

식물생장용 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프의 분광 광강도 분석

이혜인 김용현 김동억

Analysis of Spectral Light Intensity of High Pressure Sodium and Metal Halide Lamps for Plant Growth

H. I. Lee Y. H. Kim D. E. Kim

Abstract

Plant growth was greatly affected by the spectral distribution and light intensity of artificial lighting sources. In this study, the spectral characteristics of high power sodium (HPS) lamps and metal halide (MH) lamps produced by three different manufacturers were measured. Even though the spectral distribution of HPS lamps with lamp wattage of 250 W and 400 W was very similar, but the spectral light intensity by the manufacturers was different. Difference in the spectral light intensity of MH lamps by the manufacturers was increased with the increasing lamps wattage. Light intensity at the region of blue (B), green (G), red (R) and far-red (FR) light of HPS and MH lamps was also analyzed. HPS lamps showed the light intensity in order of R, FR, B and G light. The ratio of G, B, R and FR to photosynthetic photon flux (PPF) of HPS lamps with the lamp wattage of 250 W was 3.0-3.2%, 5.5-5.9%, 17.3-19.2% and 6.5-7.8%, respectively. For MH lamps, it showed the light intensity in order of R, FR, B, and G. The ratio of B, G, R, and FR to PPF of MH lamps with 250 W was 14.0-15.5%, 22.6-27.5%, 7.5-9.5% and 2.7-4.2%, respectively. HPS and MH lamps with 400 W had a relatively smaller ratio of R and FR to PPF than those with 250 W. HPS lamps showed that the ratio of light intensity of B and FR to R was 0.15-0.28 and 0.36-0.4, respectively. For MH lamps, the ratio of light intensity of B and FR to R was 1.26-2.72 and 0.27-0.56, respectively. From these results, it was concluded that the portion of blue light of MH lamps was higher than those of HPS lamps.

Keywords : Artificial lighting sources, Spectral characteristics, Light intensity, Photosynthetic photon flux, High power sodium lamp, Metal halide lamp

1. 서론

시설원예의 보광재배용 또는 식물공장용 인공광원으로 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프와 같은 방전램프가 널리 쓰이고 있다(Buheim et al., 1991; Lin and Jolliffe,

1996). 이러한 방전램프는 일사량이 부족한 시기에 작물의 생장에 필요한 자연광을 보충하고자 사용된다. 그런데 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프와 같은 방전램프는 전력소모가 크고, 발열이 많으므로 최근에는 형광등과 같은 방전램프가 근접조명용 광원으로 주로 사용되고 있다(Kim and Lee, 1998; Ohyama et al., 2005). 이러한 인공광원을 설치할

This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ006510)", Rural Development Administration, Republic of Korea. The article was submitted for publication in 2010-10-22, reviewed on 2010-11-12 and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-11-24. The authors are Hye In Lee, graduate student, Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Graduate School of Chonbuk National University, Yong Hyeon Kim, KSAM member, Professor, Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Chonbuk National University (Institute of Agricultural Science and Technology), Dong Eok Kim, KSAM member, Researcher, Dept. of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science. Corresponding author: Yong Hyeon Kim, Professor, Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea; Fax: +81-63-270-2620; E-mail: <yhkim@jbnu.ac.kr>.

때 램프의 종류에 따라 분광 특성과 작물에 조사되는 광강도가 다르다. 또한 램프의 소비전력과 작물로부터 광원에 이르는 수직거리에 따라 작물에 조사되는 광강도가 같지 않다. 그러므로 보광재배 또는 식물공장용 인공광원을 설치할 때 요구되는 광강도를 확보하려면 램프의 종류와 소비전력에 따른 분광 및 광강도 특성을 고려하여 설치되는 램프의 수를 결정하여야 한다.

그런데 보광재배용 조명시스템을 설계할 때 관련 자료에 기초하여 램프의 종류, 소비전력 및 램프의 수가 결정되지 않고, 경험에 의존하여 인공광원이 설치되고 있는 실정이다. 이것은 식물생장용 조명시스템의 설계에 필요한 관련 자료가 축적되지 않은 결과로 판단된다.

