

식물재배용 LED 광원의 광질과 PPF에 따른 청치마상추의 성장에 관한 연구

양준혁¹, 최원호¹, 박노준², 박대희^{1,a}

¹ 원광대학교 정보통신공학과

² 엘이디에스티(주)

A Study on Growth of the Green Leaf Lettuce Depends on PPFD and Light Quality of LED Lighting Source for Growing Plant

Jun-Hyuk Yang¹, Won-Ho Choi¹, Noh-Joon Park², and Dae-Hee Park^{1,a}

¹ Department of Information & Communication Engineering, WonKwang University, Iksan 570-749, Korea

² LEDst Co., Ltd., Jeonju 561-202, Korea

(Received December 8, 2014; Revised December 22, 2014; Accepted January 14, 2015)

Abstract: The artificial light sources for growth of plant are usually high-pressure sodium lamp, metal haloids lamp, and fluorescent light; however, these light sources have relatively weaker Red and Blue lights that are necessary for growth of plants. Especially the effect of Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) is pointed out as the weakness. Meanwhile, LED light source can be selected by specific wavelength to greatly improve the effect of PPF. In this regard, this paper aims to investigate the promotion of plant growth by measuring photosynthetic photon flux density (hereafter referred to as PPF) according to changes in light quality of the LED light sources. Towards this end, LED light sources for plant growth were produced with 4 kinds of mono-chromatic lights and 6 kinds of combined lights by mixing red, blue, green and white lights. A comparative analysis was conducted to investigate the effects of optical properties and PPF on plants (green leaf lettuce) using the produced light sources. The results monochromatic light has fastest growth rate, but plant growth conditions have poor. This being so, mixed light is suitable for the green leaf lettuce.

Keywords: Green leaf lettuce, Plant growth, LED light design, Wavelength, PPF

1. 서 론

최근 들어 지구 온난화로 인하여 농업 재해의 피해가 갈수록 심각해지고 있는 실정이다. 국내외에서 다양한

IT 기술과 융·복합형 산업으로 식물의 대량재배, 공급, 생산이 가능한 식물공장 산업이 급속히 발전되고 있다 [1,2]. 식물공장은 식물을 시설 안에서 빛·온도·습도·이산화탄소 등 재배환경을 인공적으로 제어해서 계절에 관계 없이 자동으로 연속 생산하는 시스템이다 [3].

초창기 인공조명을 백열등, 형광등, 메탈할라이드등, 고압 나트륨등을 주로 사용하였다. LED (light emitting diode)가 실용화되면서 식물에게 알맞은 파장대를 선택적으로 사용할 수 있고, 광합성 광량 자속밀도

a. Corresponding author; parkdh@wku.ac.kr

(photosynthetic photon flux density)의 효율이 높아졌다 [4]. 또한, 전력소모가 적고 수명이 길어 식물재배의 인공광원으로 작용할 수 있는 장점을 가지고 있다 [5]. 광은 식물의 성장과 형태 형성 등 에너지원으로서 광합성에 중요한 역할을 하고 있다 [6]. 단색광 중에서 적색(660 nm)과 청색(450 nm)광이 광합성 촉진에 영향을 주고 있다. 또한 다양한 파장대별 PPF_D 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [7].

기존 청치마상추는 단파장에 대한 연구는 활발하나 혼합파장에 대한 연구에 대한 자료가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 단색광 4개와 혼합광 6개를 조합하여 식물 성장용 LED 광원을 제작하였고, 제작한 광원의 광 특성을 평가하였다. 또한, 식물재배 시스템을 평가하기 위해 동일한 PPF_D[μmol]의 광량을 조절하여 15일간 청치마상추의 성장을 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험장치 및 분석

2.1.1 식물재배 시스템

식물재배기의 크기는 길이 2,020 mm, 폭 550 mm, 높이 130 mm의 선반식 5단 알루미늄 구조물로 제작하였다. 각각 LED를 18개씩 배열하여 단색광 4개와 혼합광 6을 제작하였다.

