

LED광원의 광파장 특성에 따른 식물의 성장도 평가

황종대[#], 고동수^{*}

([#] 제주관광대학교, ^{*} 지디에스주식회사)

Evaluation of Plant Growth according to the Wavelength Characteristics of the LED Light Source

Jong-Dae Hwang[#], Dong-Su Ko^{*}

(Received 17 October 2014; accepted 23 October 2014)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the plant growth rate according to the wavelength characteristics of LED light sources. In order to achieve this, red, green, blue and white LEDs were arrayed in a rectangle array consisting of LED modules which can be combined with each other. This can facilitate the selection of the optimal characteristics of the light from monochromatic red, green, blue and white LEDs or mixed LEDs for plant growth. Experiments to evaluate the growth rate according to the wavelength characteristics of the LEDs with several plants, in this case ice plants, lettuce, barley, broccoli and chives, were performed.

Key Words : LED(발광다이오드), Plant Growth(식물재배), Light Wavelength(광파장)

1. 서 론

기존의 개방된 노지에서의 경작 방법이 한계에 이르자 인공조명을 이용한 폐쇄된 공간에서의 인공 재배법이 필요해졌으며 이 방식은 식물의 광합성이 태양광의 일정한 파장대역에서 이루어지는 점에 착안하여 인공광을 광합성에 유효하게 조사하는 방식으로 기후, 환경에 의한 영향이 적고 다단재배에 따른 높은 생산성과 병해충의 유입 방지로 무농약재배가 가능하고 연중 계획생산이 가능하다. 인공조명으로 는 타 광원에 비하여 수명이 길고 효율이 높으며 소비 전력 대비 광합성 유효 광양자속밀도 (PPFD)가 가장 높은 LED 광원이 많이 사용되고

있다.

LED 광원의 Red(R), Green(G), Blue(B), White(W) 각각의 단색광은 고유의 광파장 특성을 가지고 있어 개별광원으로 활용하거나 혼합광으로 조합할 경우 식물의 종류나 성장시기에 따라 의미 있는 영향을 미치는 것으로 농촌진흥청을 비롯한 다수의 연구결과에서 밝혀지고 있다.

적색광은 광합성 촉진과 개화조절에 유효하고 초 적색광은 과실수의 당도증가, 특용작물의 사포닌 및 비타민 등 기능성 물질 증가에 유의하며 청색광은 생육에 영향을 미치고 광합성에 유효하며 옷자람 방지가 가능하다고 발표되고 있다. 또한 녹색광은 안전광으로 광합성에도 일부 유효하며 황색광은 해충 억제에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 특히 Lee^[1]는 LED 단색광의 파장대별로 어린묘의 옷자람 방지 기능, 해충회피, 생육촉진, 발아억제 및 광합성 증진

Corresponding Author : Department of Mechatronics, Cheju Tourism College

E-mail : hjd2123@korea.com

* GDS Co., Ltd.

등 식물의 광반응이 상이한 효과를 제시하였으며 비타민이나 기능성 물질의 함량을 증가시킬 수 있는 것으로 보고하였다. Eun^[2] 등은 배양묘의 성장 과정 및 형태 형성에 LED 광원이 미치는 효과를 연구한 결과 LED의 단색광과 혼합광 각각에서 유의한 차이를 발견하였다. LED 단색광 중에서도 특히 적색광과 청색광의 파장대역에서 광합성이 가장 활발한 것으로 보고되고 있으며 Lee^[3] 등은 적색/청색광의 비율이 생육과 안토시아닌 함량에 중요한 영향을 미침을 보고하였다. 또한 Bang^[4] 등은 LED 광원의 각 단색광을 조합한 발광색에서의 잎상추의 성장 및 생육 상태를 실험한 결과 적색광과 청색광의 혼합광이 가장 유효하였음을 발표하였다. Lee^[5] 등은 LED의 색상과 파장 변화에 따른 식물 성장 비교 연구를 통하여 LED 광원의 R, G, B, W 및 혼합 LED 각각을 식

물재배 실험에 적용함으로써 실험에 적용한 식물군마다 각 광원에 반응하는 성장속도가 상이함을 제시하였다. 이 연구에서는 Eun^[2] 등이 밝힌 적색광과 청색광의 혼합광이 광합성에 가장 유효하다는 영향 평가와 달리 식물마다 선호하는 광원이 상이하다고 하였다.