이제까지 국내에서 주로 보급되고 있는 형광등의 분광 특성(Kim and Lee, 1998), 발광다이오드의 분광특성(Kim, 1999), 전조용 백열등의 조도 특성(Kim et al., 2000)이 일부 보고된 바 있으나, 인공광원의 광량 또는 광속 비율에 대한 기술적 자료는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 국내에 보급되어 있는 방전램프 가운데 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프를 대상으로 식물생장과 관련된 분광 특성과 광강도 비율을 분석하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 실험용 방전램프

식물생장용 광원으로서 널리 쓰이고 있는 고압방전램프 가운데 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프의 분광 특성 및 광강도 비율을 분석하고자 2종류(250 W, 400 W)의 소비전력과 3개의 제조회사에 따라 램프를 선정하였다(Table 1, 2).

나. 측정 방법

실험용 방전 램프의 분광 특성을 측정하고자 분광복사계(LI-1800, LI-COR), 노트북 및 계측용 소프트웨어로 측정 시스템을 구성하였다. 분광복사계로부터 수직방향으로 1.3 m 떨어진 지점에 광원과 안정기를 설치하고 분광 특성을 측정하였다. 이 때 광원으로부터 최대 광양을 얻고자 점등 후 15분에 측정하였으며, 외부로부터의 간섭을 차단하기 위해서 암조건에서 측정하였다.

고압나트륨램프와 메탈할라이드램프의 광강도는 분광 특

Table 1 Specifications of high pressure sodium lamps used in this study.

Lamp wattage (W)	Manufacturer	Dimension ¹⁾		Luminous flux ¹⁾ (lm)	Luminous efficacy ²⁾ (lm·W ⁻¹)	Life time ¹⁾ (h)
		Length (mm)	Diameter (mm)			
250	A	230	90	25,500	102	20,000
	B	258	102	25,000	100	24,000
	C	240	90	26,000	104	24,000
400	A	275	120	46,100	115	20,000
	B	300	122	46,000	115	24,000
	C	290	120	50,000	125	24,000

¹⁾ Dimension, luminous flux and life time are originated from the manufacturer's catalogue.

²⁾ Luminous efficacy is defined as the ratio of luminous flux to lamp wattage.

Table 2 Specifications of metal halide lamps used in this study

Lamp wattage (W)	Manufacturer	Dimension ¹⁾		Luminous flux ¹⁾ (lm)	Luminous efficacy ²⁾ (lm·W ⁻¹)	Life time ¹⁾ (h)
		Length (mm)	Diameter (mm)			
250	A	220	90	21,000	84	10,000
	B	258	102	20,500	82	10,000
	C	240	90	20,500	82	10,000
400	A	275	120	34,000	85	10,000
	B	300	122	34,000	85	20,000
	C	290	120	36,000	90	20,000

¹⁾ Specification is originated from the manufacturer's catalogue.

²⁾ Luminous efficacy is defined as the ratio of luminous flux to lamp wattage.

성 자료로부터 결정된다. 즉 청색광(중심파장 450 nm), 녹색광(중심파장 525 nm), 적색광(중심파장 660 nm) 및 원적색광(중심파장 730 nm) 영역을 기준으로 각각 ± 10 , ± 20 , ± 30 nm 범위에서의 광강도를 구하였다. 또한 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프의 적색광 영역에서의 광강도에 대한 청색광 및 원적색광 영역에서의 광강도가 차지하는 비율을 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 분광 특성

소비전력이 각각 250 W와 400 W인 고압나트륨램프의 분광 특성은 비슷하였으나, 광강도(spectral light intensity)는 제조회사에 따라 차이가 나타났다. 250 W 고압나트륨램프의 광강도는 820 nm에서 최대값이 나타났으며, 다음으로 598 nm, 582 nm, 570 nm 부근에서 각각 제2, 제3 및 제4의 극대값이 나타났다(Fig. 1). 820 nm에서의 광강도는 B사, C사, A사의 순서로서 각각 $8.48 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $8.03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $7.76 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 나타났으며, 최대 차이는 8.5%이었다. 한편 596 nm에서의 광강도는 C사, B사, A사의 순서로서 각각 $3.63 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 3.52

$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, $3.43 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 나타났다.