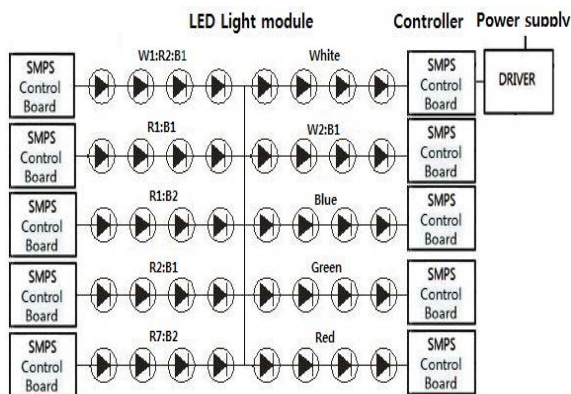


Fig. 1. Plant cultivation system diagram.

그림 1은 식물재배 시스템으로 크게 LED 광원 모듈부, 제어부, 전원 공급부로 구성된다.



Fig. 2. Diagram of plant cultivation system and LED controller.

그림 2는 LED 광원 제어기로 PWM (pulse width modulation : 펄스변조 방식) 구동 방식으로 각각의 조도 및 PPF_D의 광량을 조절할 수 있다. PWM 구동시 주파수에 따른 영향도 있을 것으로 보인다. 또한, 0%에서 100%까지 광량을 조절할 수 있어 25 μmol , 50 μmol , 100 μmol 로 맞추어 실험을 진행하였다.

2.2 식물성장 LED 광원 제작

그림 3은 국내 제조사인 I사의 SMD Type 5050 패키지를 사용하여 길이 500 mm, 폭 30 mm, 높이 30 mm의 직관형 구조이다. 방열판은 알루미늄 바와 LED 모듈 커버로 이루어졌다. 구동전압은 10~30 V이고, 전류는 60~120 mA이다.

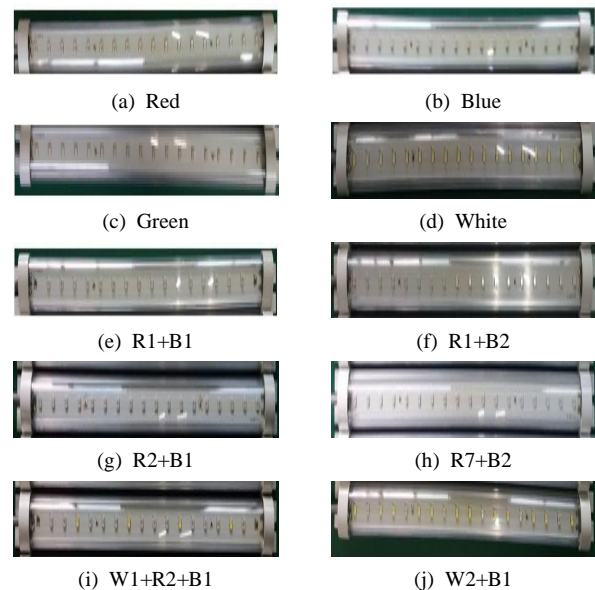


Fig. 3. Plant growth LED light source.

LED 광원은 적색(660 nm), 청색(450 nm), 녹색(550 nm), 백색(6,300 K)을 단색 및 혼합하여 광합성 효율이 좋은 광원을 제작하였다. 단색광 4개(적색, 청색, 녹색, 백색), 혼합광 6개(적색1+청색1, 적색1+청색2, 적색2+청색1, 적색7+청색2, 백색1+적색2+청색1, 백색2+청색2)로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 광학적 특성 결과

광학적 특성은 EVERFINE사의 적분구 시스템인 PMS-50을 사용하여 1시간 동안 aging한 후 안정에 측정하였다.

표 1은 LED 광원의 광 특성 결과이다. 광원별 광 효율은 적색 25 lm/W, 청색 13 m/W, 녹색 52 lm/W, 백색 125 lm/W, 적색1:청색1 11 lm/W, 적색1:청색2 9.9 lm/W, 적색2:청색1 17 lm/W, 적색7:청색2 22 lm/W, 백색1:적색2:청색1 38 lm/W, 백색2:청색1 74 lm/W를 나타냈다.

Table 1. The characteristics of light sources.

