

เทคนิคการวัดความยาวคลื่นแสงของ LED ปลุกพืชด้วย แอนดรอยด์แอปพลิเคชัน

Wavelength Measuring Technique of LED Grow Lights by using Android Application

ชวโรจน์ ใจสิน^{1*} และ นรินทร์ ปิ่นแก้ว¹

Chawaroj Jaisin^{1*} and Narin Pinkeaw¹

สาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, 50290, Chiang Mai, Thailand

*Corresponding author. E-mail: Njaisin@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการวัดความยาวคลื่น โดยพัฒนาเป็นแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน สำหรับวัดความยาวคลื่นของระบบให้แสง LED ปลุกพืช อุปกรณ์ประกอบด้วยระบบให้แสง LED ชนิด 3 สีในหนึ่งหลอด ถูกติดตั้งกับรางหลอดไฟที่สามารถปรับเลื่อนสูงต่ำได้ ระบบ LED ถูกควบคุมด้วยวงจรหรีไฟ ขณะที่ระบบการวัดความยาวคลื่นถูกสร้างเป็นแอปพลิเคชัน เรียกว่า MJUSPEC และถูกติดตั้งลงบนสมาร์ตโฟน ระบบปฏิบัติการ Android โดย MJUSPEC จะรับแสงผ่านกล้องที่ถูกติดตั้งมากับตัวเครื่องและถูกประมวลผลให้ได้ค่าเป็น RGB จากนั้น RGB จะถูกเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปแบบของ Tristimulus values (X, Y, Z) และ ค่า X Y และ Z ที่ได้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของ x และ y chromaticity coordinate ซึ่งจะถูกนำไปวาดลงบน chromaticity diagram CIE1931 standard เพื่อหาเป็นค่าความยาวคลื่นออกมา ผลของการวัดค่าสีในรูปแบบของ RGB ด้วย MJUSPEC เปรียบเทียบกับ Image J ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลภาพอ้างอิง พบว่าได้ค่าสี RGB แตกต่างกันเล็กน้อย ขณะที่ความคลาดเคลื่อนเมื่อนำไปวัดกับหลอด LED ชนิดความยาวคลื่นเดียว พบว่ามีคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2% และเมื่อนำไปวัดความยาวคลื่นกับระบบให้แสง LED ปลุกพืชพบว่าระบบให้แสงสามารถปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นได้ในช่วง 360-630 nm

คำสำคัญ: LED ปลุกพืช, ความยาวคลื่นแสง, การประมวลผลภาพ, แอนดรอยด์แอปพลิเคชัน

ABSTRACT

The purpose of this research was to design a wavelength measurement system by building an Android application for measuring the wavelengths of LED Grow Lights for plant systems. An experiment consisting of 3 colors LED Grow Lights was installed on an up and down movable lamp rail. The LED system was controlled by a control dimmer. While, the wavelength measurement system was built into the application program, called MJUSPEC, and was installed on Android smart mobile system. The MJUSPEC converted the LED lighting into RGB format and then the RGB was transformed by Tristimulus equation into X, Y and Z values. After that, The X, Y and Z were converted into x and y Chromaticity coordinate which drew on a Chromaticity diagram CIE1931 standard to find out the wavelength of lighting. The results of measuring the RGB colors format between the MJUSPEC and Image J (a reference standard of image processing software) found that the

RGB colors were slightly different. While, the error of measuring the single wavelength LED's were less than 2%. The measuring wavelength with the LED grow lights for plants system found that the system could vary the wavelength between 360 – 630 nm.

Keyword: LED Grow Lights, Wavelength, Image Processing, Android application.