이와 같이 LED 광원의 종류에 따라 식물에 미치는 영향이 상이한 것으로 다수의 연구 결과에서 밝히고 있으며 이는 LED 단색광이나 혼합광의 각 광원마다 특이한 광과장을 나타내는 특성에 기반한다.

따라서 Hwang 등은 이전 연구^[6]에서 식물 성장 및 재배에 도움이 될 수 있는 다양한 광원을 선택적으로 조사할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였으며 이를 위하여 R, G, B, W LED를 일정한 형태로 배열한 후 전기제어를 통하여 최대 15 종류의 단색광 혹은 혼합광을 출력할 수 있도록 LED 모듈을 구성하고 각각의 광원에서 어떠한 광과장 특성을 나타내는 지 평가하였다. 또한 개발한 식물재배 시스템의 성능을 평가하기 위하여 특용작물인 인삼과 귀노아에 대한 시험 재배를 통하여 시스템의 유용성을 입증하였다.

본 연구는 Hwang 등의 이전연구^[6]에 이어서 상추 아이스플랜트와 같은 엽채류에 대한 각 광원의 파장이 생육에 미치는 영향을 실험하였고 R, G, B, W 혼합광과 광합성에 유효한 것으로 알려져 있는 R, B 혼합광에 의한 영향을 보리, 삼채 등 작물에 대한



(b) G



(d) W



(f) R + B



(o) W + R + G + B

Fig. 2 LED light for each case



Fig. 1 Measuring wavelength of LED system

Table 1 Peak wave length for each LED light

No.	LED type	Peak wave length(nm)		
a	R	660		
b	G	520		
c	B	450		
d	W	450	520	
e	R + G	520	660	
f	R + B	450	660	
g	G + B	450	520	
h	W + R	450	520	660
i	W + G	450	520	
j	W + B	450	520	
k	W + R + G	450	520	660
l	W + G + B	450	520	
m	W + R + B	450	520	660
n	R + G + B	450	520	660
o	W + R + G + B	450	520	660

재배실험을 통하여 비교 연구하였으며 특히 혼합광과 단색광에 의한 영향을 밝히기 위하여 상추, 브로콜리, 삼채에 대한 실험을 수행하였다. 본 연구 결과를 통하여 각각의 LED 광원이 개별 식물에 미치는 의미 있는 영향 관계를 분석하고 이전 연구에서 개발한 식물재배시스템 LED 광원의 광파장 특성에 따른 식물의 성장도를 평가하고자 한다.

2. 실험장치

Fig. 1은 LED 광원의 광파장 특성에 따른 식물의 성장도를 평가하기 위한 식물재배기로 비교 실험 및 재배효율 증대의 목적으로 3단으로 설계하였다.^[6] 상단과 중간단은 R, G, B, W LED를 Surface-mount devices(SMD) 형태로 배열하였으며 전원 제어를 통하여 15가지 경우의 단색광 및 혼합광을 출력할 수 있다. 하단은 R, B LED를 Chip on board(COB) 형태로 배열하여 주로 광합성에 유의한 R+B 혼합광을 출력할 수 있도록 구성하였다. 이전 연구에서는 아래의 Fig. 1과 같이 개발한 LED 식물재배기를 사용하여 15가지 경우의 단색광 및 혼합광에 대하여 광파장을 측정하였다. 15가지 경우의 광원 특성을 평가하기 위한 LED의 조합은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 실험 목적에 따라 서로 다른 광파장 특성을 나타내는 LED 광원을 출력하기 위하여 Table 1의 No. b(G-LED), No. d(W-LED), No. f(R+B)

및 No. o(W+R+G+B) 광원으로 분류 구성하였으며 컨트롤러에서 해당 LED에 대한 전기제어를 통하여 아래의 Fig. 2와 같이 원하는 광원을 출력하였다.

