวมถึงสามารถติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนแสงเพิ่มเติมเพื่อ เพิ่มความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) ภายในชั้นปลูก ภายใต้การทดลอง ได้มีการแบ่งพื้นที่ทดลองคิดเป็น 75% ของพื้นที่ชั้นปลูกทั้งหมด และกำหนดเงื่อนไขการควบคุมปริมาณแสง LED ตามตำแหน่งของพื้นที่เพื่อควบคุมค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืช โดยมีการทดลองทั้งในกรณี ไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง และกรณีที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงใน 4 ขนาด ได้แก่ 15 cm. 20 cm. 25 cm. และ 30 cm. ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงร่วมกับการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าในแต่ละบริเวณ สามารถ เพิ่มค่าความสม่ำเสมอของแสง PPFD ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีแผ่นสะท้อน พบว่า:

- ความกว้างแผ่นสะท้อน 15 cm. ช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอ 8.9%
- ความกว้างแผ่นสะท้อน 20 cm. เพิ่มความสม่ำเสมอขึ้น 13.0%
- ความกว้างแผ่นสะท้อน 25 cm. เพิ่มความสม่ำเสมอขึ้น 21.9%
- ความกว้างแผ่นสะท้อน 30 cm. เพิ่มความสม่ำเสมอขึ้นสูงสุด 28.5%

โดยค่าความสม่ำเสมอรวมเพิ่มจากเดิม 59.2% เป็น 76.1% ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงในเชิงวิศวกรรมแสง นอกจากนี้ ได้มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในชั้นปลูกในแต่ละเงื่อนไข พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกเงื่อนไขอยู่ที่ประมาณ 30.6 °C ซึ่งไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างแต่ละขนาดของแผ่นสะท้อนแสง

ในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า การติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงขนาด 30 cm. สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด โดยใช้พลังงานรวมเพียง 94.7 วัตต์ ขณะที่ยังคงให้ค่าความสม่ำเสมอของแสงในระดับสูงสุด สำหรับค่าความเข้มแสง PPFD ที่วัดได้ภายในพื้นที่ทดลอง พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 36.2 – 64.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ผลการวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่มุ่งเน้น การพัฒนาระบบควบคุมแสง LED ให้สามารถปรับอัตราส่วนแสงและความเข้มแสงได้ตามต้องการ พร้อมทั้งสามารถติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนแสงเพื่อ 1.เพิ่มความสม่ำเสมอของแสง 2.ลดการใช้พลังงาน และ 3.คงระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้สามารถประยุกต์ใช้จริงในระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชภายใต้สภาวะควบคุม และสามารถต่อยอดพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ระบบควบคุมแสง LED สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในงานวิจัยนี้ พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีศักยภาพในการ พัฒนาและต่อยอดในหลายด้าน เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ประสิทธิภาพ และความสะดวกต่อผู้ใช้งาน ดังนี้

1. การพัฒนาระบบควบคุมด้วยเทคโนโลยี IoT (Internet of Things)

ควรมีการต่อยอดการสั่งงานระบบควบคุมแสง LED ให้สามารถทำงานร่วมกับแพลตฟอร์ม IoT ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุม ปรับค่า และติดตามสถานะของระบบแบบเรียลไทม์ผ่านสมาร์ตโฟนหรืออินเทอร์เน็ต โดยอาจมีการพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันเฉพาะทางที่สามารถสั่งการควบคุมแสงในแต่ละโซน หรือปรับอัตราส่วนของแสงตามโปรแกรมการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละระยะได้อย่างแม่นยำ

2. การนำไปพัฒนาใช้ร่วมกับ AI(ปัญญาประดิษฐ์)

โดยการนำข้อมูลตัวเลขวิธีการทดลองใช้งานร่วมกับ AI(ปัญญาประดิษฐ์) โดยให้ออกแบบโมเดลวิธีการคำนวณเมื่อผู้ใช้งานต้องการให้การจ่ายกระแสไฟตามความเข้มที่ผู้ใช้งานต้องการหรือปรับเปลี่ยนเงื่อนไขอื่น ๆ ก็สามารถให้คำนวณออกมาใช้งานได้ โดยที่ทำการป้อนข้อมูลจากผลการทดลองวิธีการคิดให้กับ AI เพื่อนำผลใช้งานจริง

3. การปรับปรุงระบบเซนเซอร์ให้รองรับเซนเซอร์ความชื้น

ในการพัฒนาระบบเซนเซอร์ โดยการนำเซนเซอร์วัดความชื้นมาใช้งานด้วยเพื่อที่จะทำการควบคุมวัดและศึกษาควบคุมปัจจัยการเจริญเติบโตของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อควรระวังในการเลือกใช้หลอดไฟ LED Strip

การเลือกซื้อหลอดไฟ LED ควรเลือกใช้ จากล็อตการผลิตเดียวกัน (same production batch) หรือเลือกที่ผู้ผลิตมีการ QC สูงเนื่องจากหลอดที่มาจากล็อตต่างกันอาจมีค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของแสงในระบบ และอาจส่งผลกระทบต่อค่าความเข้มแสง (PPFD) ที่ใช้ในการทดลอง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ทำการทดสอบโดยเปิดไฟหลอดที่ต่างกันจากนั้นทำการวัดความเข้มโดยใช้ Spectro มิเตอร์วัดความเข้มแสงที่เกิดขึ้นเพื่อดูผลต่างของตัวหลอดไฟ