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการด้านอาหารและพลังงาน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ในบางสถานการณ์จึงเกิดการแย่งชิงผลผลิตทางการเกษตร ระหว่างนำไปแปรรูปเป็นอาหารหรือพลังงาน วิธีแก้ไขอย่างง่ายคือ การเพิ่มจำนวนพืชที่ปลูกให้มากขึ้น แต่ก็ยังมีแนวโน้มที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ วิธีการที่กำลังได้รับความนิยมอีกอย่างหนึ่งคือ เทคนิคการเพิ่มผลผลิต โดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาจัดการในกระบวนการเพาะปลูก เช่น เกษตรอัจฉริยะ เกษตรแม่นยำ และอีกหลายเทคนิค เทคนิคการสร้างแสงเทียมก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้สำหรับการขยายพันธุ์พืช เช่น วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและขยายพันธุ์ด้วยระบบ Bioreactor [1] เพื่อให้สามารถขยายพันธุ์พืชได้คราวละหลายๆ ใช้ในการเพาะปลูกพืช เช่น กะหล่ำปลี [2] โดยใช้แสงในย่านสีแดงและน้ำเงิน การเพาะปลูกโหระพา [3] พบว่าการให้แสงในย่านสีแดงและน้ำเงินช่วยกระตุ้นให้รากงอกเร็วกว่าแสงธรรมชาติ 3 เท่า ใช้ในการเพาะปลูกผลไม้ เช่น การเพาะเลี้ยงต้นสตอเบอรี่ [4] ให้ลำต้นยาวกว่าปกติ 1.8 เท่า ใช้ในการเพาะปลูกพืชพลังงาน เช่น สนุ่นดำ [5] ใช้อัตราส่วนของแสงสีแดงและน้ำเงินเป็น 50:50 ช่วยให้เกิดรากเพิ่มขึ้นถึง 65% หรือแม้กระทั่งใช้ในการเพาะเลี้ยงดอกไม้ เช่น ดอกเบญจมาศ [6] ซึ่งเป็นพืชวันสั้น การเพิ่มแสงให้ต้นดอกจะช่วยยับยั้งการสร้างตาออกได้ ป้องกันไม่ให้ดอกออกเร็วเกินไป ซึ่งจะทำให้ลำต้นไม่แข็งแรง

แหล่งกำเนิดแสงเทียม มีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสง แสงเทียมที่นิยมมากที่สุดคือ การสร้างจากหลอด LED เพราะว่ามีข้อดีในเรื่องของการประหยัดพลังงาน ให้ความเข้มแสงต่อวัตต์สูง กำเนิดแสงในย่านที่พืชต้องการ ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชต้องการ [7] เช่น เพื่อเสริมสร้างโครงสร้างทางใบ ต้องการความยาวคลื่น

ในช่วงของ UV-A ตั้งแต่ 315-400 nm เพื่อสร้างกระบวนการทางคลอโรฟิลล์ ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงสีน้ำเงินและแดง ตั้งแต่ 400-440 nm และ 610-660 nm เป็นต้น โดยแหล่งกำเนิดแสงจาก LED ที่ใช้ในปัจจุบันนั้น จะเป็น LED ชนิดความยาวคลื่นเดี่ยว ไม่สามารถปรับความยาวคลื่นได้ จึงพบว่ามีการใช้ LED หลายความยาวคลื่นมาผสมกัน [8,9] เพื่อให้เกิดความยาวคลื่นหรือเรียงลำดับการจัดวางหลอด LED [10] ในรูปแบบต่างๆ โดยวาง LED แบบความยาวคลื่นเดี่ยวสลับกันตามรูปแบบต่างๆ การปรับสัดส่วนของความเข้มแสงของ LED ทำให้เกิดความยาวคลื่นใหม่ และในการวัดความยาวคลื่น ต้องใช้ VIS-Spectro photometer ซึ่งมีราคา ก่อนข้างแพง

ด้วยหลักการและเหตุผลที่ได้กล่าวมา จึงเป็นที่มาของออกแบบระบบ LED ปลูกพืชแบบ 3 สีในหนึ่งหลอด หรือ 3 ความยาวคลื่น ร่วมกับเทคนิคการวัดความยาวคลื่นในย่านที่มองเห็นอย่างง่าย เพื่อสร้างเป็นระบบต้นแบบสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงพืชแบบปรับความยาวคลื่นได้ ให้สามารถนำไปใช้กับพืชแต่ละชนิดได้ ช่วยภาระด้านค่าใช้จ่ายพลังงานลดลง และช่วยส่งเสริมผลประกอบการให้สามารถแข่งขันในทางธุรกิจได้

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

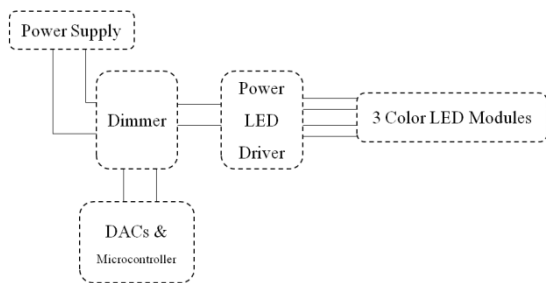
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ (ภาพที่ 1 และ 2)