15가지 경우에 대한 광파장 측정 결과 B LED는 약 450nm, G LED는 약 520nm, R LED는 약 660nm의 파장특성을 보였으며 G LED와 같은 단색광은 Fig. 3의 (b)와 같이 하나의 피크파장을 가지나 W LED와 R+B 및 W+R+G+B는 Fig. 3의 (d), (f) 및 (o)와 같이 여러 개의 피크파장을 가지고 있음을 알 수 있다.

Table 1의 혼합광을 분석하면 크게 4가지로 분류할 수 있다. 즉 광파장 피크값이 ①450nm, 520nm인 경우, ②450nm, 660nm인 경우, ③520nm, 660nm인 경우, ④450nm, 520nm, 660nm인 경우이다. ①은 Table 1의 d, g, i, j, l번 LED에 해당하고 ②는 f번 LED, ③은 e번 LED, ④는 h, k, m, n, o번 LED에 해당한다.

본 실험에서는 광파장 피크값이 ①450nm, 520nm인 경우(Fig. 3의 d), ②450nm, 660nm인 경우(Fig. 3

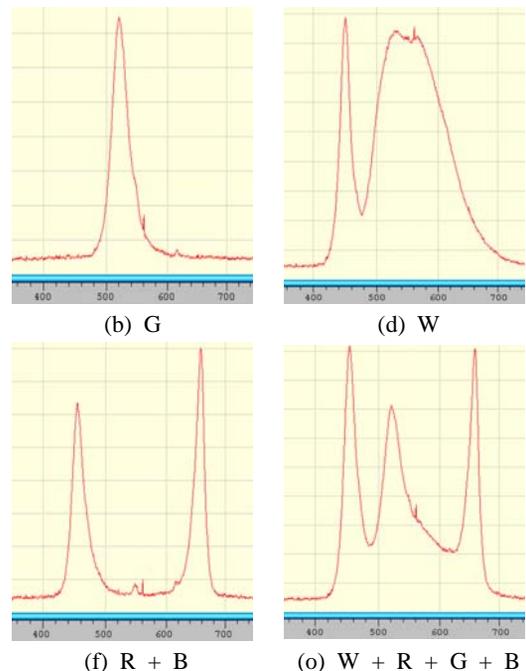


Fig. 3 Wavelength characteristic graph for each LED

의 f), ④450nm, 520nm, 660nm인 경우(Fig. 3의 o)의 LED 광원으로 나누어 각각의 식물에 대하여 조사하였으며 실험 목적에 따라 G LED 단색광(Fig. 3의 b)과 태양광(Solar)을 추가하여 재배실험을 수행하였다.

3. 식물재배 실험

3.1 태양광과 인공광의 비교실험

3.1.1 아이스플랜트

태양광과 LED 인공광에 의한 식물재배 실험에 사용된 엽채류 작물인 아이스플랜트는 2014년 8월 25일 파종하여 9월 5일 까지 성장과정을 측정하였으며 Fig. 4와 같이 R,G,B,W LED 광원과 W LED 광원 및 태양광에 의한 식물재배 속도를 각각 측정하였다. 측정결과 Table 2 및 Fig. 5와 같이 R,G,B,W LED 광은 태양광 대비 약 63% 빠른 성장도를 보였다.

