

선택적 광 투과에 따른 상추 생육특성

Study of Lettuce Growth Characteristic on Selective Light Transmitting Filter Film Covered Greenhouse

강동현

D. H. Kang
국립한국농수산대학
교양공통과¹
kang6906@korea.kr

홍순중

S. J. Hong
국립한국농수산대학
교양공통과¹
hsj43333@korea.kr

이종원

J. W. Lee
국립한국농수산대학
원예환경시스템학과²
leewon1@korea.kr

김동역*

D. E. Kim
국립한국농수산대학
교양공통과¹
kde1206@korea.kr

Abstract

This study aimed to investigate responses of plant growth and photosynthesis to different kinds of covering materials with selective light transmit for red leaf lettuce (*Lactuca sativa L.*). Experimental pot design was attached UV blocking filter, red filter, blue filter, and green filter. The kinds of covering materials showed significant results for plant growth especially control, UV blocking filter, and red filter. The photosynthetic rate and anthocyanin content of red leaf lettuce were higher in control and UV blocking filter than others. The quality of red leaf lettuce was low in red, green, and blue film treatments because of too low anthocyanin content.

Key words : Spectrum, Filter, Blocking, Greenhouse

* 교신저자

1 Department of General Education, Korea National College of Agriculture and Fisheries

2 Department of Horticulture Environment System, Korea National College of Agriculture and Fisheries

I. 서론

우리나라의 생활수준 상승과 식생활 소비패턴의 변화로 연중 고품질 신선채소에 대한 수요가 증가함에 따라 전체 채소생산량 중 시설채소가 차지하는 비율은 지속적으로 증가하는 추세이며, 2018년 시설원예면적은 약 53,109 ha에 달하고 있다(MAFRA, 2019). 온실 전체경영비 중 온실의 환경조절에 사용되는 광열동력비의 비중은 약 30~40% 수준으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 농업선진국인 네덜란드의 10% 수준에 대비하여 높은 수준이다(Kang 등, 2017). 태양광은 작물의 생육에 없어서는 안 될 가장 중요한 요소 중 하나이지만 작물이 성장할 때 필요한 파장대역과 필요하지 않은 파장대역 모두를 포함하고 있다. 이러한 작물의 생육에 필요한 광 이용 특성을 구명하기 위하여 근접조명이 가능하고 피크파장대역 조정이 비교적 용이한 LED(Light-Emitting Diode)는 많은 연구에서 인공광원으로 이용되었다. 적색광에서 생육촉진효과(Nishimura 등, 2009, Nishioka 등 2008), 파프리카 수확 후 착색 증진효과(Choi 등, 2009), 피크파장 660nm인 적색광과 450nm인 청색 인공광원(An 등, 2011, Lee 등, 2010) 등 가시광 영역을 이용하는 연구와 성장조절을 위하여 UV-b를 이용한 연구(Kim 등, 2008) 등이 수행된 바 있다. 한편 작물의 생육 및 성장조절에 필요한 특정 파장대역을 제외한 나머지 특정 파장대역만을 골라 에너지로 이용할 수 있는 염료감응 태양전지 기술은 온실 내 에너지를 절감 및 이용효율 향상이 가능한 기술이다. 온실에서 태양에너지 이용에 대한 연구는 집열판을 이용하여 태양열을 집열 후 지중공간 축열을 통한 난방 시스템에 관한 연구(Kim 등, 2019), 온실 내 잉여 태양열을 이용한 공기열원 히트펌프에 관한 연구(Kwon 등 2013) 등 시스템 효율을 높이기 위한 방안 등에 관한 연구가 대부분이며, 태양광발전에 의해 만들어진 전기를 이용

하여 LED의 전원으로 이용하는 연구(Lee, 2019)가 수행된 바 있으나 온실 벽면에 직접 설치하여 전기에너지를 이용한 연구사례는 찾아보기 힘들고, 아주 극소수의 농가가 온실 주위에 태양전지를 설치하여 보조에너지원으로 이용하는 곳은 있었다. 국외는 일부 농가에서 태양광발전 전지를 온실의 지붕에 설치하여 이용한 사례가 있었다. 이러한 온실의 벽에 특정파장을 통과하여 작물재배에 이용하고, 필요 없는 대역에 대해서는 전기발전에 이용한다면 온실 환경조절을 위한 에너지 절감 및 작물생육을 방해하는 광대역 차단을 통한 작물성장 촉진, 발전 전기 이용으로 농가의 소득증대에 이바지 할 것이다. 본 연구는 선택적 태양광 투과전지를 온실에 적용하기 위하여 온실피복 코팅을 통해 선택적으로 통과하는 광을 이용한 재배시험을 통해 선택적 광투과에 따른 작물의 생육차를 비교하여 적용 가능성을 검토하기 위하여 수행하였다.