400 W 고압나트륨램프의 광강도는 250 W 고압나트륨램프의 경우와 동일하게 820 nm에서 최대값이 나타났으며, 다음으로 596 nm, 584 nm, 570 nm 부근에서 각각 제2, 제3 및 제4의 극대값이 나타났다(Fig. 2). 최대 광강도는 C사와 A사의 경우 각각 $10.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $10.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로서 거의 동일하였으나, B사의 경우 $8.94 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로서 C사의 경우에 비해서 13.2% 작게 나타났다. 또한 596 nm에서의 광강도는 C사 $5.11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, B사에서 $4.27 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로서 차이는 16.5% 이었다. 따라서 고압나트륨램프의 경우 소비전력이 클수록 제조회사에 따른 광강도의 차이가 크게 나타났다.

250 W 메탈할라이드램프의 광강도는 590 nm에서 최대값이 나타났으며, 다음으로 820 nm, 546 nm, 570 nm, 508 nm, 1,1016 nm의 순서로 광강도의 극대값이 존재하였다(Fig. 3). 전체적으로 광강도는 B사 > A사 > C사의 순서로 나타났다. 590 nm에서의 광강도는 B사, A사, C사의 순서로서 각각 $2.68 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $1.73 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $1.68 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 나타났으며, 최대 차이는 37.5%이었다.

400 W 메탈할라이드램프의 분광 특성은 250 W 메탈할라이드램프와 유사하게 590 nm, 546 nm, 820 nm, 570 nm, 508 nm, 1,016 nm 부근에서 극대값이 나타났다(Fig. 4). 메

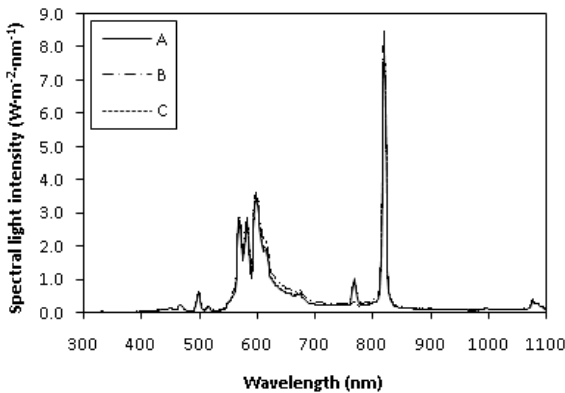


Fig. 1 Spectral characteristics of high pressure sodium lamp (250 W).

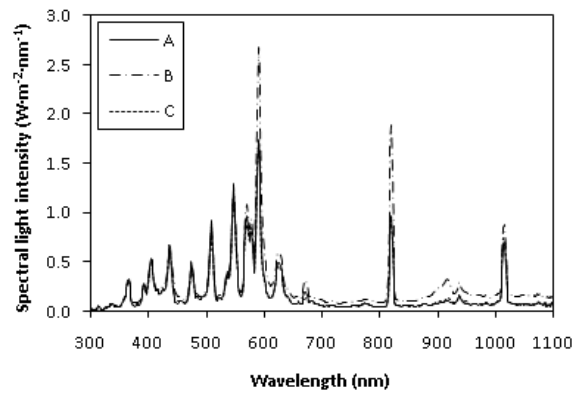


Fig. 3 Spectral characteristics of metal halide lamp (250 W).

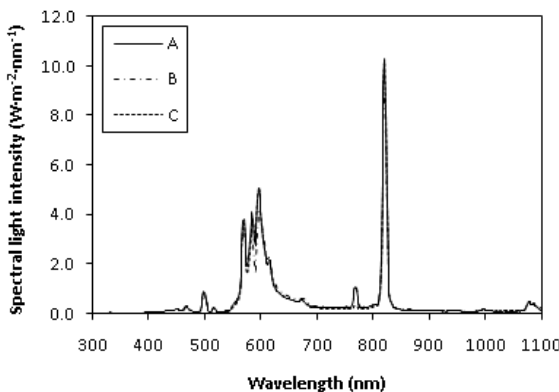


Fig. 2 Spectral characteristics of high pressure sodium lamp (400 W).