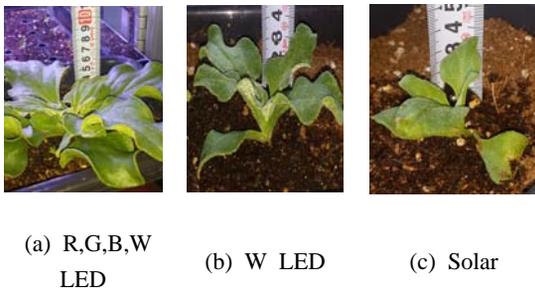


Fig. 4 Measuring height of ice plant for each case

Table 2 Result of the cultivation test to the ice plant

Date of cultivation	R + B + W - LED	W - LED	Solar	
Replanting	1	31	20	31
2 day after	2	35	24	37
4 day after	3	54	33	35
7 day after	4	56	34	40
9 day after	5	59	37	40
11 day after	6	65	38	40

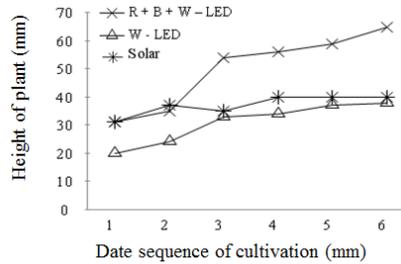


Fig. 5 Comparison of height between each case

3.1.2 상추

상추 또한 아이스플랜트와 동일한 조건으로 실험 하였으며 성장과정을 아래의 Fig. 6과 같이 측정하였다. 측정결과 Table 3 및 Fig. 7과 같이 R,G,B,W LED 광은 태양광 대비 37.5% 빠른 성장도를 보였으며 W LED 광 또한 태양광 대비 60% 빠른 성장도를 보였다. 결과적으로 태양광에 비하여 LED 인공광의 성장도가 빠른 것으로 나타났다. 이는 LED 인공광 재배와 달리 태양광에 의한 재배는 일정한 재배환경이 유지되기 힘들기 때문인 것으로 파악된다.

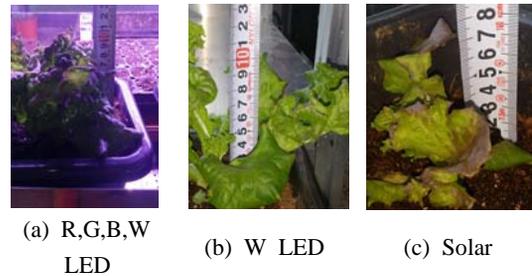


Fig. 6 Measuring height of lettuce for each case

Table 3 Result of the cultivation test to the lettuce

Date of cultivation	R + B + W - LED	W - LED	Solar	
Replanting	1	32	40	29
2 day after	2	43	44	44
5 day after	3	72	54	66
7 day after	4	85	100	89
9 day after	5	90	100	62
12 day after	6	87	110	70
14 day after	7	98	118	85
16 day after	8	110	128	80

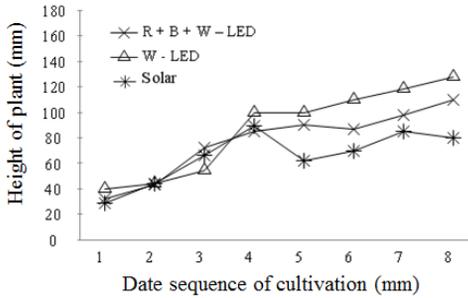


Fig. 7 Comparison of height between each case

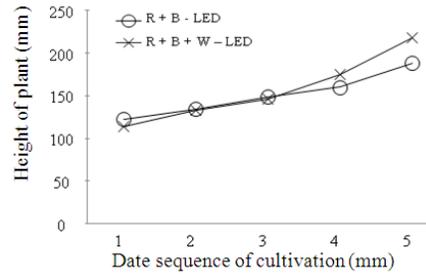
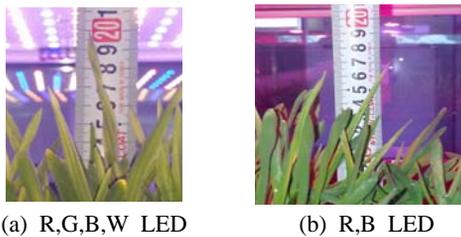


Fig. 9 Comparison of height between each case

3.2 혼합광 사이의 비교실험

3.2.1 보리

R,G,B,W LED와 R,B LED 혼합광 사이의 비교 실험에 사용된 보리는 2014년 8월 8일 정식하여 8월 18일 까지 성장과정을 측정하였으며 Fig. 8과 같이 실험 재배기의 R,G,B,W LED 혼합광으로 구성된 SMD 타입 트레이와 R,B 혼합광으로 이루어진 COB 타입 트레이에서 각각 측정하였다. 측정결과 Table 4 및 Fig. 9와 같이 R,G,B,W LED 광원에서 재배된 것이 R,B LED에서 재배된 것과 유사한 성장도를 보이다가 7일 후부터 다소 빠르게 성장하였다.