5. การควบคุมแสงรบกวนจากภายนอก

ควรควบคุมสภาพแวดล้อมของห้องทดลองให้มี การปิดทึบแสง อย่างมิดชิด เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ทดลอง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าการวัดแสงและทำให้การทดลองขาดความแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการวัดค่าแสงในระดับต่ำหรือศึกษาความสม่ำเสมอของแสงภายใต้ระบบควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fukuda, N., Fujita, M., Ohta, Y., Sase, S., Nishimura, S., & Ezura, H. (2008). Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light conditions. *Scientia Horticulturae*, 115(2), 176–182.
- [2] Giedre, S., Ausra, B., Akvile, U., Gintare, S., & Pavelas, D. (2010). The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2), 99–104.
- [3] Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Gun, S., Jiao, X., Liu, X., & Gao, Y. (2013). Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(9), 2721–2726.
- [4] Sung, W. J., Hogewoning, S. W., & van Ieperen, W. (2014). Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 165, 69–73.
- [5] Kim, Y. W., & Moon, H. K. (2014). Enhancement of somatic embryogenesis and plant regeneration in Japanese red pine (*Pinus densiflora*). *Plant Biotechnology Reports*, 8(3), 259–266.
- [6] Daud, N., Faizal, A., & Geelen, D. (2013). Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 49(2), 183-19
- [7] Li, H., Tang, C., & Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 150, 117–124.
- [8] Lim, Y. J., & Eom, S. H. (2013). Effects of different light types on root formation of *Ocimum basilicum* L. cuttings. *Scientia Horticulturae*, 164, 552-555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] ผศ.ดร.มาลี ลิขิตชัยกุล. (2564, กรกฎาคม 5). *ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่อต้นดาวอินคา*. คณาจารย์ และ บุคลากร BSRU. <https://bsru.net/ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม/>
- [10] Platt, C. (2012). *Encyclopedia of Electronic Components Volume 1*. O'Reilly Media.
- [11] Nielsen, V. (2018). What effect does blue light have on plants?
- [12] Vanten LED. (n.d.). *Understanding the PAR, PPF, PPFd, and PPE in Grow Light*. https://vantenled.com/th/understanding-the-par-ppf-ppfd-and-ppe-in-grow-light/?fbclid=IwY2xjawK3mMRleHRuA2FlbOlXMAbicmlkETFka0JXMEhqZllpMULrZ1g1AR4WLZ6BTKSMEhrlMfSkNs6MrzHwZJERmszYVhWcEWNq0-7Oa2daONh4by4UOA_aem_l5acXkiY-VTF_34Xk8wEO
- [13] ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาการเรียนรู้อาชีวศึกษา. (2023, กรกฎาคม 18). *แสงสีกับการเจริญเติบโตของพืช*. <https://sciplanet.org/content/12621/>
- [14] Wattanawongpaiboon, P. (2007). *วงจรประหยัดพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของพัดลมในคอมพิวเตอร์* [ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร]. NU Intellectual Repository.
- [15] V89 Infinity Technology. (2021, สิงหาคม 15). ESP32 ทำงานอย่างไร Pin I/O พื้นฐาน. V89 Infinity Technology. <https://v89infinity.com/esp32/>
- [16] CRU & Stu. (2021). *Lab4 spectrometer*. https://pchimalawong.freevar.com/doc/Lab4%20Spectrometer_CRU_Stu.pdf
- [17] [Spectrometer - Wikipedia](#)
- [18] LI-COREnvironmental.(n.d.).*LI-180Spectrometer*.Retrievedfrom <https://www.licor.com/env/products/light/spectrometer>
- [19] Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., & Lin, H. (2016). The research on LED supplementary lighting system for plants. *Optik*, 127(18),7193–7201. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2016.05.056>
- [20] Senol, R., Kilic, S., & Tasdelen, K. (2016). Pulse timing control for LED plant growth unit and effects on carnation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.02.013>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] กรวิทย์ กระจ่างพันธ์, ธีระวรรณ สืบชนวงษ์, & สุขสันต์ หวังสถิตวงษ์. (2561). การออกแบบแสงด้วยหลอด LED ส่งสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคารโดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 49(1พิเศษ), 498-501.
- [22] Jeon, H., Ju, K., Joo, J., & Kim, H. (2012). Illuminance Distribution and Photosynthetic Photon Flux Density Characteristics of LED Lighting with Periodic Lattice Arrangements. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 13(1), 16–18. <https://doi.org/10.4313/teem.2012.13.1.16>
- [23] Kim, M., Choo, Y., Kim, Y., & Chung, S. (2014). Evaluation of light intensity and uniformity of LEDs for protected crop production. *Agribusiness and Information Management*, 6(1), 37–44. <https://doi.org/10.14771/aim.6.1.5>
- [24] Limprasitwong, S., & Thongchaisuratkrul, C. (2018, August). Plant Growth Using Automatic Control System under LED, Grow, and Natural Light. In *2018 5th International Conference on Advanced Informatics: Concept Theory and Applications (ICAICTA)* (pp. 192-195). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAICTA.2018.8541308>
- [25] Raypah, M. E., Devarajan, M., & Sulaiman, F. (2016, October). Influence of injection current and ambient temperature on intensity and wavelength of low-power SMD LED. In *2016 IEEE 37th International Electronics Manufacturing Technology (IEMT) & 18th Electronics Materials and Packaging (EMAP) Conference* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEMT.2016.7761989>
- [26] Chen, P.-L., et al. (2014, April). The illumination uniformity study of diffuser plates for reflective LED desk lighting. In *2014 9th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)* (pp. 525-529). IEEE. <https://doi.org/10.1109/NEMS.2014.6908864>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

```

#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#ifdef __AVR__
#include <avr/power.h> // Required for 16 MHz Adafruit Trinket
#endif
#define DATA_PIN 27
#define DATA_PIN1 25
#define DATA_PIN2 32
#define DATA_PIN3 14
#define DATA_PIN4 26
#define NUM_LEDS 600
Adafruit_NeoPixel strip(NUM_LEDS, DATA_PIN, NEO_GRB); // <- Adafruit NeoPixel version
Adafruit_NeoPixel strip1(NUM_LEDS, DATA_PIN1, NEO_GRB);
Adafruit_NeoPixel strip2(NUM_LEDS, DATA_PIN2, NEO_GRB);
Adafruit_NeoPixel strip3(NUM_LEDS, DATA_PIN3, NEO_GRB);
Adafruit_NeoPixel strip4(NUM_LEDS, DATA_PIN4, NEO_GRB);
#include <Wire.h>
#include <ErriezDS3231.h>
ErriezDS3231 rtc;
//#define DELAYVAL 10

void setup() {
  Serial.begin(115200);
#ifdef __AVR_ATtiny85__
  clock_prescale_set(clock_div_1);
#endif
  strip.begin(); // initialize strip (required!)
  strip1.begin();
  strip2.begin();
  strip3.begin();
  strip4.begin();
  while (!Serial) {
    ;
  }
}

```

อธิบายการเขียนโค้ดโดยเป็นการระบุตัวแปรในการรับข้อมูลของจำนวน ไฟ LED Strip โดยทำการประกาศตัวแปรที่ใช้คือ 27 25 32 14 26 โดยที่แต่ละตัวแปรใช้ข้อมูลของดวงไฟ LED Strip แต่ละตัวแปรคือ 600 ดวง และเป็นการระบุตัวแปรในการสั่งงาน LED Strip ให้ตั้งค่าจำนวนดวงไฟ LED Strip โดยกำหนดตัวแปรชื่อ Strip Strip1 Strip2 Strip3 Strip4 เพื่อใช้งานประกาศตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    Serial.println(F("\nErriez DS3231 set get time example"));
    // END of Trinket-specific code.
    Wire.begin();
    Wire.setClock(100000);

    // Initialize RTC
    while (!rtc.begin()) {
        Serial.println(F("RTC not found"));
        delay(1000);
    }
    //*****ช่วงเวลา RTC*****
    //rtc.setTime(14,38,0);
}

// INITIALIZE NeoPixel strip object (REQUIRED)
void loop() {
    uint8_t hour;
    uint8_t min;
    uint8_t sec;

    // Get time from RTC
    (rtc.getTime(&hour, &min, &sec));