II. 연구방법

1. 선택적 광투과 필터 온실

가. 모형온실 제원

선택적 광 투과에 따른 작물의 생육특성 및 환경변화를 측정하기 위하여 제작한 모형의 제원은 Table 1과 같다. 모형온실의 크기는 $2 \times 2 \times 2.8$ (L × W × H, m)이고, 고온 시 실내 온도 조절을 위하여 온도 컨트롤러에 의해 자동으로 천창이 개폐되도록 설계하였다(Fig. 1). 또한 측창은 재배 시험 시 개폐하지 않으므로 수동으로 개폐되도록 설계하였다. 피복은 태양광의 파장을 선택적으로 투과하기 위하여 유리 내벽에 Red, Blue, Green의 필터를 부착한 온실, 작물의 생육에 자외선의 효과를 알아보기 위한 자외선차단필터를 부착한 온실, 대조구 온실 등 5개의 온실을 구성하였다.

Table 1. Specifications of the greenhouses

Item	specification
Size	2 × 2 × 2.8 (L × W × H, m)
Top ventilator	Automatic control
Side wall window	Manual control
Filter color	Red, Blue, Green, Intercepting ultraviolet, glass

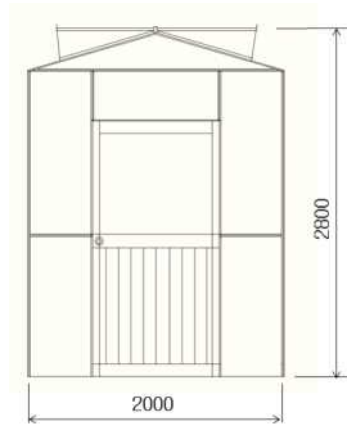


Fig. 1. Size of the greenhouse

나. 모형온실의 배치

모형온실 배치는 다른 건물의 그림자로 인한 간섭을 최소화 하기 위하여 연구시설 옥상에 Fig. 2와 같은 배열로 설치하였다. 각각의 모형온실의 그림자가 다른 온실에 미치는 영향을 최소화하기

위하여 각 온실은 그림과 같이 4 m 간격으로 설치하였고, 온실에 작업자의 출입이 용이하도록 모형온실의 출입문은 북쪽방향에 설치하였으며, 여름철 환기가 용이하도록 천창은 동서방향으로 열리도록 배치하였다.

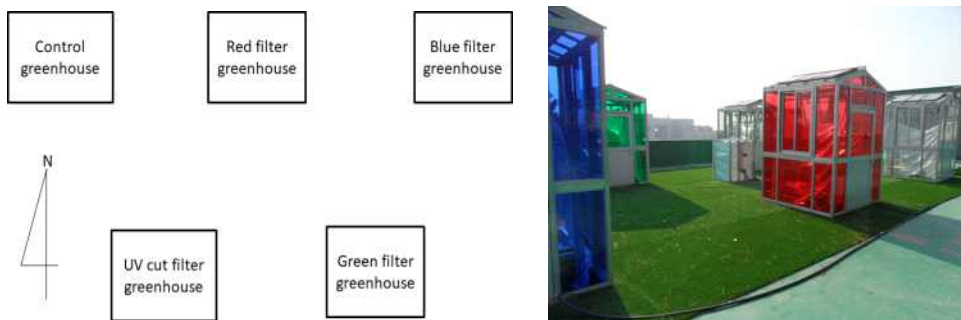


Fig. 2. Localization of the greenhouse

2. 선택적 광투과 모형온실에서의 적축면 상추 재배 시험

태양광이 선택적으로 투과될 때 작물의 생육특성을 분석하기 위한 시험의 공시재료는 적축면 상추('참존 적축면'(Nongwoo bio co., LTD., Korea))를 이용하였다. 상추종자는 200공 트레이에 파종하였고, 정식은 파종 25일 육묘된 모종을 DFT(Deep Flow Technique) 시스템의 스펀지에 Fig. 3과 같이 이식하여 시험을 실시하였다. 시험에 사용한 배양액은 야마사키 잎상추용 배양액

(N:6.5, P:1.5, K:4.0, Ca:2.0, Mg:1.0 me·L⁻¹)으로 EC 1.6 dS·m⁻¹, pH 5.8~6.0을 유지할 수 있도록 주 2회 배양액을 정식 때와 같은 수준으로 보정하였으며, 실험기간 동안 배양액은 교체하지 않았다. 재배기간은 정식 후 30일이었으며, 10일 간격으로 지상부와 지하부 생체중 및 건물중, 엽수, 최대엽장 및 엽폭, 안토시아닌 색소함량 및 광합성 특성을 조사하였다. 시험구 배치는 완전 임의배치 3반복으로 하였으며, 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute Inc., USA)을 이용하였다.