(a) R,G,B,W LED

(b) R,B LED

Fig. 8 Measuring height of barley for each case
Table 4 Result of the cultivation test to the barley

Date of cultivation		R + B - LED	R + B + W - LED
Replanting	1	122	114
3 day after	2	134	133
5 day after	3	149	146
7 day after	4	160	175
9 day after	5	188	218

3.2.1 삼채

보리와 동일한 조건으로 실험한 삼채는 아래 실험결과와 같이 R,B LED 광원이 R,G,B,W LED 광원에 비해 약 21% 빠른 성장도를 나타내었다. 결과적으로 광합성에 유효한 R,B LED 광원이 포함된 두가지 혼합광에 의한 광과장은 식물성장에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 Fig. 3의 (f)와 (o)의 비교를 통하여 알 수 있듯이 두 혼합광의 파장 곡선에서 차이점은 520nm의 피크값을 갖는 G-LED 광과장의 유무이며 이를 통하여 R,B LED 광원과 혼합된 상태의 G-LED 광원은 식물성장에 미치는 영향이 작거나 삼채의 경우에 서처럼 다소 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 파악된다.



(a) R,G,B,W LED

(b) R,B LED

Fig. 10 Measuring height of chive for each case
Table 5 Result of the cultivation test to the chive

Date of cultivation		R + B - LED	R + B + W - LED
Replanting	1	35	18
3 day after	2	56	34
5 day after	3	89	69
7 day after	4	134	103
9 day after	5	167	138

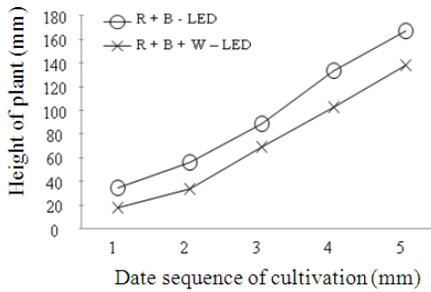


Fig. 11 Comparison of height between each case

3.3 혼합광과 단색광의 비교실험

3.3.1 상추

혼합광(R,B LED)과 단색광(G LED, W LED)의 비교실험에 사용된 상추는 2014년 10월 1일 정식하여 10월 16일 까지 성장과정을 측정하였으며 12일 후 까지는 높이를 측정하였고 15일 후에는 가로 방향의 폭을 측정하였다. 측정결과 아래의 Table 6 및 Fig. 13과 같이 R,B LED 혼합 광원에서 재배한 상추의 높이가 12일 후 150mm로 단색광(G-LED, W-LED)에 비하여 약 50% 이상 성장속도가 빠르고 태양광에 비하여 약 67% 이상 빨랐다. 특히 G-LED 단색광에서는 15일 후에 측정한 잎의 폭에서 가장 저조한 성장속도를 보였다. 동일한 단색광임에도 불구하고 W-LED에 비하여 G-LED가 더 저조한 이유는 광파장 대역이 상이하기 때문인 것으로 파악된다. 즉 G-LED 단색광은 520nm