    Serial.print(hour);
    Serial.print(":");
    Serial.print(min);
    Serial.print(":");
    Serial.print(sec, DEC);
    Serial.println();
    //now_time = "TIME = " + String(hour) + ":" + String(min) + ":" + String(sec);
}

```

เป็นการกำหนดในส่วนของการรับการตั้งค่าเวลาการเปิดปิดการทำงานของ LED Strip โดยให้แสดงตัวอักษรเวลาหรือที่แสดงในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(1000);
//กำหนดเริ่มเปิดแสดงสถานะระยะเวลาxx-xx  && || ถ้าใช้คำสั่ง
if((hour >=5 &&  hour <=20  )){
  Serial.println("LIGHT ON");
  strip.setPixelColor(0, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(1, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(2, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(3, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(4, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(5, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(6, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(7, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(8, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(9, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(10, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(11, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(12, strip.Color(178, 0, 0));
  strip.setPixelColor(13, strip.Color(178, 0, 0));

```

```

strip.show();
strip1.show();
strip2.show();
strip3.show();
strip4.show();
}

//delay(DELAYVAL); // Pause before next pass through loop
//กำหนดเริ่มเปิดแสดงสถานะระยะเวลาxx

else if((hour >=21  )){
  Serial.println("LIGHT OFF");

```

การกำหนดค่าความสว่างโดยสามารถระบุตำแหน่งของไฟ LED Strip ได้แต่ละดวง โดยที่แต่ละดวงนั้นจะมีตัวแปรในการกำหนดระบุตำแหน่งกับกำหนดสีของ LED Strip โดยที่ภายในวงเล็บเป็นการระบุของสี LED Strip สีแดง เขียว น้ำเงิน โดยเป็นการปรับจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบ PWM(Pulse Width Modulation) โดยมีการจ่ายตั้งแต่ 255 ถึง 0 จากนั้นจะเป็นการประกาศตัวแปรให้ทำการแสดงผล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
strip.setPixelColor(0, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(1, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(2, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(3, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(4, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(5, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(6, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(7, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(8, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(9, strip.Color(0, 0, 0));
strip.setPixelColor(10, strip.Color(0, 0, 0));
```