Light source	Total of Luminous flux (lm)	Efficiency (lm/W)	Power (W)
Red	52.97	25	2.1
Blue	48.84	13	3.6
Green	190	52	3.6
White	450.65	125	3.6
R1+B1	32.83	11	2.8
R1+B2	30.95	9.9	3.1
R2+B1	46.38	17	2.6
R7+B2	53.98	22	2.4
W1+R2+B1	107.93	38	2.8
W2+B1	268.73	74	3.6

LED 광원의 분광분석 결과로 그림 4와 같은 그래프를 얻었다. 단색광은 적색 660 nm, 청색 450 nm, 녹색 500 nm, 백색 450 nm, 혼합광은 적색1+청색1 450 nm / 660 nm, 적색1+청색2 450 nm / 660 nm, 적색2+청색1 450 nm / 660 nm, 적색7+청색2 450 nm / 660 nm, 백색1+적색2+청색1 450 nm / 660 nm, 백색2+청색1 450 nm의 peak점을 확인하였다.

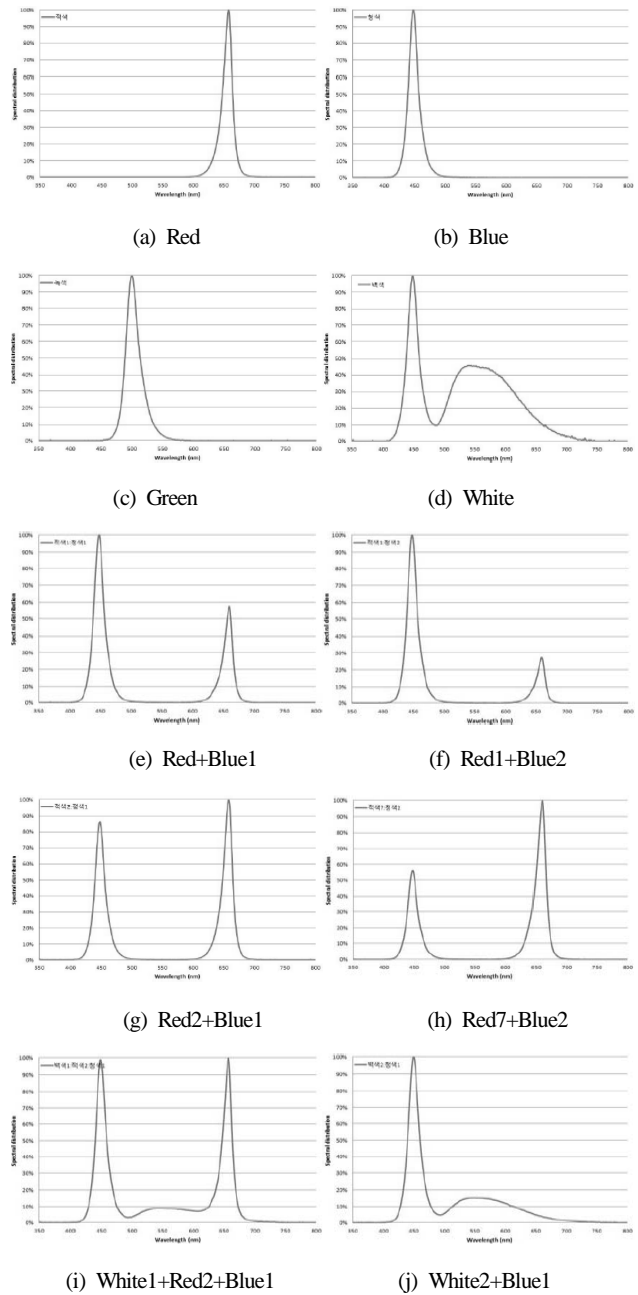


Fig. 4. The spectral distributions of light sources.

3.2 조도 및 PPFD 특성 비교

조도 및 PPFD 특성은 LIGHT METER(LI-COR사의 제품인 LI-250A)를 사용하여 측정하였다.

표 2~4는 각 PPFD의 광량이 25 μmol , 50 μmol , 100 μmol 일 때 측정된 단색광과 혼합광의 특성 결과이다.

Table 2. The light source is illuminance characteristic and power at the same 25(μmol) PPFD.

Light source	R	B	G	W	R1 B1	R1 B2	R2 B1	R7 B2	W1 R2 B1	W2 B1
Illuminance [lux]	156	60	672	803	100	70	108	104	332	563
Power [W]	9	11	21	9	10	10	11	10	9	9

Table 3. The light source is illuminance characteristic and power at the same 50(μmol) PPFD.

Light source	R	B	G	W	R1 B1	R1 B2	R2 B1	R7 B2	W1 R2 B1	W2 B1
Illuminance [lux]	328	112	1,552	1,764	200	162	222	237	700	1,218
Power [W]	20	23	41	19	20	23	22	21	20	19

Table 4. The light source is illuminance characteristic and power at the same 100(μmol) PPFD.