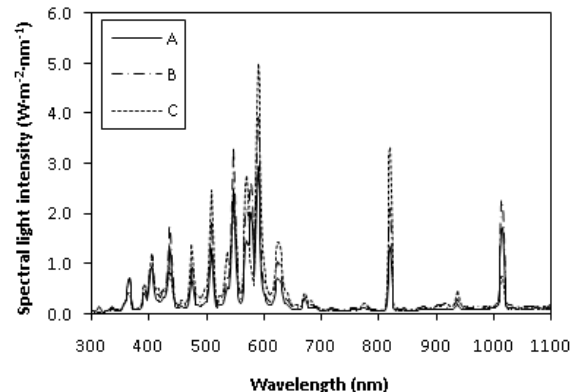


Fig. 4 Spectral characteristics of metal halide lamp (400 W).

탈할라이드램프는 고압수은램프에 금속 할로겐 화합물을 첨가한 것으로서, 용도에 따라 적합한 분광에너지를 나타낸다. 조명용 메탈할라이드램프에는 NaI-TII-InI₃, ScI₃-NaI, DyI₃-TII, SnI₂-SnBr₂ 등과 같은 금속 할로겐 화합물이 사용된다(The Illuminating Engineering Institute of Japan, 1987). 메탈할라이드램프의 분광 특성이 590 nm, 546 nm 등에서 강한 스펙트럼을 나타낸 바, 본 연구에서 사용된 메탈할라이드램프는 NaI-TII-InI₃의 금속 할로겐 화합물로 이루어진 램프로 판단된다.

광강도는 250 W 메탈할라이드램프와 다르게 C사> B사> A사의 순서로 나타났다. 590 nm에서의 광강도는 C사, B사, A사의 순서로서 각각 4.98 W·m⁻², 3.92 W·m⁻², 2.95 W·m⁻²이었으며, 최대 차이는 40.7%로 나타났다. 더구나 820 nm에서의 광강도는 1.33~3.33 W·m⁻²로서, 최대 차이는 60.1%에 이르렀다. 고압나트륨램프와 마찬가지로 메탈할라이드램프의 소비전력이 클수록 제조회사에 따른 광강도의 차이가 크게 나타났다. 또한 메탈할라이드램프의 광강도는 고압나트륨램프에 비해서 제조회사에 따른 차이가 더욱 크게 나타났다.

나. 광강도 특성

250 W와 400 W 고압나트륨램프의 광강도는 적색광> 원적색광> 청색광> 녹색광의 순서로 나타났다(Table 3). 청색

광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역을 450±30 nm, 525±30 nm, 660±30 nm, 730±30 nm로 설정한 250 W 고압나트륨램프의 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도는 각각 5.7~6.4 W·m⁻², 10.8~12.7 W·m⁻², 33.4~41.4 W·m⁻², 13.0~16.8 W·m⁻²로 나타났다. 그러므로 400~700 nm의 광합성유효복사(photosynthetically active radiation)에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 3.0~3.2%, 5.5~5.9%, 17.3~19.2%, 6.5~7.8%로 나타났다. 한편 400 W 고압나트륨램프에서 광합성유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 3.3%, 5.3~6.0%, 13.1~16.1%, 4.9~6.4%로서, 250 W 고압나트륨램프와 비교할 때 적색광과 원적색광의 비율이 상대적으로 작게 나타났다.