2.1.1 ระบบกำเนิดแสงแบบ LED ประกอบไปด้วย -โครงสร้างต้นแบบ สำหรับติดตั้งชุดหลอด LED และวางกระถางพืช ตัวโครงสร้างมีขนาด กว้าง ลึกและสูง เป็น 80, 25 และ 60 cm ตามลำดับ โดยระบบความสูงของหลอด LED สามารถเลื่อนขึ้นลงได้

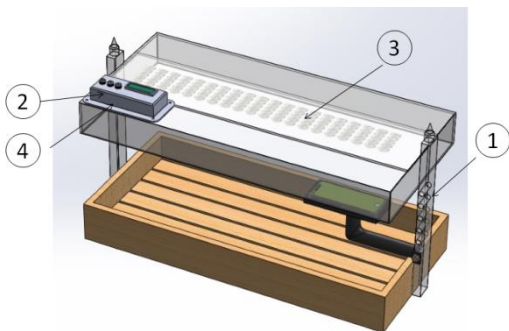
- แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ขนาด 12V พิกัดการจ่ายสูงสุดกระแส 5A ทำหน้าที่จ่ายไฟกระแสตรงให้กับชุดหลอด LED

- หลอด LED เลือกใช้รุ่น SMD5050 ซึ่งเป็น LED แบบ 3 สีในหนึ่งหลอด คือ น้ำเงิน เขียว และแดง โดยสีน้ำเงินมีความยาวคลื่น 460-475 nm สีเขียวมีความยาวคลื่น 515-530 nm และสีแดงมีความยาวคลื่น 620-630 nm

- ชุดขับ LED ประกอบด้วยวงจรรีไฟและวงจรขับ LED วงจรรีไฟจะช่วยให้การผสมสีของหลอด LED ทำให้สามารถเปลี่ยนความยาวคลื่นได้



ภาพที่ 1 ระบบให้แสงแบบ LED



ภาพที่ 2 (1) ดันแบบระบบให้แสงแบบ LED (2) แหล่งจ่ายไฟ (3) หลอดLED (4) LED RGB Controller

2.2.2 อุปกรณ์สำหรับวัดความยาวคลื่น

ในงานวิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาเทคนิคการวัดความยาวคลื่นด้วยแอปพลิเคชันที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android โดยใช้กล้องที่ติดตั้งมา

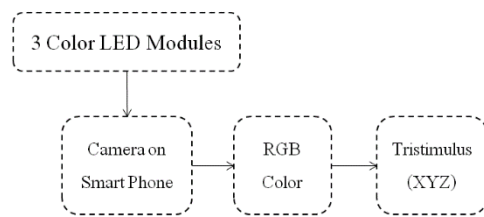
กับสมาร์ตโฟนอ่านค่าแสงจากชุดหลอด LED รุ่นสมาร์ตโฟนที่ใช้ในการทดลองคือ ASUS Zenfone4 มีความละเอียดหน้าจอที่ 480 x 800 พิกเซล ขนาดหน้าจอ 4 นิ้ว กล้องหลังความละเอียดขนาด 5 ล้านพิกเซล ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 4.4.2 (Kitkat) ระบบประมวลผล CPU Intel ATOM Z2520 Dual core 1.2 GHz RAM 1 Gb

แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น เรียกว่า MJUSPEC สามารถรันได้ในระบบปฏิบัติการ Android ตั้งแต่เวอร์ชัน Gingerbread หรือ Android 2.3 แพดฟอร์ม โดย MJUSPEC ได้อาศัยกล้องที่ถูกติดตั้งมาบนสมาร์ตโฟน เป็นเซนเซอร์ในการรับแสงแล้วเปลี่ยนค่าแสงที่อ่านได้ให้อยู่ในรูปแบบของความยาวคลื่น

2.2 การสร้างแอปพลิเคชัน

แอปพลิเคชันถูกพัฒนาด้วยโปรแกรม Eclipse IDE JUNO 4.2 Version ใช้เครื่องมือ Android SDK Revision 24.0.1 และ JAVA JDK for win32 เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชัน

ในขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน (ภาพที่ 3) เริ่มต้นด้วยการรับภาพ (แสงของหลอด LED ที่เปล่งออกมา) ผ่านทางกล้องที่ถูกติดตั้งบนสมาร์ตโฟน จะได้ค่าเฉลี่ยของ RGB จากนั้นคำนวณค่าของ tristimulus values (X, Y, Z) จาก RGB