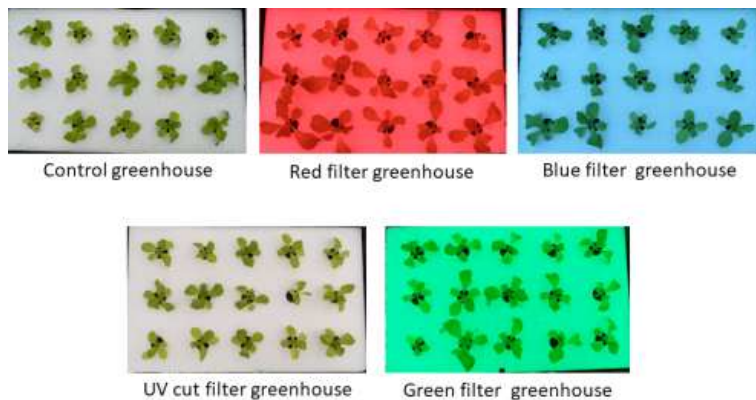


Fig. 3. Photograph of lettuces as affected by light quality in the greenhouses

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 모형온실 내 광특성

스펙트럼측정기(Fieldspec 3, ASD Inc., USA)를 이용하여 측정된 온실모형온실 내부로 투과되는 스펙트럼은 Fig. 4와 같다. 필터를 통과한 모형온실 내의 태양광 스펙트럼은 필터에 따른 파장 폭은 넓지만 각 파장대에 따른 피크치는 나타나는 것으로 조사되었다. Table 2는 모형온실에

부착된 필터에 따른 조도 및 광량자속밀도를 나타낸 것이다. 각각의 모형온실 내에서 조도 및 광량자속밀도를 측정한 결과, 조도는 Blue필터를 부착한 온실이, 광량자속밀도는 Red필터를 부착한 온실이 가장 높은 것으로 나타났다. 투과율을 조사한 결과 필터를 부착한 온실이 대조구 대비 약 30~40% 낮은 것으로 조사되었다. 색을 가진 필터를 부착한 세 온실 중 Red필터를 부착한 온실에 들어오는 광량이 가장 높은 것으로 조사되었다. 또한 필터 부착 후 2개월 경과 후 광을 측정된 결과 투과율이 10% 이상 낮아지는 것으로

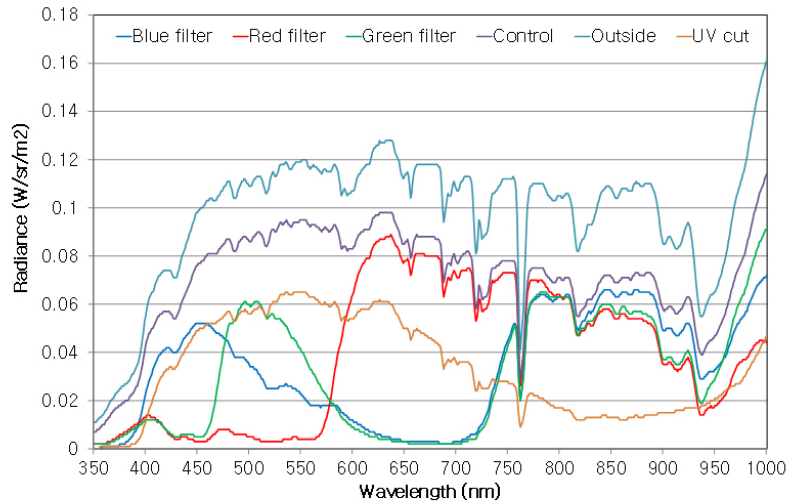


Fig. 4. Light quality of each greenhouses

Table 2. Illumination and quantum of each greenhouses

Treatment	Illumination (klux)	Quantum ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Transmissivity (Illumination, %)	Transmissivity (Quantum, %)
Control(Outside)	54.9	1116.4	100	100
Glass	45.4	919.7	83	82
Blocked ultraviolet	30.8	617.1	56	55
Blue	14.5	238.6	26	21
Green	18.9	212.8	34	19
Red	8.7	417.3	16	37

조사되어 광투과율을 향상시키기 위하여 선택광 투과 태양전지가 개발된다면 외부표면을 청소하는 장치의 개발도 필요할 것으로 사료된다.