```
strip.show();
strip.clear();
strip1.show();
strip1.clear();
strip2.show();
strip2.clear();
strip3.show();
strip3.clear();
strip4.show();
strip4.clear();
}
}
```

ภายในรูปเป็นการแสดงในส่วนของผล LED Strip ให้มีการทำงานแบบปิดเมื่อเวลาถูกกำหนดให้หยุดทำงาน โดยเป็นการระบุว่า LED Strip ทุกตำแหน่งจะไม่มี การแสดงผลทุกสีและประกาศตัวแปรให้มีการแสดงผลหลังจากที่ทำการระบุให้ LED Strip ไม่แสดงผล

ผลการทดลองการใช้ระบบการพัฒนาระบบควบคุมความเข้มแสง LED สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ใช้ร่วมกับงานวิจัยการพัฒนาของแคลลัสจากกลีบดอกเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อร่วมกับทางคณะเทคโนโลยีเกษตร

ผลการทดลอง Parameter ที่ใช้วัดผลในด้านการเจริญเติบโต Chlorophyll a, b Carotenoids และ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ผลการทดลองสอดคล้องไปในทางเดียวกัน T11 = 40:15 และ T14 = 30:7 มีค่าการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในทุก parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chlorophyll a			
	1# (2month)	2# (3 month)	3# (4month)
T1 = white light	31.616 cd	46.674 c	52.357 bc
T2 = 30:10(1)	30.644 cd	41.459 cd	65.175 b
T3 = 30:10(2)	27.277 d	34.785 cd	41.864 bc
T4 = 30:10(3)	41.668 b	45.646 cd	36.994 c
T5 = 30:10(4)	34.600 bcd	33.427 cd	39.852 bc
T6 = 30:10(5)	32.044 cd	29.527 cd	41.413 bc
T7 = 20:15	37.909 bc	37.785 cd	39.735 bc
T8 = 20:5	26.178 d	44.273 cd	51.118 bc
T9 = 44:10	31.812 cd	30.374 cd	40.094 bc
T10 = 40:5	30.782 cd	23.773 d	38.127 c
T11 = 40:15	55.689 a	107.132 a	88.925 a
T12 = 16:10	34.333 bcd	23.786 d	51.952 bc
T13 = 30:17	37.029 bc	41.979 cd	39.598 bc
T14 = 30:7	42.732 b	74.664 b	110.777 a
F-test	**	**	**
CV	8.021	26.034	25.220

Chlorophyll b			
	1# (2month)	2# (3 month)	3# (4month)
T1 = white light	14.080 b	19.148 b	23.773 c
T2 = 30:10(1)	13.968 b	18.218 b	28.385 c
T3 = 30:10(2)	13.305 b	14.153 b	20.249 c
T4 = 30:10(3)	19.481 ab	18.719 b	17.485 c
T5 = 30:10(4)	15.408 b	13.179 b	19.034 c
T6 = 30:10(5)	14.584 b	12.055 b	19.924 c
T7 = 20:15	17.282 ab	19.885 b	19.930 c
T8 = 20:5	13.414 b	18.598 b	24.958 c
T9 = 44:10	14.848 b	12.388 b	19.444 c
T10 = 40:5	14.420 b	9.989 b	19.398 c
T11 = 40:15	25.468 a	46.075 a	39.227 b
T12 = 16:10	16.704 b	10.663 b	24.618 c
T13 = 30:17	17.980 ab	17.331 b	17.950 c
T14 = 30:7	20.404 ab	44.554 a	49.485 a
F-test	*	**	**
CV	27.354	38.452	22.931

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fresh Weight			
	1# (2month)	2# (3month)	3# (4month)
T1 = white light	0.089 b	0.124 cd	0.314 bc
T2 = 30:10(1)	0.066 d	0.060 g	0.167 f
T3 = 30:10(2)	0.083 bc	0.070 fg	0.165 f
T4 = 30:10(3)	0.090 b	0.145 bc	0.199 def
T5 = 30:10(4)	0.059 d	0.113 cde	0.162 f
T6 = 30:10(5)	0.067 d	0.110 cde	0.193 ef
T7 = 20:15	0.082 bc	0.103 def	0.281 cd
T8 = 20:5	0.058 de	0.085 efg	0.226 def
T9 = 44:10	0.078 c	0.124 cd	0.255 cde
T10 = 40:5	0.089 b	0.140 bcd	0.279 cd
T11 = 40:15	0.087 bc	0.219 a	0.386 ab
T12 = 16:10	0.058 de	0.060 g	0.175 ef
T13 = 30:17	0.048 e	0.076 efg	0.167 f
T14 = 30:3	0.102 a	0.162 b	0.406 a
F-test	**	**	**
CV	9.967	23.627	24.914

Dry Weight			
	1# (2month)	2# (3month)	3# (4month)
T1 = white light	0.009 abcd	0.012 def	0.035 ab
T2 = 30:10(1)	0.008 bcdef	0.007 h	0.022 ef
T3 = 30:10(2)	0.009 abcd	0.008 gh	0.024 def
T4 = 30:10(3)	0.009 abcd	0.016 bcd	0.025 cdef
T5 = 30:10(4)	0.008 def	0.013 bcdef	0.019 f
T6 = 30:10(5)	0.008 cdef	0.013 cdef	0.024 def
T7 = 20:15	0.008 cdef	0.011 efgh	0.030 bcde
T8 = 20:5	0.007 ef	0.011 efg	0.030 bcde
T9 = 44:10	0.009 abcde	0.015 bcde	0.031 bcd
T10 = 40:5	0.010 a	0.017 bc	0.033 bc
T11 = 40:15	0.009 abc	0.021 a	0.043 a
T12 = 16:10	0.007 fg	0.008 hg	0.022 ef
T13 = 30:17	0.006 g	0.010 fgh	0.020 f
T14 = 30:3	0.009 ab	0.017 b	0.043 a
F-test	**	**	**
CV	11.913	22.286	21.583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป การพัฒนาของแคลลัสจากกลีบดอกเบญจมาศหลังจากเพาะเลี้ยงภายใต้แสง LED ในสัดส่วนแสงสีแดงและสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน (1 เดือน)



รูป การพัฒนาของแคลลัสจากกลีบดอกเบญจมาศหลังจากเพาะเลี้ยงภายใต้แสง LED ในสัดส่วนแสงสีแดงและสีน้ำเงินที่แตกต่างกัน (2 เดือน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีแบบเส้นสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช Development of LED Strip Lighting System for Plant Tissue Culture

ปิติกัทร อุ่นแสง¹, อารพรณ์ สุกุลการเวก¹, ภานุพล โขลอนกระโทก¹ และณัฐกฤษ สมดอภ¹
Peetipat Unsaeng¹, Aparporn Sakulakavek¹, Bhanupol Klongratog¹ and Nuttakrit Somdock¹

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นเทคนิคทางการเกษตรที่ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ในการขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงพืชจากเนื้อเยื่อเซลล์หรืออวัยวะของพืชในสภาพแวดล้อมที่สามารถควบคุมได้เพื่อให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการรักษาพันธุกรรมของพืชที่มีคุณสมบัติพิเศษ ช่วยขยายพันธุ์พืชได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ช่วยอนุรักษ์พันธุ์พืช ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้น การควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมนั้นมีความสำคัญอย่างมาก ทั้ง อุณหภูมิ-ความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงที่เหมาะสมกับชนิดของพืช การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในห้องปฏิบัติการนั้นแอลอีดีได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากใช้พลังงานน้อยและมีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงกว่าเมื่อหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบเดิม อย่างไรก็ตาม การพัฒนาการควบคุมแหล่งกำเนิดแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงเพื่อวัตถุประสงค์ที่จำเพาะ เช่น เร่งการเจริญเติบโต หรือเร่งการเพิ่มสสารสำคัญทางพฤกษเคมี ยังมีข้อจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบระบบแสงแอลอีดีแบบเส้นเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงและมีการจัดเรียงของแอลอีดีแบบไดมอนด์ที่สามารถควบคุมความเข้มแสงของแอลอีดีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จากผลการออกแบบระบบแสงแอลอีดี พบว่า สามารถสร้างระบบแสงเทียมโดยใช้แอลอีดีแบบเส้นสำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีพื้นที่ขนาด 60 x 120 เซนติเมตร โดยใช้แอลอีดีแบบเส้น ชนิด RGB WS2812B ที่ประกอบไปด้วย RGB แอลอีดี 3000 ดวง ระบบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมความเข้มแสง ชนิดของแสง ด้วย ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบนี้สามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดการทำงานได้อีกด้วย จากการทดสอบระบบเบื้องต้น พบว่า ระบบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมชนิดของแสงสีแดงต่อสีน้ำเงิน (R:B) ในอัตราส่วน 30:3, 40:15, 30:10, 40:5 และ 30:17 ควบคุมชนิดของแสงสีแดงต่อสีเขียวและสีน้ำเงิน (R:G:B) ในอัตราส่วน 1:1:1 เพื่อสร้างเป็นแหล่งกำเนิดแสงขาวได้อีกด้วย