ภาพที่ 3 เทคนิคการคำนวณหาความยาวคลื่น

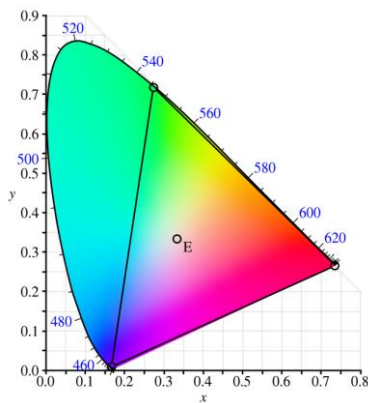
การคำนวณหา ค่า Tristimulus [11] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 เมื่อได้ค่า X Y และ Z แล้ว ให้คำนวณค่าของ x และ y chromaticity coordinate จากสมการที่ 2 และ 3

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.177 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.4887 & 0.3107 & 0.2006 \\ 0.1762 & 0.8130 & 0.0108 \\ 0.000 & 0.0102 & 0.9900 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (2)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (3)$$

ค่าของ x และ y chromaticity coordinate ที่คำนวณได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ CIE1931 Standard [12] ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งในโปรแกรม MJUSPEC ได้สร้าง Chromaticity Diagram CIE1931 Standard ให้อยู่ในรูปแบบของตารางเพื่อให้สามารถเรียกใช้ข้อมูลในการหาความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจากชุดหลอด LED



ภาพที่ 4 Chromaticity Diagram CIE1931 Standard [13]

2.3 การดำเนินการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ
ปฏิบัติการวัดความยาวคลื่น จะใช้ VIS-Spectrophotometer เป็นเครื่องมือวัด แต่เครื่องมือชนิดนี้มีราคาก่อนข้างแพง งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นมา และได้ทดสอบและเปรียบเทียบค่าสีและความยาวคลื่นดังนี้

2.3.1 เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับโปรแกรมประมวลผลทางภาพ Image J [14] ซึ่งเป็น Freeware เวอร์ชัน

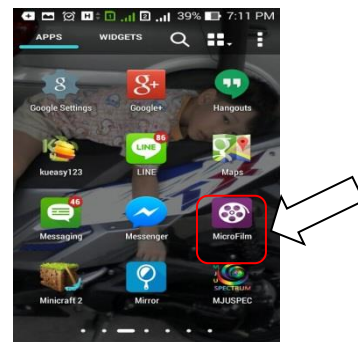
1.48V JAVA 1.6.0_20 (64-bit Version) โดยอ่านค่าสีจากกระดาษสีจำนวน 5 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน สีเหลืองและสีส้ม อย่างละภาพ 3 ซ้่า

2.3.2 การทดสอบกับหลอด LED ที่มีจำหน่ายภายในประเทศและสามารถระบุช่วงของความยาวคลื่นได้ โดยในงานวิจัยได้เลือกหลอด LED มาจำนวน 12 ความยาวคลื่น ได้แก่ สีนํ้าเงิน (465nm, 468nm, 470nm) สีเขียว (505nm, 520nm, 525nm) สีเหลือง (565nm) สีส้ม (590nm, 600nm) และสีแดง (620nm, 624nm, 660nm) อย่างละ 3 ซ้่า

2.3.3 การทดสอบกับชุดหลอด LED ปลุกพืชซึ่งเป็น LED รุ่น SMD5050 ชนิด 3 สี ในการทดสอบได้กำหนดกระแสไบอัสให้ชุดหลอด LED ทั้ง 3 สีที่ 10, 20, 30 และ 40mA เพื่อให้เกิดการผสมสีกัน แล้ววัดความยาวคลื่นที่ระบบสามารถสร้างได้

3. ผลและวิจารณ์

แอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาแล้วจะถูกติดตั้งบนสมาร์ตโฟนดังแสดงในภาพที่ 5 จากนั้นเริ่มทดสอบระบบดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้า แบ่งผลการทดสอบออกเป็นดังนี้



ภาพที่ 5 แอปพลิเคชันที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว (MJUSPEC)