고압나트륨램프와 다르게 250 W와 400 W 메탈할라이드램프의 광강도는 녹색광> 청색광 > 적색광> 원적색광의 순서로 나타났다(Table 4). 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역을 450±30 nm, 525±30 nm, 660±30 nm, 730±30 nm로 설정한 250 W 메탈할라이드램프의 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도는 각각 13.9~14.6 W·m⁻², 24.8~27.3 W·m⁻², 7.1~11.5 W·m⁻², 2.5~5.1 W·m⁻²로 나타났다. 그러므로 광합성유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색

Table 3 Comparison of light intensity at the region of blue, green, and red light of high power sodium lamps used in this study

Wavelength	Light intensity(W·m ⁻²)					
	HPS 250W			HPS 400W		
	A	B	C	A	B	C
Blue						
450±10nm	1.9 (1.0 ²)	2.2(1.0)	2.1(1.1)	2.6(1.1)	2.6(1.1)	2.6(1.1)
±20nm	4.3 (2.2)	4.7(2.2)	4.8(2.4)	6.0(2.4)	5.8(2.4)	6.0(2.5)
±30nm	5.7 (3.0)	6.4(3.0)	6.4(3.2)	8.0(3.3)	7.8(3.3)	8.0(3.3)
Green						
525±10nm	1.8 (0.9)	2.2(1.0)	1.8(0.9)	2.3(0.9)	2.3(1.0)	2.0(0.8)
±20nm	3.5 (1.8)	4.2(2.0)	3.6(1.8)	4.4(1.8)	4.6(1.9)	3.9(1.6)
±30nm	10.8 (5.6)	12.7(5.9)	11.1(5.5)	14.3(6.0)	14.3(6.0)	12.7(5.3)
Red						
660±10nm	10.8 (5.6)	13.4(6.2)	11.2(5.6)	10.2(4.2)	12.3(5.2)	10.3(4.3)
±20nm	22.2 (11.6)	27.6(12.8)	23.2(11.5)	21.3(8.7)	25.4(10.7)	21.3(8.9)
±30nm	33.4 (17.4)	41.4(19.2)	34.7(17.3)	32.2(13.1)	38.3(16.1)	32.1(13.4)
Far-red						
730±10nm	4.2 (2.2)	5.4(2.5)	4.2(2.1)	4.2(1.7)	4.9(2.1)	3.8(1.6)
±20nm	8.6 (4.5)	11.0(5.1)	8.5(4.2)	8.5(3.5)	10.0(4.2)	7.7(3.2)
±30nm	13.1 (6.8)	16.8(7.8)	13.0(6.5)	13.1(5.4)	15.3(6.4)	11.8(4.9)
PAR^y						
400-700nm	192.1(100.0)	215.7(100.0)	200.9(100.0)	244.9(100.0)	238.1(100.0)	238.7(100.0)

^yPAR stands for photosynthetically active radiation.

²Figures in parenthesis refer to the percentage of intensity of blue, green, red, and far-red light to the intensity of visible light.

Table 4 Comparison of light intensity at the region of blue, green, and red light of metal halide lamps used in this study

Wavelength	Light intensity(W·m ⁻²)					
	MH 250W			MH 400W		
	A	B	C	A	B	C
Blue						
450±10nm	2.3(2.4 ^z)	3.9(3.3)	2.8(2.9)	3.7(2.4)	5.9(2.7)	4.9(2.1)
±20nm	8.2(8.6)	10.6(8.8)	9.0(9.6)	15.2(9.8)	21.1(9.8)	15.2(6.4)
±30nm	13.9(14.7)	17.0(14.0)	14.6(15.5)	23.9(15.3)	33.3(15.4)	30.0(12.6)
Green						
525±10nm	3.7(3.9)	4.3(3.5)	3.7(4.0)	4.9(3.1)	7.3(3.4)	10.9(4.6)
±20nm	16.4(17.2)	17.0(14.1)	15.5(16.4)	24.9(16.0)	34.8(16.1)	43.2(18.1)
±30nm	26.1(27.5)	27.3(22.6)	24.8(26.3)	41.9(26.8)	58.1(26.9)	65.2(27.3)
Red						
660±10nm	1.7(1.8)	3.1(2.6)	1.8(1.9)	2.4(1.5)	3.3(1.5)	3.8(1.6)
±20nm	4.1(4.3)	7.1(5.9)	4.0(4.2)	5.8(3.7)	7.8(3.6)	9.8(4.1)
±30nm	7.2(7.5)	11.5(9.5)	7.1(7.6)	10.2(6.5)	14.2(6.6)	18.5(7.8)
Far-red						
730±10nm	0.8(0.8)	1.6(1.3)	0.9(1.0)	1.3(0.8)	1.9(0.9)	1.5(0.6)
±20nm	1.6(1.7)	3.3(2.7)	2.0(2.1)	2.6(1.6)	3.9(1.8)	3.1(1.3)
±30nm	2.5(2.7)	5.1(4.2)	3.1(3.3)	4.0(2.8)	6.0(2.8)	5.0(2.1)
PAR ^y						
400-700nm	95.0(100.0)	120.8(100.0)	94.3(100.0)	156.0(100.0)	216.5(100.0)	238.4(100.0)