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช, ไดโอดเปล่งแสง (LED), แสงประดิษฐ์, ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

Plant tissue culture is an agricultural approach that grows plants from cells or organs in a regulated, ideal environment by applying scientific procedures. Plant tissue culture offers several benefits, including preserving the genetic integrity of plants with unique traits, enabling rapid and efficient plant propagation, and maintaining plant varieties under optimal temperature conditions. Proper control of the tissue culture environment is essential for maximizing growth potential and ensuring the plants remain free from diseases. Therefore, it is necessary to control the temperature, humidity, and light in a manner that is suitable for the plant tissue culture. Light-emitting diodes (LEDs) are becoming increasingly important in laboratories to control light for plant tissue culture due to their excellent light output efficiency and low energy consumption compared with fluorescent lamps. Therefore, this research aims to develop an LED lighting system that serves as an LED light source for plant tissue culture, arranging the LEDs in a diamond pattern. Additionally, a microcontroller can control the system to regulate the LED lighting source. As a result, the design of the artificial lighting system, which uses LED strips as the light source, enables the creation of a lighting setup measuring 60 x 120 cm. This system utilizes RGB WS2812B LED strips consisting of 3,000 RGB LEDs and can control light intensity as well as the levels of red, green, and blue light using an ESP32 microcontroller.

¹ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520

*Corresponding author: nuttakrit.so@kmitl.ac.th

Additionally, users can schedule the system's on and off times by using the DS3231 module. Preliminary experimental results indicate that the system is able to control the red-to-blue light ratio (R:B) to 30:3, 40:15, 30:10, 40:5 and 30:17, as well as the red-to-green-to-blue light ratio (R:G:B) to 1:1:1 for producing white light.

Keywords: plant tissue culture, light-emitting diode (LED), artificial lighting, microcontroller

บทนำ

ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการผลิตต้นกล้าของพืชเศรษฐกิจเป็นจำนวนมาก ประโยชน์ที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีด้วยกันหลายด้าน เช่น ช่วยในการรักษาพันธุ์ของพืชที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถขยายพันธุ์พืชได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ช่วยอนุรักษ์พันธุ์พืชทั้งในเรื่องของอุณหภูมิจากภัยพิบัติ ช่วยเพิ่มความต้านทานโรคของพืชและการปรับปรุงคุณภาพทางการเกษตร เป็นต้น (จารุวรรณ และคณะ, 2544) การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นการนำส่วนของพืชที่ยังมีชีวิตมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์โดยการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น (ธราธร และคณะ, 2539) จากที่กล่าวมาข้างต้น แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักของการสังเคราะห์แสงของพืชและทำให้พืชมีการเจริญเติบโต (ศุภชาติ, 2562) โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืช ข้อดีของการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ ราคาถูก ติดตั้งง่ายและต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เมื่อต้องการควบคุมแสงจะมีความยุ่งยาก และปลดปล่อยความร้อนสูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย ปัจจุบันแอลอีดี (LED, light-emitting diode) หรือเรียกว่าไดโอดเปล่งแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีการปล่อยแสงสว่างออกมา และมีการปลดปล่อยความร้อนต่ำ กำลังส่องสว่างสูง ให้ความสว่างของหลอดสูง และมีอายุการใช้งานยาวนานประมาณ 50,000 ชั่วโมง (กษิตีเดช และคณะ, 2563) โดยแสงสว่างที่เกิดขึ้นมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ สีของแสงที่เกิดขึ้นจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้สร้างเป็นแอลอีดี (เทพสุตา และณัฐชัย, 2564) เช่น แอลอีดีสีแดงใช้สารกึ่งตัวนำแกเลียมฟอสไฟด์ (GaP), แอลอีดีสีเขียวใช้สารกึ่งตัวนำอินเดียมแกเลียมไนไตรด์ (InGaN) และแอลอีดีใช้สารกึ่งตัวนำซิงค์เซเลไนด์ (ZnSe) เป็นต้น (Abbasgholi-NA et al., 2022) โดยแอลอีดีจะมีหลายชนิดด้วยกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่น แอลอีดีขนาดเล็ก (micro-LED lamp), พลังงานสูง (High Power LED), หลอดไฟแอลอีดี (LED tube) แอลอีดีแบบเส้น (LED strip light) เป็นต้น (Silva et al., 2023) ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาแสงของแอลอีดีที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช Samuolienė et al. (2010) รายงานว่า การใช้แสงสีแดงร่วมกับแสงสีน้ำเงินทำให้การเจริญเติบโตและการพัฒนาการของสตรอเบอรี่มีความเจริญเติบโตและการที่ Fan et al. (2013) ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดแสงสีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงิน, สีเหลือง, สีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน พบว่า การเจริญเติบโตของกะหล่ำปลีมีน้ำหนักสดและปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น Lim and Eom (2013) ได้ศึกษาการปักชำโหระพาซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการขยายพันธุ์ แต่อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตในระยะเริ่มต้นในการสร้างรากชำ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการใช้แสงสีน้ำเงินร่วมกับแสงสีแดงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากที่เร็วขึ้น ธัญญวณิช และคณะ (2563) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสงแอลอีดีต่อการเจริญของยอดอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พบว่า หลอดแอลอีดีแสงขาวทำให้เกิดการดูดซับโดยคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ทำให้กระตุ้นการสังเคราะห์ด้วยแสงและเพิ่มการเจริญของเนื้อเยื่ออ้อย และหลอดแอลอีดีสีน้ำเงินและสีแดงในอัตราส่วน 50:50 ช่วยทำให้เพิ่มความยาวของยอด น้ำหนักสด จำนวนใบและจำนวนยอดได้ Jeong et al. (2014) ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดแสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และการร่วมกันของแสงสีแดงกับแสงสีน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของดอกเบญจมาศ พบว่า การใช้แสงสีแดงร่วมกับแสงสีน้ำเงินส่งผลต่อการเจริญเติบโตของดอกเบญจมาศที่ดี YU et al. (2020) ศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและเมล็ดข้าว โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี พบว่า อัตราส่วนแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีแดง (B:R) ในอัตราส่วน 1:1 ที่ทำให้การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อและเมล็ดข้าวที่ดี ธัญญวณิช และคณะ (2561) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสงจากแอลอีดีและความเข้มข้นของไฮโดรคินินต่อการเจริญเติบโตของกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อนในขวดแก้ว สุสนาร์และนิราณี (2566) ได้ศึกษาผลของการใช้แสงแอลอีดีต่อการเจริญเติบโตแลผลผลิตของต้นอ่อนผักบุ้ง ซึ่งพบว่า การใช้แสงแอลอีดีสีม่วง