3.1 เปรียบเทียบค่าสีกับ โปรแกรม Image J

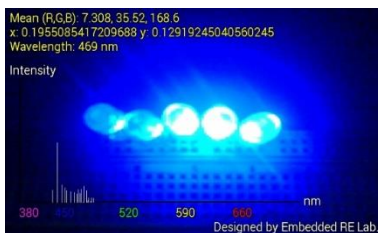
ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าสีของกระดาษทั้ง 5 สีๆละ 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่าสี RGB ที่อ่านได้จาก โปรแกรม Image J เปรียบเทียบกับที่ได้จาก

MJUSPEC มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อคำนวณเป็นค่าความยาวคลื่นแล้ว ทั้งที่อ่านได้จากโปรแกรม Image J และ MJUSPEC มีความแตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลค่าสีและความยาวคลื่น

กระดาษสี	ค่าสี (RGB) และความยาวคลื่น (λ :nm)			
	Image J		MJUSPEC	
	R/G/B	nm	R/G/B	nm
น้ำเงิน	9/117/235	483	4/119/251	480
เขียว	102/180/27	561	102/184/26	557
เหลือง	152/157/9	569	154/160/4	570
ส้ม	234/47/20	605	244/43/18	605
แดง	243/33/30	640	253/28/29	635

3.2 การทดสอบกับหลอด LED ความยาวคลื่นเดี่ยว ผลการทดสอบกับหลอด LED แบบความยาวคลื่นเดี่ยวทั้ง 12 ค่าแสดงในตารางที่ 2 พบว่า MJUSPEC (ภาพที่ 6) สามารถอ่านค่าความยาวคลื่นได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้ระบุไว้ใน LED แต่ละหลอด MJUSPEC มีความผิดพลาดในการอ่านค่าน้อยกว่า 2% ความยาวคลื่นที่ผิดพลาดมากที่สุดส่วนใหญ่มักจะอยู่ในโซนสีแดง เนื่องจากการประมาณค่าตาม Chromaticity Diagram ในโซนสีแดงทำได้ค่อนข้างละเอียดน้อยกว่าโซนสีอื่นๆ



(ก)



(ข)

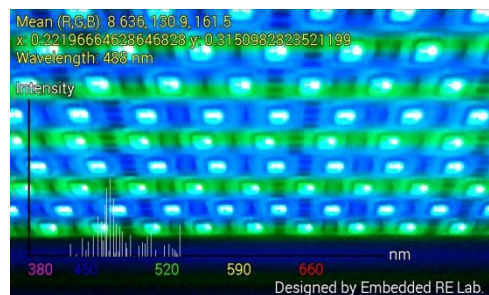
ภาพที่ 6 ตัวอย่างการใช้งาน MJUSPEC

ตารางที่ 2 ความยาวคลื่นที่อ่านได้เปรียบเทียบกับหลอด LED

หลอด LED สี	ความยาวคลื่น, nm	ความยาวคลื่นที่อ่านได้, nm	% ผิดพลาด
สีน้ำเงิน	465	467	0.36
	468	470	0.50
	470	473	0.57
สีเขียว	505	502	0.66
	520	522	0.45
สีเหลือง	525	528	0.51
	565	564	0.18
สีส้ม	590	595	0.79
	600	612	1.94
	620	627	1.08
สีแดง	624	630	0.96
	660	653	1.01

3.3 การทดสอบกับหลอด LED ปลุกพืช

เพื่อทดสอบสมรรถนะช่วงความยาวคลื่นของชุดไฟแสง LED ที่สามารถเปล่งแสงได้ ผลการทดสอบกับชุดหลอด LED ปลุกพืชแสดงผลการทดสอบด้วย MJUSPEC แสดงดังภาพที่ 7 และข้อมูลผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3 พบว่าเมื่อจ่ายกระแสไบอัส I_{max} ให้หลอด LED สีน้ำเงิน เขียวและแดง MJUSPEC อ่านความยาวคลื่นเป็น 473, 521 และ 630nm ตามลำดับ และเมื่อลองปรับกระแสไบอัสในสัดส่วนต่างๆ จะสามารถผสมเป็นสีในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ได้ ดังแสดงค่าในตารางที่ 3



ภาพที่ 7 การวัดความยาวคลื่นหลอด LED ปลุกพืช

ตารางที่ 3 ความยาวคลื่นที่อ่านได้จาก LED ปลุกพืช

กระแสไฟ้อส (mA)			ความยาวคลื่น (nm)
LED R	LED G	LED B	
40	0	0	630
40	10	0	595
40	20	0	579
40	30	0	538
40	40	0	508
0	0	40	473
0	10	40	473
0	20	40	477
0	30	40	483
0	40	40	497
30	0	40	360
0	40	0	521