2. 선택적 광투과 모형온실에서의 적축면 상추 재배 시험

가. 생체중 및 건물중 비교

적축면상추의 생육기간별 생체중과 건물중을 측정한 결과는 Fig. 5와 Table 3과 같다. 재배 기간에 따른 지상부 생체중은 대조구 온실에서 정식 30일 후에 약 148g으로 가장 높았고, 다음

으로 Red필터 부착온실에서 약 143g으로 높은 것으로 조사되었다. 건물중은 대조구와 Red필터 온실에서 각각 6g, 4.8g으로 조사되어 생체중에 비하여 차이가 큰 것으로 조사되었다. 엽장과 엽 폭은 5개의 시험구 중 Red필터를 부착한 온실이 대조구에 대비하여 생육이 가장 좋은 것으로 조사되었다. 이는 Red필터 부착온실은 작물의 생육을 억제하는 약 550nm 이하의 광이 대부분 차단되어 발생한 것으로 판단된다. 또한 작물의 광합성에 이용되는 광파장대역인 Blue영역과 Red영역 중 Red영역이 더 큰영향을 미치는 것으로 판단된다.

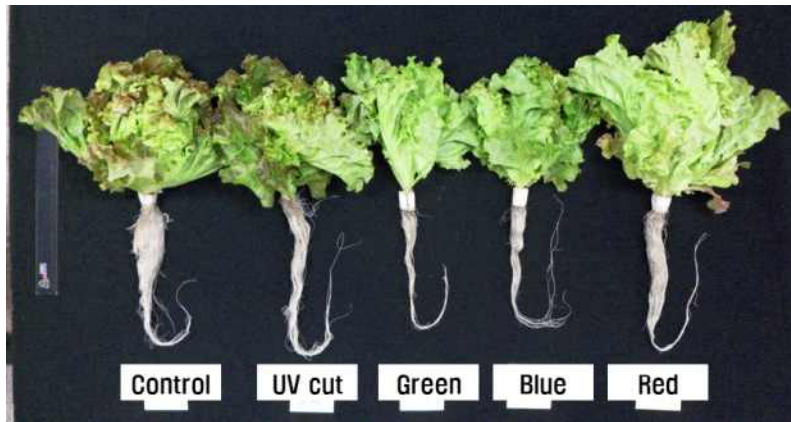


Fig. 5. Photograph of lettuces as affected by selective light transmitting filter in greenhouse.

Table 3. Growth of the lettuces as affected by selective light transmitting filter in greenhouse.

DAT ^a	Treat.	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaf	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
					Shoot	Root	Shoot	Root
10	Control	9.8	9.9	7.2	6.9	2.2	0.5	0.1
	blocked UV	10.8	8.3	6.3	5.4	2.0	0.4	0.1
	Red	12.9	11.7	6.8	7.3	1.9	0.4	0.1
	Green	12.8	9.6	5.9	4.0	1.5	0.2	0.1
	Blue	12.0	10.1	6.3	4.9	1.7	0.3	0.1
20	Control	16.9	19.2	10.7	43.6	8.6	1.6	0.4
	blocked UV	16.1	17.1	10.3	33.8	7.2	1.0	0.3
	Red	19.8	20.3	8.8	39.8	6.7	1.1	0.3
	Green	16.6	15.0	7.7	15.0	2.5	0.6	0.1
	Blue	17.2	16.5	7.6	19.9	3.4	0.7	0.1
30	Control	24.1	23.7	17.7	147.9	17.9	6.1	1.0
	blocked UV	23.3	23.7	18.3	114.9	15.5	3.4	0.7
	Red	26.7	24.1	19.6	142.5	15.0	4.8	0.8
	Green	23.9	18.9	11.7	47.3	6.5	1.4	0.3
	Blue	22.9	18.5	11.2	44.7	5.9	1.4	0.3

나. 광합성 특성

광합성 측정장치(LI-6400, LI-COR, USA)를 이용하여 재배기간에 따른 적축면 상추의 광합성 특성을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다. 시험 조건은 엽 온 약 23°C이고, CO₂ 농도 400 μmol·mol⁻¹, 광량 700 μmol·m⁻²·s⁻¹, 습도 53±1%, 기류속도 500

±0.5 μmol·s⁻¹의 조건에서 수행하였다. 재배기간에 따른 광합성속도는 상추가 성장할수록 낮아지는 경향이었으나, Blue필터 온실은 높아지는 것으로 나타났다. 수분이용효율은 큰 차이는 없었으나 Green영역에서 높은 것으로 조사되었고, 기공전도도는 대조군 온실이 가장 높은 것으로 조사되었다.