Light source	R	B	G	W	R1 B1	R1 B2	R2 B1	R7 B2	W1 R2 B1	W2 B1
Illuminance [lux]	579	239	3,175	3,777	423	307	444	475	1,240	2,389
Power [W]	40	46	99	44	45	46	46	41	41	41

광량의 세기에 따라 PPFD가 비례된다는 것을 확인 할 수 있었다. 조도는 사람이 보는 빛의 세기라면 PPFD는 식물이 광합성 작용을 하는데 필요한 광양자의 양에 의해 결정된다. 따라서 조도와 PPFD의 값이 다르다는 것을 확인할 수 있다. 광량에 따른 전력소비량을 분석해 본 결과 25 μmol 일 때 적색광과 백색광은 110.4 W/hour로 전력소비가 낮았으며 녹색광은 254 W/hour로 전력소비가 높았다. 50 μmol 일 때 백색광과 백색2+청색1 혼합광은 228 W/hour로 전력소비가 낮았으며 녹색광은

492 W/hour로 전력소비가 높았다. 100 μmol PPFD일 때 적색광이 480 W/hour로 전력소비가 낮았으며 녹색광 1,188 W/hour로 전력소비가 높았음을 확인하였다.

3.3 식물재배 실험

실험에 사용된 청치마상추로 실험을 진행하였다. 실험으로 1차는 100 μmol 일 때 2014년 10월 13일 파종하여 2014년 10월 27일까지, 2차는 50 μmol 일 때 2014년 10월 30일 파종하여 2014년 11월 13일까지, 3차는 25 μmol 일 때 2014년 11월 14일 파종하여 2014년 11월 28일까지 3일 단위로 15일 간 성장 과정을 측정하였다. 환경 조건으로 측정거리 28 cm이고, 암실에서 평균 온도 20~25°C, 습도 50~70%로 하루 12시간 동안만 LED를 비추 주었으며 그림 5와 같이 제작한 재배기로 측정하였다.

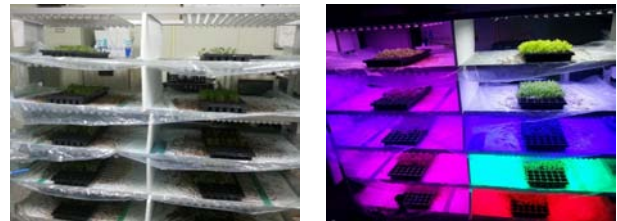


Fig. 5. The spectral distributions of light sources.

Table 5. Test result of lettuce growth promotion for 25 (μmol) PPFD.

Light source	Plant height(cm)			
	Seeding	17 day after	22 day after	27 day after
Red	0	3	6	7
Blue	0	1.6	2.4	3.6
Green	0	3.2	5.5	6.7
White	0	1.9	3.3	4.3
R1+B1	0	2	3.5	4.2
R1+B2	0	1.7	3.1	3.9
R2+B1	0	1.9	3.9	4.4
R7+B2	0	2	3.4	4.5
W1+R2+B1	0	2.5	4	4.8
W2+B1	0	2.4	3.6	4.5

표 5는 LED 광원을 달리하여 처리한 결과로 25 μmol 일 때 청치마상추의 성장을 비교한 표이다. 단색광은 적

Table 6. Test result of lettuce growth promotion for 50 (μmol) PPFD.

Light source	Plant height(cm)			
	Seeding	3 day after	8 day after	13 day after
Red	0	2.9	5.6	7.2
Blue	0	1.9	2.4	3.2
Green	0	2.7	4.8	5.5
White	0	2.4	3.9	4.7
R1+B1	0	2.7	3	3
R1+B2	0	1.9	2.6	3.2
R2+B1	0	2.3	3.7	4.1
R7+B2	0	2.6	3.9	4.3
W1+R2+B1	0	2.7	3.8	4.1
W2+B1	0	2.3	3.7	4.4

Table 7. Test result of lettuce growth promotion for 100 (μmol) PPFD.