^yPAR stands for photosynthetically active radiation.

^zFigures in parenthesis refer to the percentage of intensity of blue, green, red, and far-red light to the intensity of visible light.

광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 14.0~15.5%, 22.6~27.5%, 7.5~9.5%, 2.7~4.2%로 나타났다. 한편 400 W 메탈할라이드램프에서 광합성유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 12.6~15.4%, 26.8~27.3%, 6.5~7.8%, 2.1~2.8%로 나타났다. 따라서 고압나트륨램프의 경우와 마찬가지로 250 W 메탈할라이드램프에 비해서 적색광과 원적색광의 비율이 상대적으로 작게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구 결과에서 고압나트륨램프에는 적색광과 원적색광이 많이 포함되어 있고, 메탈할라이드램프에는 녹색광과 청색광이 많이 포함된 것으로 나타났다. 660 nm 영역의 적색광과 450 nm 영역의 청색광은 엽록소 a 또는 엽록소 b의 흡수 스펙트럼과 일치한다. 또한 광합성 작용 스펙트럼은 적색광 영역에서 최고치가 나타나고, 청색광 영역에서 극대값이 나타난다(Inada, 1976). 적색광과 청색광이 혼합되어 조사된 조건에서 성장된 고추는 건물중이 증가하였고, 원적색광의 부가 조사로 인하여 줄기시장이 촉진되었다(Brown et al., 1995). 그러므로 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프를 식물생장용 인공광원으로 사용할 때 단독으로 사용하는 것보다 조합해서 사용하는 것이 유리하다.

250 W와 400 W 고압나트륨램프에서 적색광에 대한 청색

광 또는 원적색광이 차지하는 비율 즉, B/R과 FR/R은 각각 0.15~0.28, 0.36~0.41로 나타났다. 한편, 250 W와 400 W 메탈할라이드램프에서 B/R과 FR/R은 각각 1.26~2.72, 0.27~0.56로 나타났다. 상기 결과로부터 청색광 영역이 차지하는 비율은 고압나트륨램프에 비해서 메탈할라이드램프에서 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 한편 적색광 영역에 대해 원적색광 영역이 차지하는 비율은 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프에서 비슷하게 나타났다(Table 5, 6).

청색광은 식물의 줄기신장을 억제하거나, 엽면적 또는 건물중을 감소시킨다(Mortensen and Stromme, 1987). 또한 기공개도, 엽록소 및 효소 합성에도 커다란 영향을 미친다(Tibbitts et al., 1983). 적색광은 발아를 촉진하며, 엽면적을 증가시키거나(Kim and Park, 2003; Warrington and Mitchell, 1976), 과실의 비대를 촉진한다(Lee et al., 2010). 한편 원적색광은 광형태형성 반응에 중요한 역할을 하면서, 발아를 억제하거나 절간 신장을 촉진한다(Hanan, 1998). 그러므로 식물에 조사되는 광에 원적색광이 많이 포함되어 있으면, 식물이 도장할 수 있다.