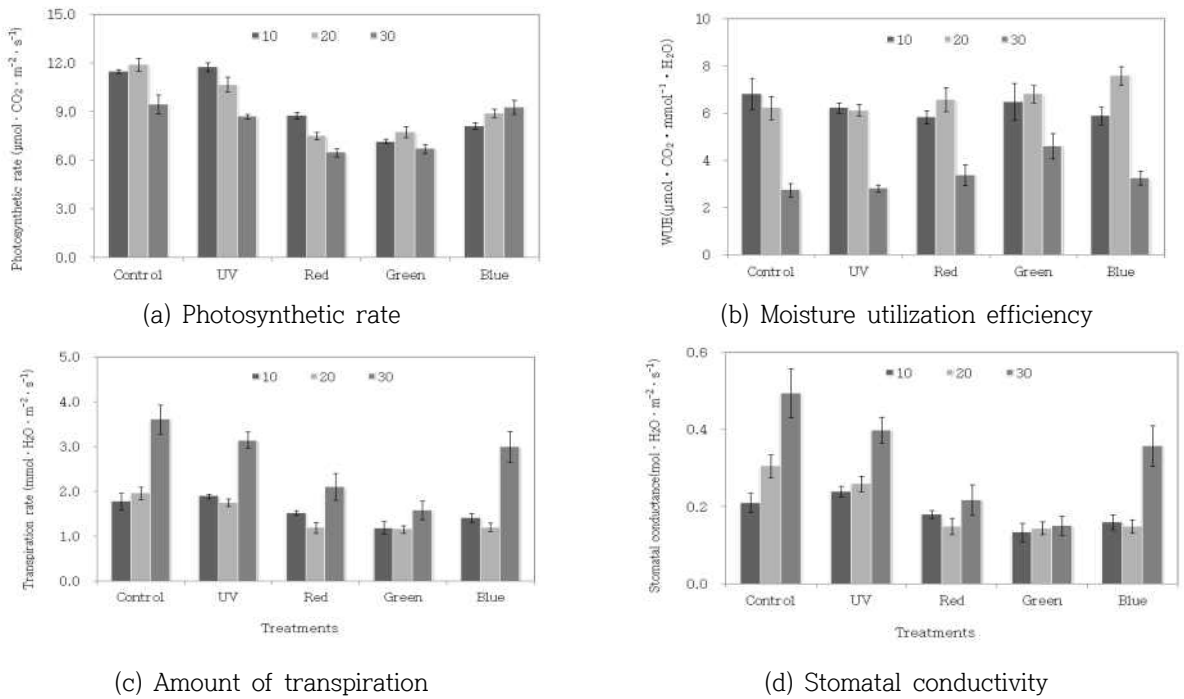


Fig. 6. Photosynthetic property

다. 안토시아닌 함량
적축면 상추의 안토시아닌 함량은 Fig. 7과 같다. 대조구에서 전 생육기에 걸쳐 가장 높게 나타났으며, 다음으로 자외선 차단 시험구가 높았고,

Red필터피복 시험구 순으로 나타났다. 안토시아닌 함량은 모든 시험구에서 생육 후기로 갈수록 크게 감소하는 경향을 보였으나 Blue필터 온실은 다른 시험구보다 그 양은 적은 것으로 조사되었다.

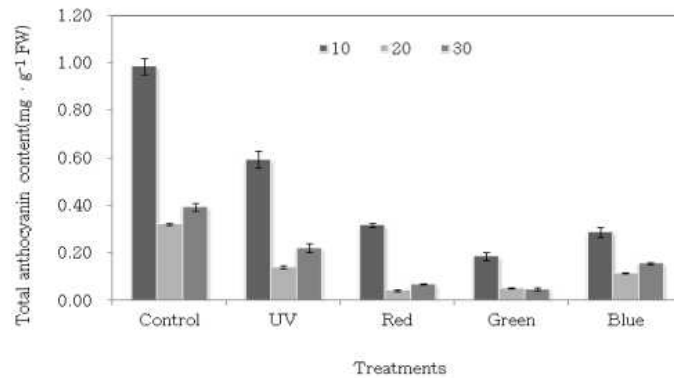


Fig. 7. Anthocyanin content of lettuce as affected by selective light transmitting filter in greenhouse.