Light source	Plant height(cm)			
	Seeding	17 day after	23 day after	28 day after
Red	0	3	6.9	10
Blue	0	2	4.2	5.4
Green	0	3	6.1	8.2
White	0	2.9	4.7	5.3
R1+B1	0	2.7	3.7	4.2
R1+B2	0	2	5	6.2
R2+B1	0	2.9	3.8	4.5
R7+B2	0	3	4.1	4.9
W1+R2+B1	0	3.1	4.4	5.3
W2+B1	0	2.5	4.3	4.8

색광 > 녹색광 > 백색광 > 청색광 순으로 성장 속도가 증가하였다. 혼합광은 백색1+적색2+청색1 > 적색1+청색1 > 적색7+청색2 / 백색2+청색1 > 적색2+청색1 > 적색1+청색2 순으로 성장 속도가 증가하였다.

표 6은 50 μmol 일 때 청치마상추의 성장을 비교한 표이다. 단색광은 적색광 > 녹색광 > 백색광 > 청색광 순으로 성장 속도가 증가하였다. 혼합광은 백색2+청색1 > 적색7+청색2 > 적색2+청색1 / 백색1+적색2+청색1 > 적색1+청색1 > 적색1+청색2 순으로 성장 속도가 증가하였다.

표 7은 100 μmol 일 때 청치마상추의 성장을 비교한 표이다. 단색광은 적색광 > 녹색광 > 청색광 > 백색광 순으로 성장 속도가 증가하였다. 혼합광은 적색1+청색2 >

백색1+적색2+청색1 > 적색7+청색2 > 백색2+청색1 > 백색2+청색1 > 적색1+청색2 순으로 성장 속도가 증가하였다.

이러한 결과로부터 청치마상추의 성장에 영향을 주는 적색광은 성장 속도가 높고, 줄기 상태가 길어 불량하였다. 적색광과 청색광이 혼합되어 있는 광에서는 성장 속도가 비슷하고 줄기 상태가 튼튼하여 청치마상추에는 혼합광이 적합하였다. 또한, 적색광은 식물의 성장을 촉진시키는 반면 청색광은 줄기를 튼튼하게 하고, 잎을 무성하게 하며 녹색광은 광합성 및 성장이 억제되어 잎이 가늘고 길게 되는 것을 실험을 통해 확인하였다. 25 μmol 조건일 때 50 μmol 조건보다 성장 속도가 높아 향후 환경 조건에 따른 식물 성장에 영향을 주는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 식물성장용 LED 광원을 단색광 4개와 혼합광 6개를 제작하였다. 제작한 광원은 광학적 특성과 식물재배 시스템을 제작하여 동일한 PPFD일 때 청치마상추의 성장을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

적색, 청색, 녹색, 백색 각각을 혼합하여 10가지의 광원을 구현하였다. 광원에 따른 전력소비량을 분석해 본 결과 적색 광은 전력소비가 낮았으며, 녹색광은 전력소비가 높아 효율성이 낮은 것을 확인하였다.

동일한 광원일 때 청치마상추의 성장 속도는 100 μmol > 25 μmol > 50 μmol 순으로 확인하였다.

청치마상추에 대한 재배실험 결과 단색광(적색광, 녹색광)이 혼합광보다 성장 속도가 높았지만, 줄기 상태가 불량하여 청치마상추에는 혼합광이 적합하였다.

식물재배 시스템을 이용하여 식물이 필요로 하는 광량을 조절한다면 빠른 성장 효과와 고품질의 식물이 생산될 수 있을 것으로 보인다. 또한, 백색광은 자체적으로 청색광의 스펙트럼을 많이 포함하고 있으므로 이를 구현한 심화 연구를 수행하게 된다면 보다 흥미로운 결과가 도출될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 LED 농생명 융합기술 개발 및 산업화 지원의 연구비 지원에 의한 것입니다.

REFERENCES

- [1] S. W. Kang, *World Science* (Worldscience, Seoul, 2010) p. 27-37, 79-91.
- [2] S. C. Hong, *National Academy of Agricultural Science*, (2012).
- [3] Y. H. Kim, *National Academy of Agricultural Science*, (2013).
- [4] H. H. Moon, *Journal of The Korean Horticultural Science & Technology*, **28**, 158 (2010).
- [5] C. G. Yoon and H. K. Choi *Journal of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, **25**, 14 (2012).
- [6] M. K. Cha, J. S. Kim, and Y. Y. Cho, *Journal of The Korean Bio-environment Control*, **21**, 169 (2012).
- [7] Y. H. Kim, *Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, **25**, 115 (1999).