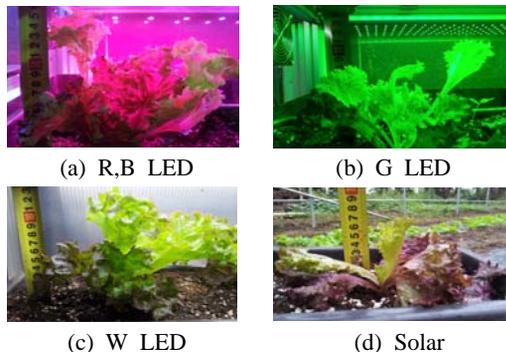


Fig. 12 Measuring height of lettuce for each case

Table 6 Result of the cultivation test to the lettuce

Date of cultivation	R + B - LED	G - LED	W - LED	Solar
Replanting	1	65	70	60
3 day after	2	75	80	60
6 day after	3	110	85	60
9 day after	4	150	85	100
12 day after	5	150	100	100
15 day after(width)	6	280	120	150

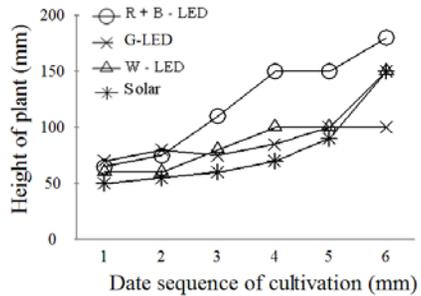


Fig. 13 Comparison of height between each case

의 피크파장만을 가지나 W-LED 단색광은 450nm와 520nm의 피크파장을 동시에 나타내므로 광합성에 유효한 450nm를 포함하기 때문에 상대적으로 성장도가 높은 것으로 분석된다.

3.3.2 브로콜리

상추와 동일한 조건으로 실험한 브로콜리 또한 Fig. 14와 같이 12일 후 까지는 높이를 측정하였으며 15일 후에는 가로 방향의 폭을 측정하였다. 측정결과 Table 7 및 Fig. 15와 같이 R,B 혼합 LED 광원에서 재배한 삼채의 높이가 12일 후 140mm로 G-LED 단색광에 비하여 40% 이상 성장속도가 빨랐으며 W-LED 단색광에 대해서는 17%, 태양광에 대해서는 약 55% 이상 빨랐다. 상추와 마찬가지로 G-LED 단색광에서는 15일 후에 측정한 너비에서 매우 저조한 성장속도를 보였다. 이러한 결과 또한 상추 실험과 마찬가지로 W-LED 단색광은 450nm와 520nm의 피크파장을 동시에 가지는 반면 G-LED 단색광은 광합성에 유효한 450nm의 피크파장을 갖지 않기 때문인 것으로 분석된다.

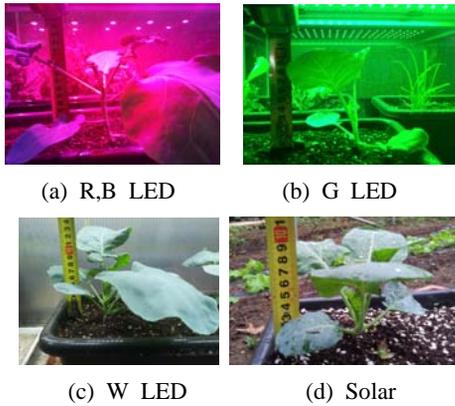


Fig. 14 Measuring height of broccoli for each case

Table 7 Result of the cultivation test to the broccoli

Date of cultivation	R + B	G -	W -	Solar
	- LED	LED	LED	
Replanting	1	80	70	60
3 day after	2	85	70	70
6 day after	3	100	90	80
9 day after	4	130	100	95
12 day after	5	140	100	120
15 day after(width)	6	210	130	190

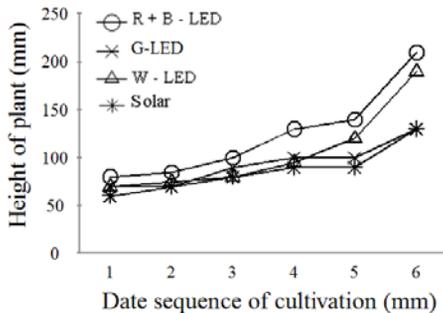


Fig. 15 Comparison of height between each case

3.3.3 삼채

삼채도 상추와 동일한 조건으로 실험하였다. 측정 결과 Table 8 및 Fig. 17과 같이 R,B 혼합 LED 광원에서 재배한 삼채의 높이가 12일 후 180mm로 G-LED 단색광에 비하여 38% 이상 성장속도가 빨랐다