파이토크롬(phytochrome)은 빛을 흡수하는 광수용체로서 흡수스펙트럼의 형태가 가역적으로 변한다(Schuerger et al., 1997). 즉 불활성형태의 적색광흡수형(Pr)과 활성형태의 원

Table 5 Comparison of the light intensity ratio of blue and far-red light to red light of high power sodium lamps used in this study

Wavelength	Light intensity ratio					
	HPS 250W			HPS 400W		
	A	B	C	A	B	C
B/R						
±10nm	0.18	0.16	0.19	0.25	0.21	0.26
±20nm	0.19	0.17	0.20	0.28	0.23	0.28
±30nm	0.17	0.15	0.18	0.25	0.20	0.25
FR/R						
±10nm	0.39	0.41	0.38	0.41	0.40	0.37
±20nm	0.38	0.40	0.37	0.40	0.39	0.36
±30nm	0.39	0.40	0.38	0.41	0.40	0.37

Table 6 Comparison of the light intensity ratio of blue and far-red light to red light of metal halide lamps used in this study

Wavelength	Light intensity ratio					
	MH 250W			MH 400W		
	A	B	C	A	B	C
B/R						
±10nm	1.36	1.26	1.55	1.55	1.78	1.29
±20nm	2.03	1.50	2.25	2.64	2.72	1.55
±30nm	1.95	1.47	2.06	2.35	2.35	1.62
FR/R						
±10nm	0.46	0.50	0.52	0.52	0.56	0.38
±20nm	0.40	0.46	0.50	0.44	0.50	0.31
±30nm	0.35	0.44	0.44	0.39	0.43	0.27

적색광흡수형(Pfr)으로 구분된다. 자연 조건에서 생합성되는 적색광흡수형은 적색광에 민감하게 반응하면서 원적색광흡수형으로 전환되어 종자발아, 줄기 신장, 개화, 색소 발현 등 식물의 반응에 영향을 미친다. 한편 원적색광흡수형은 암조건 또는 원적색광에 의해 적색광흡수형으로 전환되면서 불활성 형태를 이룬다.

청색광 또는 적색광은 식물의 건물중, 초장, 엽면적 등의 생장지표 뿐만 아니라 당도, 엽내의 탄수화물 및 단백질함량에 영향을 미칠 수 있다. 적색광이 많이 포함된 조건에서 지상부건물중과 초장은 약 2배 높게 나타났으며, 엽면적은 46% 정도 증가하였다. 한편 적색광이 많이 포함된 조건에서 식물의 탄수화물 함량은 증가하였으나, 반대로 단백질함량은 감소하였다(Warrington and Mitchell, 1976).

4. 요약 및 결론

식물 생장은 인공광원의 분광 특성, 광강도 및 광속 비율에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 고압나트륨램프(250 W, 400 W)와 메탈할라이드램프(250 W, 400 W)의 제조회사에 따른 분광 특성을 측정하였고, 측정된 분광특성 자료에

기초하여 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프의 파장별 광강도를 분석하였다. 또한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도와 적색광 영역에 대해서 청색광과 원적색광이 차지하는 비율을 분석하였다.

- (1) 250 W와 400 W 고압나트륨램프의 분광 특성은 비슷하였으나, 파장별 광강도는 제조회사에 따라 차이가 나타났다. 고압나트륨램프의 광강도는 820 nm, 598 nm, 582 nm, 570 nm의 순서로 나타났다.
- (2) 250 W와 400 W 메탈할라이드램프는 590 nm, 820 nm, 546 nm, 570 nm, 508 nm, 1,016 nm 부근에서 광강도의 극대값이 나타났다. 400 W 메탈할라이드램프의 광강도 차이는 590 nm에서 40.7%, 820 nm에서 60.1%로서 메탈할라이드램프의 소비전력이 클수록 제조회사에 따른 광강도의 차이가 크게 나타났다.
- (3) 250 W와 400 W 고압나트륨램프의 광강도는 적색광> 원적색광> 청색광> 녹색광의 순서로 나타났다. 광합성 유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 3.0~3.2%, 5.5~5.9%, 17.3~19.2%, 6.5~7.8%로 나타났다. 한편 400 W 고

압나트륨램프에서 광합성유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 3.3%, 5.3~6.0%, 13.1~16.1%, 4.9~6.4%로서, 250 W 고압나트륨램프와 비교할 때 적색광과 원적색광의 비율이 상대적으로 작게 나타났다.