ที่แสงจ้าวัน 12 ชั่วโมง ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งจำนวน 10 ต้น และน้ำหนักสดของผลผลิตทั้งหมด จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงผลของแสงสีแดงและสีน้ำเงินที่มีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืช สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตได้ดี ได้แก่ แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน เนื่องจากแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นแสง 640 – 680 นาโนเมตร มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และกระบวนการเจริญเติบโตของพืช แสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่นแสง 450 – 495 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นแสงที่ช่วยในการควบคุมการเติบโตของเซลล์และพัฒนาการของพืช การตอบสนองของพืชต่อแสงนั้นเกี่ยวข้องกับกลไกการดูดซึมแสงโดยโมเลกุลในพืช เช่น คอปเปอร์โรปรีติน (phytochromes) สำหรับแสงสีแดง และ cryptochromes สำหรับแสงสีน้ำเงิน เมื่อแสงที่เหมาะสมถูกดูดซึมโดยพืชจะถูกกระตุ้นการแสดงของยีนที่มีบทบาทในการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช ดังนั้น การควบคุมการเจริญเติบโตของการประยุกต์ใช้แสงเทียมที่ดี ควรมีการผสมแสงและใช้แสงที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างสมดุล โดยไม่ทำให้พืชเติบโตเร็วเกินไปจนเกิดความเครียดจากแสงที่มากเกินไป (Ophilia *et al.*, 2017) นอกจากนี้ การควบคุมการเปิดปิดแสงเทียมช่วยให้สามารถปรับการเปิด-ปิดแสงตามแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตของพืชได้ ซึ่งมีประโยชน์ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเร่งการเจริญเติบโต, การควบคุมการออกดอก หรือการควบคุมขนาดของพืชตามต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยลดจากการได้รับแสงของพืชที่มากเกินไป ซึ่งอาจทำให้พืชเกิดอาการเครียดจากแสงได้อีกด้วย (Nath *et al.*, 2017) เทพ และคณะ (2565) ได้ออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกสลัดด้วยแสงไฟจากแอลอีดีที่มีระบบควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยระบบที่สร้างขึ้นด้วยไฟแอลอีดีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตรและสูง 150 เซนติเมตร มีกรรมวิธีปลูกสลัดด้วยการปลูกผักสลัดเป็นเวลา 45 วัน และทำการเก็บข้อมูลค่าความเข้มของแสง อุณหภูมิ ความชื้นในดิน เทียบขนาดของผักที่ในระบบตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟแอลอีดีกับการปลูกผักสลัดด้วยวิธีทั่วไป ผลการทดลองพบว่า ผักสลัดที่ปลูกด้วยตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟแอลอีดีได้รับแสงตลอดเวลาและต่อเนื่อง ในขณะที่ผักสลัดที่ปลูกด้วยวิธีทั่วไปจะได้รับแสงแค่ช่วงเวลากลางวันเท่านั้น จึงส่งผลให้ผักสลัดที่ปลูกในตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ แอลอีดีมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการปลูกผักสลัดด้วยวิธีทั่วไป ประมาณ 10 วัน จากรายงานที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมแหล่งแสงเทียมในตู้ปลูกพืช ส่วนใหญ่ควบคุมแสงเทียมทั้งระบบครบทุกช่วงความยาวคลื่นแสง ในขณะที่การพัฒนาระบบแหล่งกำเนิดแสงที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อควบคุมแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงยังมีจำกัด และยังไม่มียังไม่มีระบบเปิด-ปิดแสงเทียมแบบอัตโนมัติ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีสำหรับระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช แสงที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมความเข้มแสง ชนิดของแสง และการผสมแสงได้ตามที่พืชต้องการโดยควบคุมการทำงานผ่าน ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ราคาถูกและมีหน่วยความจำภายในเพียงพอต่อการทำงานของระบบที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ ระบบแสงเทียมที่สร้างขึ้นสามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดด้วยโมดูลนาฬิกา DS3231 ได้อีกด้วย ในขั้นตอนการทดสอบระบบที่สร้างขึ้นจะถูกวัดค่าความหนาแน่นโฟตอนการสังเคราะห์แสงไฟโต (PPFD) ของอัตราส่วนแสงต่าง ๆ เนื่องจากความหนาแน่นโฟตอนการสังเคราะห์แสงไฟโตเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่ช่วยให้ผู้ปลูกพืชสามารถควบคุมแสงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิด ช่วยเพิ่มผลผลิต ลดปัญหาความเครียดจากแสงของพืชและส่งเสริมการเติบโตของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมแหล่งกำเนิดแสงเทียมด้วย แอลอีดี RGB WS2812B สำหรับประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบระบบ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบแสงเทียมเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในห่อปฏิบัติการ ขนาด 60 x 120 เซนติเมตร ระบบแสงเทียมสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดัง Figure 1 ประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสงของระบบจะใช้แอลอีดีแบบเส้น WS2812B ประกอบไปด้วย RGB (Red (สีแดง); Green (สีเขียว); Blue (สีน้ำเงิน)) แอลอีดีจำนวน 3000 ดวง โดยคุณสมบัติของแอลอีดีแบบเส้น WS2812B แสดงได้ดัง Table 1 การจัดเรียงของแอลอีดีของ

ระบบจะมีการจัดเรียงแบบไดมอนด์ แสดงตัวอย่างได้ดัง Figure 2 โดยระบบแสงเทียมที่สร้างขึ้นจากแอลอีดีจะถูกควบคุมความเข้มแสงและชนิดของแสงสีแดงสีเขียวและสีน้ำเงินด้วย ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีโมดูล นาฬิกา DS3231 สำหรับตั้งเวลาเปิด-ปิดการทำงานของแอลอีดี โดยระบบจะใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ 60 แอมแปร์ สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไมโครคอนโทรลเลอร์และแอลอีดี

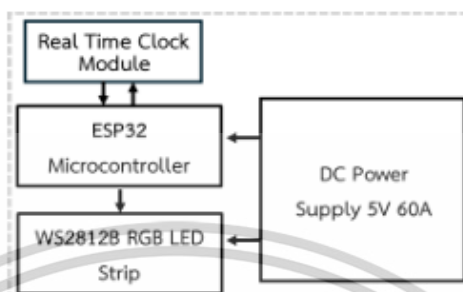


Figure 1 Artificial illumination system for plant tissue culture applications.

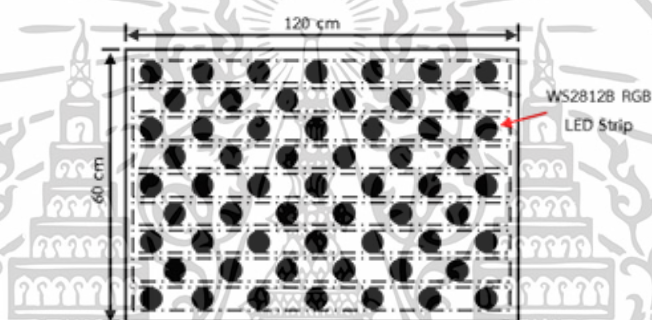


Figure 2 pattern of LED system for plant tissue culture application.

Table 1 The specification of LED strip WS2812B.

Parameter	
- DC voltage	+3.5 - +5.3 volt
- DC current of red, green, and blue LED	~ 20 mA
- Wavelength for red LED light	620-625 nm
- Red luminous intensity	550-700 mcd
- Wavelength for green LED light	522-525 nm
- Green luminous intensity	1100-1400 mcd
- Wavelength for blue LED light	465-467 nm
- Blue luminous intensity	200-400 mcd

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบแอลอีดีและวงจรมานาฬิกา