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกการออกแบบระบบแสงจากหลอด LED สำหรับปลุกพืช ร่วมกับเทคนิคการวัดความยาวคลื่น โดยที่ระบบให้แสงสามารถปรับระดับความเข้มแสงของหลอด LED แต่ละสีได้ ด้วยการปรับกระแสไฟ้อสของหลอด LED เพื่อปรับความยาวคลื่นแสง ซึ่งเมื่อจ่ายไฟ้อสสูงสุดในแต่ละสีคือสีน้ำเงิน เขียวและแดง จะได้ความยาวคลื่นเป็น 473, 521 และ 630 nm ตามลำดับและเมื่อปรับกระแส

ไฟ้อสในสัดส่วนของแต่ละสีที่แตกต่างกัน จะทำให้สามารถปรับความยาวคลื่นได้ต่ำสุดที่ 360nm และสูงสุด 630nm

ขณะที่เทคนิค การวัดความยาวคลื่นได้ใช้แอปพลิเคชัน MJUSPEC ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าสีและความยาวคลื่นเปรียบเทียบกับโปรแกรมประมวลผลภาพ Image J ได้ความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปทดสอบกับหลอด LED แบบความยาวคลื่นเดี่ยว เกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าไม่เกิน 2% และเมื่อทำสอบกับระบบ LED ปลุกพืชสามารถวัดความยาวคลื่นของระบบได้ต่ำสุดที่ 360nm และ สูงสุด 630nm ซึ่งถือว่าแอปพลิเคชันนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดความยาวคลื่นในช่วงที่มองเห็นได้เป็นอย่างดี และราคาไม่แพง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาของตัวเครื่องสมาร์ตโฟนที่ใช้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นพมณี โทบุญญานนท์, ปวีณา นวมเจริญ, วิภาดา ทองทักษิณ, สุปิ่น ไม้คัดจันทร์, รังสิมา อัมพวัน, ทิพย์สุดา ปุกมณี และ พรศักดิ์ บุญมณี. การพัฒนาระบบการผลิตต้นปทุมมาต้นทุนต่ำ ด้วยการไ้ระบบไฟ้อสอินทรีย์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2547.
- [2] Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Gun, S., Jiao, X., Liu, X. and Gao, Y. Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013; 35: 2721-2726.
- [3] Lim, Y.J. and Eom, S.H. Effects of different light types on root formation of *Ocimum basilicum* L. cuttings. *Scientia Horticulturae*, 2013; 164: 552-555.
- [4] Giedre, S., Ausra, B., Akvile, U., Gintare, S. and Pavelas, D. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2010; 97: 99-104.
- [5] Daud, N., Faizal, A. and Geelen, D. Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2013; 49: 183-190.

- [6] Sung, W.J., Hogewoning, S.W. and Ieperen, W.V. Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 2014; 165: 69-74.
- [7] PARUS. Plants grow with LED lighting. Product catalogue of Sungnam-myun, Dongnam-gu, Cheonan city, Korea, 2014.
- [8] ลีลาวดี กาวงษ์ และหทัยพร พ่วงยิ่ง. การควบคุมการผสมสีของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2551.
- [9] Akira, Y. and Fujiwara, K. Plant lighting system with five wavelength-band light-emitting diodes providing photon flux density and mixing ratio control. *Plant Methods*. 2012; 8: 46.
- [10] Hee, J.J., Ju, K.S. and Joo, J.H. Illuminance distribution and photosynthetic photon flux density characteristics of LED lighting with periodic lattice arrangements. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*. 2012; 13: 16-18.
- [11] Wright, W. D. A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours. *Transactions of the Optical Society*, 1928; 30 (4): 141–164.
- [12] Smith, T. and Guild, J. The C.I.E. colorimetric standards and their use. *Transactions of the Optical Society*. 1931-1932; 33(3): 73–134.
- [13] CIE. Commission internationale de l'Eclairage proceedings, Cambridge: Cambridge University Press, 1932.
- [14] Abramoff, M. D., Magalhães, P. J. and Ram, S. J. Image Processing with ImageJ. *Biophotonics Int*. 2004; 4(11): 36-42.