으며 W-LED 단색광에 대해서는 80%, 태양광에 대해서는 약 200% 이상 성장속도가 빨랐다. 다른 작물과 마찬가지로 G-LED 단색광에서는 15일 후에 측정한 식물의 폭에서 높이에 비하여 매우 저조한 성장속도를 보였다.

삼채는 G-LED 단색광과 W-LED 단색광 모두 작물의 크기나 너비의 균형있는 성장 측면에서 혼합광에 미치지 못하는 결과를 나타내었다. 따라서 삼채의 경우 G-LED 단색광과 W-LED 단색광이 동시에 갖는 520nm의 파장에는 성장하기가 부적합한 것으로 파악되며 반대로 두 단색광들이 포함하지 못하는 660nm의 파장에 가장 적합한 성장 특성을 가질 것으로 예측할 수 있다. 즉 G-LED 단색광의 피크파장인 520nm와 W-LED 단색광의 피크파장인 450nm와 520nm에 포함되지 않는 R-LED의 피크파장인 660nm를 나타낼 수 있는 R,B 혼

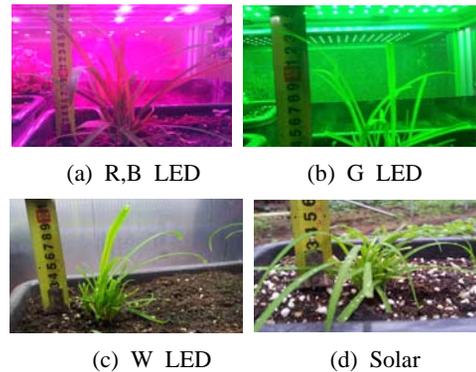


Fig. 16 Measuring height of chive for each case

Table 8 Result of the cultivation test to the chive

Date of cultivation	R + B	G -	W -	Solar
	- LED	LED	LED	
Replanting	1	30	30	30
3 day after	2	70	60	65
6 day after	3	100	80	70
9 day after	4	160	130	85
12 day after	5	180	130	100
15 day after(width)	6	180	50	45

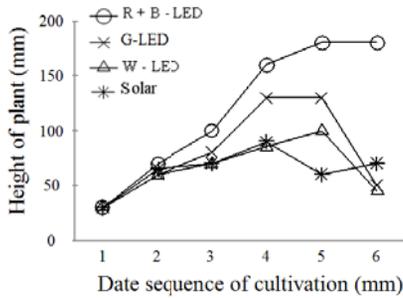


Fig. 17 Comparison of height between each case

합 LED 광원이 가장 적합할 것으로 예측할 수 있다. 이러한 결과는 3.2.1 절의 Fig. 11 결과와도 부합된다. 즉 삼채의 생육에 부적합한 520nm의 G-LED를 포함한 R,G,B,W LED 혼합광원에 비하여 R,B LED 혼합광이 약 21% 빠른 성장도를 나타낸 것으로부터 다음 실험 결과의 원인을 비교 설명할 수 있다.

혼합광과 단색광이 식물의 성장에 미치는 영향을 비교 실험한 결과 혼합광이 단색광에 비해 식물의 성장 속도를 빠르게 함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 단색광 및 혼합광을 나타낼 수 있는 LED 식물재배기를 사용하여 각 광원마다 출력하는 상이한 광과장 특성이 식물의 성장도에 미치는 영향을 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 태양광과 LED 인공광에 의한 식물 성장 비교실험 결과 아이스플랜트와 상추 모두에서 인공광이 태양광에 비하여 빠른 성장도를 나타내었다. 인공광의 경우 광합성에 유의한 450nm-660nm의 광과장이 일정한 조건에서 안정적으로 조사된 반면 태양광에 의한 재배는 다양한 환경적 영향에 따라 성장이 저조한 것으로 파악된다. 일조량이 적당한 8월 말의 시험 결과인 점을 감안한다면 극한과 극서기에 인공광에 의한 식물 성장도는 상대적으로 더욱 커질 것이므로 이 시기에 적극적인 인공재배가 필요할

것이다.