IV. 적요

필터 부착에 따른 모형온실 내에서 스펙트럼은 필터에 따른 파장 폭은 넓지만 각 파장대에 따른 피크치는 나타나는 것으로 조사되었다. 각각의 모형온실 내에서 조도 및 광량자속밀도를 측정된 결과 조도는 Blue필터를 부착한 온실이, 광량자속밀도는 Red필터를 부착한 온실이 가장 높은 것으로 나타났다. 투과율을 조사한 결과 필터를 부착한 온실이 대조구에 대비하여 약 30~40% 낮은 것으로 조사되었다. 적축면상추의 생육기간별 생체중과 건물중을 측정한 결과 대조구온실에서 정식 30일 후에 약 148g으로 가장 높았고, 다음으로 Red필터 부착온실에서 약 143g으로 높았다. 재배기간에 따른 광합성속도는 상추가 성장할수록 낮아지는 경향이었으나, Blue필터 온실은 높아지는 것으로 나타났다. 수분이용효율은 큰 차이는 없었으나 Green영역에서 높은 것으로 조사되었고, 기공전도도는 대조군 온실이 가장 높은 것으로 조사되었다. 안토시아닌 함량은 모든 시험구에서 생육 후기로 갈수록 크게 감소하는 경향이 있었다.

V. 참고문헌

1. An, C.G., Y.H. Hwang, J.U. An, H.S. Yoon, Y.H. Chang, G.M. Shon, and S.J. Hwang. 2011. Effect of LEDs (light emitting diodes) irradiation on growth of paprika (*Capsicum annuum* 'Cupra'). J. Bio-Environ. Con. Vol. 20, pp253-257. (In Korean)
2. Kang, Y.K., S.W. Kang, Y. Paek, Y.H. Kim, J.K. Jang, and Y.S. Ryou. 2017. Heating Performance Analysis of the Heat Pump System for Agricultural Facilities using the Waste Heat of the

Thermal Power Plant as Heat Source. Protected Horticulture and Plant Factory. Vol. 26, pp317-323. (In Korean)

3. Kim, I.S., C. Zhang, H.M. Kang, and B. Mackay. 2008. Control of stretching of cucumber and tomato plug seedlings using supplemental light. Hort. Environ. Bio. Vol. 49, pp287-292. (In Korean)
4. Kim, W.U., and Y.K. Kim. 2019. Optimal Operation Methods of the Seasonal Solar Borehole Thermal Energy Storage System for Heating of a Greenhouse. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. Vol 20, pp28-34. (In Korean)
5. Kwon, J.K., G.C. Kang, J.P. Moon, Y.K. Kang, C.K. Kim, and S.J. Lee. 2013. Performance Improvement of an Air Source Heat Pump by Storage of Surplus Solar Energy in Greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 22, pp328-334. (In Korean)
6. Lee, B.J.. 2019. The Glass Greenhouse's Lighting Simulation for Ginseng with Solar Cell and LED. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 20, pp. 14-19, (In Korean)
7. Lee, J.G., S.S. Oh, S.H. Cha, Y.A. Jang, S.Y. Kim, and Y.C. Um. 2010. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. J. Bio-Environ. Con. Vol. 19, pp351-359. (In Korean)
8. Ministry of Agricultural Food and Rural affairs (MAFRA). 2019. 2018 Vegetable Greenhouse Status and Vegetable Production. Sejong, Korea. (In Korean)

9. Nishimura, T., K. Ohyama, E. Goto, N. Inagaki. 2009. Concentration of perillaldehyde, limonene, and anthocyanin of Perilla plants as affected by light quality under controlled environments. *Sci. Hortic.* Vol. 122, pp134-137.
10. Nishioka, N., T. Nishimura, K. Ohyama, M. Sumino, S.H. Malayeri, E. Goto, N. Inagaki, and T. Morota. 2008. Light quality affected growth and contents of essential oil components of japanese mint plants. *Acta Hortic.* Vol. 797, pp431-436.

논문접수일 : 2020년 5월 1일
논문수정일 : 2020년 6월 10일
게재확정일 : 2020년 6월 12일