บล็อกไดอะแกรมระบบการควบคุมการทำงานของแอลอีดีและโมดูลนาฬิกา DS3231 แสดงได้ดัง Figure 3 เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมโดยกำหนดเงื่อนไขอัตราส่วนการเปล่งแสงของแอลอีดีสีแดง, แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน (R:G:B) พร้อมทั้งตั้งเวลาในการเปิด-ปิดแหล่งกำเนิดแสงด้วย ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อแหล่งกำเนิดแสงทำงานจะมีการนับเวลาถอยหลังสำหรับการปิดแหล่งกำเนิดแสง เมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้ระบบจะมีการปิดแหล่งกำเนิดแสงที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งกลับไปสู่หน้าการกำหนดอัตราส่วนแสงและการตั้งเวลาการทำงานของระบบอีกครั้ง

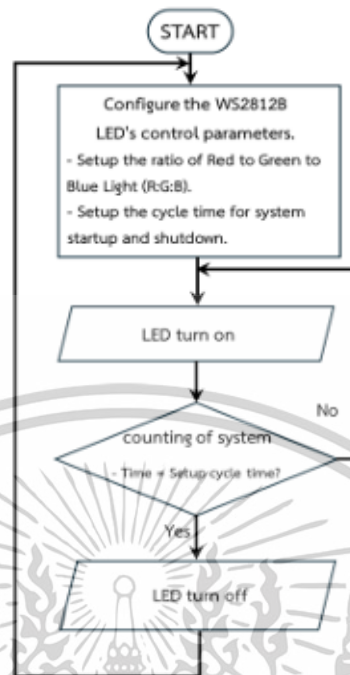


Figure 3 block diagram of the system for control of the LED system and clock circuit.

การวัดและเก็บผลการทดสอบระบบ

ทดสอบระบบด้วยการควบคุมการทำงานของแอลอีดีด้วยกำหนดเงื่อนไข ดังนี้ 1) สร้างแสงสีขาว ด้วยการควบคุมการเปล่งแสงของแอลอีดีในอัตราส่วนของแสงสีแดง, แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน (R:G:B) ในอัตราส่วน 1:1:1, 2) อัตราส่วนของแสงสีแดงต่อสีน้ำเงิน (R:B) 30:3, 40:15, 30:10, 40:5, 30:17 ตามลำดับ (ยกตัวอย่างเช่น อัตราส่วนของแสงสีแดง, แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน (R:G:B) หมายถึง การกำหนดให้แอลอีดีสีแดงต่อสีเขียวและสีน้ำเงินเปิดการทำงานในอัตราส่วน 1:1:1) เมื่อกำหนดเงื่อนไขของการควบคุมการทำงานของแอลอีดีเรียบร้อยแล้วจะทำการเริ่มต้นการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง จากนั้นจะทำการวัดค่าสเปกตรัมแสง, PPFd โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ รุ่น L1-180 โดยระยะห่างระหว่างแอลอีดีกับสเปกโตรมิเตอร์มีระยะห่างอยู่ที่ 30 เซนติเมตร แสดงได้ดัง Figure 4A การวัดค่าความค่าสเปกตรัมแสง, PPFd จะทำการวัดทั้งหมด 5 ตำแหน่ง แสดงได้ดัง Figure 4B พร้อมทั้งหาค่าเบี่ยงเบน (SD) ของการค่าสเปกตรัมแสงทั้ง 5 ตำแหน่ง

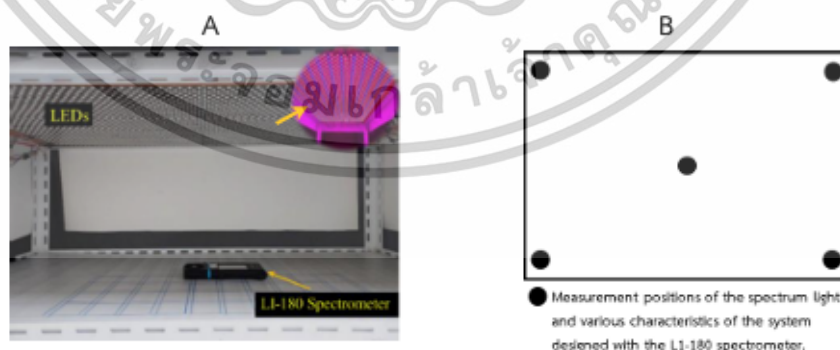


Figure 4 A) illustrates the distance between the light source and the spectrometer L1-180, B) measurement positions of the PPFd spectra of the constructed system at 5 points.

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการผลการศึกษาการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีแบบเส้น WS2812B เพื่อประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช พบว่า ระบบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมการทำงานของแอลอีดี เมื่อทำการวัดค่าสเปกตรัมแสงและ PPFD ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ L1-180 แสดงได้ดังตารางที่ 2

Table 2 The results of PPFD values at 5 locations as in Figure 4(B) using the L1-180 spectrophotometer.

The ratio Red : Green : Blue (R:G:B) light		PPFD value ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) at the indicated location				
		1	2	3	4	5
1:1:1 (R:G:B)	Average value of PPFD	21.50	21.52	21.50	21.60	23.90
	SD value	0.09	0.13	0.09	0.21	0.07
30:3 (R:B)	Average value of PPFD	48.86	48.98	48.90	48.87	58.65
	SD value	0.06	0.14	0.08	0.21	0.22
40:15 (R:B)	Average value of PPFD	49.73	49.74	49.78	49.73	60.84
	SD value	0.07	0.09	0.22	0.08	0.20
30:10 (R:B)	Average value of PPFD	56.86	56.79	56.69	56.79	61.12
	SD value	0.21	0.23	0.26	0.27	0.31
40:5 (R:B)	Average value of PPFD	51.06	51.35	51.90	51.47	54.27
	SD value	0.13	0.35	0.30	0.26	0.22
30:17 (R:B)	Average value of PPFD	52.94	52.98	52.98	52.96	58.20
	SD value	0.10	0.13	0.08	0.05	0.13

เมื่อควบคุมการทำงานของแอลอีดีให้มีแสงสีขาว ตัวอย่างสเปกตรัมแสงและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5ก สเปกตรัมแสงมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 – 780 นาโนเมตร ค่า PPFD มีค่าอยู่ในช่วง 21.43-23.98 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ โดยแสงขาวที่สร้างขึ้นเกิดจากการควบคุมการทำงานของแอลอีดีให้เกิดการรวมแสงสีแดงแสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1:1 เพื่อให้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงขาว เมื่อทำการควบคุมอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในอัตราส่วน 30:3 สเปกตรัมแสงมีความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 425-500 นาโนเมตร และ 580-650 นาโนเมตร ตามลำดับ มีค่า PPFD อยู่ในช่วง 48.80-58.79 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ จากความยาวคลื่นแสงที่วัดได้ แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมแสงที่วัดได้เป็นแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงตามลำดับ แสดงได้ดังภาพที่ 5ข เมื่อทำการควบคุมอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน (R:B) ในอัตราส่วน 40:15 ความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 430-500 และ 580-650 นาโนเมตร มีค่า PPFD อยู่ในช่วง 49.62-61.08 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ แสดงได้ดังภาพที่ 5ค ในการควบคุมอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในอัตราส่วน 30:10 ความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 430-500 และ 580-650 นาโนเมตร มีค่า PPFD อยู่ในช่วง 56.40-61.56 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ แสดงได้ดังภาพที่ 5ง เมื่อควบคุมอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน ในอัตราส่วน 40:5 ความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 440-490 และ 580-650 นาโนเมตร มีค่า PPFD อยู่ในช่วง 50.91-54.57 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ แสดงได้ดังภาพที่ 5จ และเมื่อควบคุมอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน ในอัตราส่วน 30:17 แสดงได้ดังภาพที่ 5ฉ พบว่า ความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 430-510 และ 580-650 นาโนเมตร มีค่า PPFD อยู่ในช่วง 52.77-58.34 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ความยาวคลื่นแสงที่วัดได้แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมแสงที่วัดได้เป็นสเปกตรัมแสงของแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงตามลำดับเช่นกันกับการควบคุมอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน แต่อย่างไรก็ตามค่า PPFD ของอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน สำหรับการควบคุมควบคุมการทำงานของแอลอีดีให้มีแสงสีขาวในอัตราส่วน 1:1:1 จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่ 2 ของการควบคุมการทำงานของแอลอีดีในอัตราส่วนแสงสีแดงกับแสงสีน้ำเงิน (R:B) เป็น 40:5 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด 0.35



Figure 5 illustrates the characteristics measured by the L1-180 spectrometer while manipulating LEDs in A) white light, B) red to blue light ratio of 30:3, C) red to blue light ratio of 40:15, D) red to blue light ratio of 30:10, E) red to blue light ratio of 40:5, and F) red to blue light ratio of 30:17.