- (4) 250 W와 400 W 메탈할라이드램프의 광강도는 녹색광 > 청색광 > 적색광 > 원적색광의 순서로 나타났다. 광합성유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 14.0~15.5%, 22.6~27.5%, 7.5~9.5%, 2.7~4.2%로 나타났다. 한편 400 W 메탈할라이드램프에서 광합성유효복사에 대한 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광 영역에서의 광강도 비율은 각각 12.6~15.4%, 26.8~27.3%, 6.5~7.8%, 2.1~2.8%로 나타났다. 따라서 고압나트륨램프의 경우와 마찬가지로 250 W 메탈할라이드램프에 비해서 적색광과 원적색광의 비율이 상대적으로 작게 나타났다.
- (5) 250 W와 400 W 고압나트륨램프에서 적색광에 대한 청색광 또는 원적색광이 차지하는 비율 즉, B/R과 FR/R은 각각 0.15~0.28, 0.36~0.41로 나타났다. 한편, 250 W와 400 W 메탈할라이드램프에서 B/R과 FR/R은 각각 1.26~2.72, 0.27~0.56로 나타났다. 상기 결과로부터 청색광 영역이 차지하는 비율은 고압나트륨램프에 비해서 메탈할라이드램프에서 매우 높게 나타남을 알 수 있다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ006510)의 지원에 의해 이루어진 것임

참 고 문 헌

- Brown, C.S., A.C. Schuerger and J.C. Sager. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(5):808-813.
- Buhenheim, D.L., R. Sargis, and D. Wilson. 1991. Spectral changes in metal halide and high pressure sodium lamps equipped electronic dimming. HortScience 26:738.
- Hanan, J.J. Greenhouses - Advanced technology for protected horticulture. CRC Press p.147-149.
- Inada, K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. Plant Cell Physiol. 17(2):355-365.
- Kim, T.H., K.J. Lee, and J.T. Lee. 2000. Illuminating characteristics of an incandescent lamp. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 25(1):25-32. (In Korean)
- Kim, Y.H. 1999. Plant growth and morphogenesis control in transplant production system using light-emitting diodes(LEDs) as artificial light source -Spectral characteristics and light intensity and of LEDs-. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 24(2):115-122. (In Korean)
- Kim, Y.H. and C.H. Lee. 1998. Light intensity and spectral characteristics of fluorescent lamps as artificial light source for close illumination in transplant production factory. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(6):591-598. (In Korean)
- Kim, Y.H. and H.S. Park. 2003. Graft-taking characteristics of watermelon grafted seedlings as affected by blue, red and far-red light-emitting diodes. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 28(2):151-156. (In Korean)
- Lee, J.S., H.I. Lee, J.H. Park, and Y.H. Kim. 2010. Growth and yield after transplanting of sweet pepper seedlings nursed under artificial light. Proceedings of Korean Society for Bio-environment Control 19(1):175-176. (In Korean)
- Lin, W.C. and P.A. Jolliffe, 1996. Light intensity and spectral quality affect fruit growth and shelf life of greenhouse-grown long English cucumber. J. of Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 1168-1173.
- Mortensen, L.M. and E. Stromme. 1987. Effect of light quality on some greenhouse crops. Scientia Horticulturae 33:27-36.
- Ohyama, K., K. Manabe, Y. Omura, and T. Kozai. 2005. Potential use of a 24 h (continuous light) with alternating air temperature for production of tomato plug transplants in a closed system. HortScience 40:374-377.
- Schuerger, A.C., C.S. Brown, and E.C. Stryjewski. 1997. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. Annual Botany 79:273-282.
- The Illuminating Engineering Institute of Japan. 1987. Lighting Handbook. p.145-148. (In Japanese)
- Tibbitts, T.W., D.C. Morgan, and J.J. Warrington. 1983. Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide and tungsten halogen lamps at equal PPFD. J. of Amer. Soc. Hort. Sci. 108:622-630.
- Warrington, I.J. and K.J. Mitchell. 1976. The influence of blue- and red-biased light spectra on the growth and development of plants. Agricultural Meteorology 16(2):247-262.