2. R,G,B,W 혼합광으로 구성된 SMD 타입 재배 트레이와 R,B 혼합광으로 구성된 COB타입 재배 트레이에서의 식물 종류에 따른 성장 속도 차이를 확인한 결과 보리는 R,G,B,W 혼합광에서, 삼채는 R,B 혼합광에서 성장 속도가 다소 빠른 것이 확인되었으나 큰 성장도 차이는 보이지 않았다. 따라서 제조 원가와 광합성에 의한 생육만을 고려한다면 R,B 혼합광만으로 구성된 COB타입 재배 트레이가 SMD 타입에 비하여 효과적일 것이다.

3. 혼합광과 단색광이 식물의 성장에 미치는 영향을 비교 실험한 결과 혼합광인 R,B LED가 단색광인 W LED와 G LED에 비해 식물의 성장 속도를 빠르게 함을 알 수 있다. 이는 R,B LED와 달리 W LED와 G LED 광원에서는 공통적으로 520nm의 파장대역이 포함된 반면 광합성에 유효한 660nm의 파장 대역이 포함되지 않았기 때문인 것으로 파악된다. G LED 광원은 높이 방향의 성장도 측면에서는 어느 정도 광합성에 유효하나 가로 방향의 성장도 측면에서는 가장 낮은 생육상태를 보이므로 작물의 균형 있는 생육에는 유효하지 않음을 알 수 있다. 결국 녹색광은 식물의 성장보다는 적색광과 혼합하여 해충억제 등 특수한 목적으로 활용되는 것이 바람직할 것이다.

4. 태양광과 인공광의 비교실험, 혼합광 간의 비교실험 및 단색광과 혼합광의 비교실험 등을 통하여 광과장이 식물의 성장도에 매우 의미 있는 영향을 미침을 알 수 있으며 이러한 결과를 통하여 향후 식물의 종류나 성장시기에 따른 광과장 대역을 표준화하여 효율적인 식물재배에 활용할 필요가 있다.

후 기

“이 논문은 2013년 산학연 공동기술개발사업 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

- (1) Lee, S. W., 2010. "Plant Factory and Plant Cultivation Using LED Light", Optical Science and Technology, Vol. 4, No. 3, pp. 12-19.
- (2) Eun, J. S., Kim, Y. S. and Kim, Y. H., 2000. "Effects of Light Emitting Diodes on Growth and Morphogenesis of in vitro Seedlings in *Platycodon grandiflorum*" J. of Plant Tissue Culture, Vol. 27, No. 1, pp. 71-75.
- (3) Lee, J. G., Oh, S. S., Cha, S. W., Jang, Y. A., Kim, S. Y., Um, Y. C. and Cheong, S. R., 2010. "Effects of Red/Blue Light Ratio and Short-term Light Quality Conversion on Growth and Anthocyanin Contents of Baby Leaf Lettuce" J. of Bio-Environment Control, Vol. 19, No. 4, pp. 351-359.
- (4) Bang, G. W., Kim, Y. H., 2012. "LED for Plant Growth Regulators for the Study of Light on the Device", J. of Digital Policy & Management, Vol. 10, No. 7, pp. 267-272.
- (5) Lee, J. W., Lim, J. W., and Roh, J. Y., 2011. "A Study on Comparative of Plant Growth due to Changes in Color and Wavelength of the LED Grow Light", J. of KIIEE, Fall Conference, pp. 45-48.
- (6) Hwang, J. D., Ko, D. S., 2014. "Development of a High Efficient LED System for the Plant Growth", J. of KSMPE, Vol. 13, No. 4, pp. 121-129.