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบแหล่งกำเนิดแสงเทียมแอลอีดีสำหรับประยุกต์ในระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ระบบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีได้ด้วย ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อควบคุมแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีให้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงขาวเมื่อกำหนดให้แอลอีดีสีแดงต่อสีเขียวและสีน้ำเงิน (R:G:B) ในอัตราส่วน 1:1:1 สเปกตรัมแสงมีค่าประมาณ 400 – 780 นาโนเมตร มีค่า PPFD อยู่ที่ 21.43 – 23.98 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน (R:B) ในอัตราส่วน 30:3, 40:15, 30:10, สเปกตรัมแสงมีค่าประมาณ 580-650, 425-500 นาโนเมตร, 580-650, 430 – 500 นาโนเมตรสำหรับอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงิน 40:15 และ 30:10 ตามลำดับ อัตราส่วนของแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า PPFD จาก 58.79 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เป็น 61.56 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และเมื่อควบคุมอัตราส่วนแสงสีแดงต่อแสงสีน้ำเงินในอัตราส่วน 40:15 และ 30:17 สเปกตรัมแสงมีค่าประมาณ 580-650 นาโนเมตร และ 440-490 นาโนเมตร และ 580-650 นาโนเมตร และ 430-510 นาโนเมตร และมีค่า PPFD มีค่าเป็น 50.91-54.57 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ 52.77-58.34 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 2 ของการควบคุมการทำงานของแอลอีดีในอัตราส่วนแสงสีแดงกับแสงสีน้ำเงิน (R:B) เป็น 40:5 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด 0.35 ผลจากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระบบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมระบบแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีและควบคุมการเวลาการทำงานของ

ระบบเพื่อใช้สำหรับการประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ข้อเสนอแนะสำหรับการนำระบบนี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต้องมีการปรับอัตราส่วนของแสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงินตามชนิดของเนื้อเยื่อพืชที่ต้องการเพาะเลี้ยง

เอกสารอ้างอิง

- กษิต์เดช อ่อนศรี, ณัฐพงศ์ จันทนา และจิรภัทร ลดาวัลย์. 2563. อิทธิพลของแสงจากหลอดไฟแอลอีดี (LED) ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด 4 ชนิด. *Thai Journal of Science and Technology*. 4: 530–538.
- จารุวรรณ จาคีเสถียร, สุภาพ สุนทรานนท์ และหิรัญ หิรัญประดิษฐ์. 2544. การชักนำให้เกิด embryogenic callus ในทุเรียนโดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ Induction of Embryogenic Callus in Durian via Tissue Culture. *วารสารวิชาการเกษตร*. 19: 32–43.
- เทพ เกื้อทวีกุล, กิตติภูมิ ยังเจริญ, สรศรีณย์ พงษ์พนม, พันธศักดิ์ เลาส่งเนิน และนิวัติ คลังสีดา. 2565. การออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 5(2): 32–38.
- เทพสุดา รุ่งรัตน์ และณัฐชัย แก้วอุทุม. 2564. ผลของแสงธรรมชาติและแสงจาก light-emitting diode (LED) ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและลักษณะอื่นที่เกี่ยวข้องในข้าว. *วารสารเกษตร*. 49(5): 1279–1287.
- ธราธร ทวีระจิตติ, อรุณฯ ลีลาพร และยีนดี ชาวภูววิวัฒนา. 2559. คู่มือส่งเสริมการเรียนรู้ด้านพืช "การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม้ดอกไม้ประดับ". พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) ร่วมกับสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). ปทุมธานี. 55 หน้า.
- ชญญ์วนิช ธัญสิริวรรณ, เทพพิทักษ์ ปราณิตพลกรัง และประภาช ภาววิชา. 2568. ผลของความเข้มแสงจากหลอดแอลอีดีต่อการเจริญของยอดอ่อนพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่เลี้ยงในระบบไฮโดรแอคเตอร์แบบจมชั่วคราว. *Thai Journal of Science and Technology*. 6: 822–831.
- ชญญ์วนิช ธัญสิริวรรณ, วุฒิชัย ปัญญา, พงษ์อนันต์ ผิวม่วง, ประภาช ภาววิชา, ภัฏญารัตน์ กงประโคน, ณธกร พักนิส และประภากรณิแสงวีจิตติ. 2561. ผลของความเข้มแสงจากหลอดแอลอีดีต่อความเข้มข้นของไซโตไคนนต่อการเจริญเติบโตของกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อนในขวดแก้ว. หน้า 113–120. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56. วันที่ 6–9 กุมภาพันธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ศุภชาติ ธรรมนิตินทรีย์. 2562. การสกัดสารสีจากใบพืชสำหรับใช้ในการศึกษาทางสรีรวิทยาของพืช Pigment Extraction from Plant Leaves for Plant Physiology Studies. *เกษตรนเรศวร*. 16(1): 73–81.
- ยุสมาร์ แบลซ และนิราณี บือราเฮง. 2566. ผลของการให้แสง LED ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดินอ่อนผักบึง. หน้า 291–296. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 8 และ การประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 1. วันที่ 21–22 กุมภาพันธ์ 2566. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. จังหวัดยะลา.
- Abbasgholizadeh, B., Q.A. Aldaghi, K.H. Ibnouf and N. Madkhali. 2022. On the Absorption and Photoluminescence Properties of Pure ZnSe and Co-Doped ZnSe:Eu³⁺/Yb³⁺ Crystals. *Applied sciences*. 12: 42–48.
- Fan, X., J. Zang, Z. Xu, S. Guo, X. Jiao, X. Liu and Y. Gao. 2013. Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*. (35): 2721–2726.
- Jeong, S.W., S.W. Hogewoning and W.V. Jeperen. 2014. Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. 165: 69–74.
- Lim, Y.J. and S.H. Eom. 2013. Effects of different light types on root formation of *Ocimum basilicum* L. cuttings. *Scientia Horticulturae*. 164: 552–555.
- Nath, S.C., M. Horie, E. Nagamori and M. Kino-oka. 2017. Size- and time-dependent growth properties of human induced pluripotent stem cells in the culture of single aggregate. 124(4): 469–475.
- Ophilia, I., L. Mawphlang and E.V. Kharshing. 2017. Photoreceptor Mediated Plant Growth Responses: Implications for Photoreceptor Engineering toward Improved Performance in Crops. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1–14.
- Šabajevienė, G., Brazaitytė, A., Urbonavičiūtė, A., Šabajevienė, G. and Duchovskis, P. 2010. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture*. 97(2): 99-104.
- Silva, E.S.D., M.C.V.M. Starling and C.C. Amorim. 2023. LED-irradiated photo-Fenton process on pollutant removal: outcomes, trends, and limitations. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Yu, L., C. Song, L. Sun, Z. Xu and C. Tang. 2020. Effects of light-emitting diodes on tissue culture plantlets and seedlings of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 19(7): 1743–1754.

ภาคผนวก ข

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ นาย ปิติภัทร อุ่นแสง

วัน/เดือน/ปีเกิด วันพุธที่ 24 มีนาคม พ.ศ.2542

ที่อยู่ปัจจุบัน 49/11-12 ม.9 ต.บึงคอไห อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150

ประวัติการศึกษา จบปีการศึกษา 2563 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.73

ชื่อสถานศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานทางวิชาการ

1. KMAC การประชุมวิชาการระดับชาติเกษตรพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครั้งที่8
2. สหกิจศึกษา โครงการพัฒนาชุดโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดค่ามาตรฐานกลุ่มของตัวเหนี่ยวนำมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้