

전조용 인공광원의 유효광량자속 중첩특성 분석 Analysis of Photosynthetic Photon Flux Superstition for Artificial Lighting in Greenhouse

유지훈*

김유한*

류관희*

정희원

J. H. Yu

Y. H. Kim

K. H. Ryu

1. 서론

종래의 관습적인 재배방식에 의하면, 식물의 생장은 자연광에 거의 전적으로 의존하였다고 할 수 있으나 기술의 발달과 더불어 다양한 광질을 지니면서 조명효율이 우수한 인공광원이 등장하면서 그 적용 범위가 점차 확대되고 있고, 특히 원예 및 시설재배에 있어서 보조광원으로서 인공광원을 이용하는 것은 대다수의 식물공장에 있어서 보편적인 시스템으로 정착되고 있는 상황이다. 그러나 우리나라에서는 식물공장 생산시스템의 자동화 및 작물재배에 관한 연구가 대학 등에서 극히 부분적으로 수행되고 있는 실정이며, 특히 인공광원을 이용하였을 때의 광형태 형성에 대한 연구 및 그 효과에 대한 연구결과는 매우 미비한 것이 현실이다. 또한 인공광원을 이용한 식물 생산 시스템에서 인공광원의 설치 방법이 상이하고 조도 분포도 균일하지 못하여 식물 개개의 알장 제어에 적합한 광환경을 조성하지 못하고 있다.

본 연구는 작물의 생육에 적합한 광 환경을 조성해 주기 위한 기초연구로서 조도 분포를 측정하여 전조재배를 위한 효율적인 인공광원의 설치 표준화 확립을 위한 기준을 제시하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험 장치

그림 1과 같이 알루미늄 프로파일을 사용하여 가로와 세로가 각각 4280mm, 측고 3280mm 인 외부 틀 속에 9개의 램프를 설치할 수 있는 4000mm × 4000mm의 내부틀을 수직 이동이 가능하도록 설치하였다. 또한 8종류의 광원을 9개씩 매달 수 있도록 하였으며, 총 8종류의 인공광원에 그림 2와 같은 다이아몬드형의 투광기를 설치하였다.

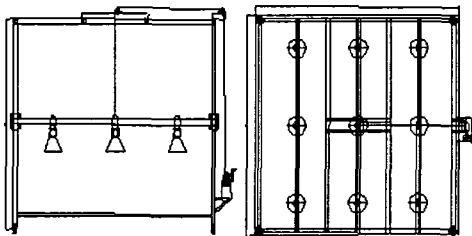


Fig. 1 광원 특성 측정 실험 장치의 설계도

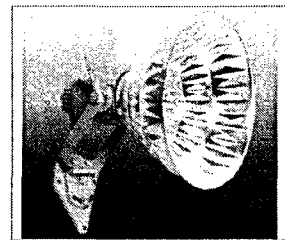


Fig. 2 다이아몬드형 투광기

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

나. 측정 방법

일몰 후 태양광선의 영향을 받지 않는 온실 내에서 각 광원별 간격을 1m로 설정한 후, 수직거리를 1m, 1.5m, 2m로 변화시키면서 50cm 정방형 격자의 교점에서 조도를 광원측정기(LI-250 Light Meter, LI-COR)를 이용하여 μmol 단위로 측정하였다. 인공광원의 종류는 광표전기 회사의 고압나트륨

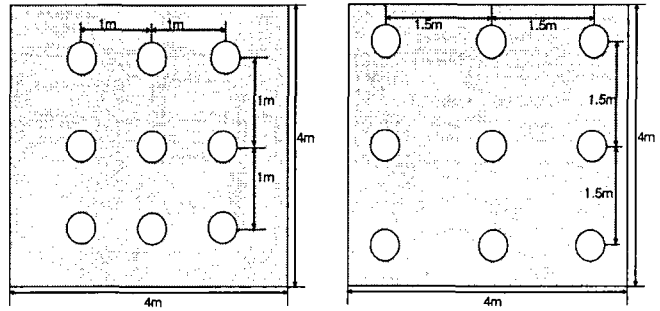


Fig. 3 조광폭 변화에 따른 인공광원의 배치도(unit : m)

램프 150W, 250W, 400W, 메탈할라이드램프 175W, 250W, 400W, 고압수은램프 250W, 400W 이렇게 8종류의 광원을 측정하였다. 또한 조광폭을 그림 3과 같이 1m와 1.5m로 변화시키면서 8개의 동일한 광원에 대해 각각 동일한 실험을 실시하였으며 이에 따른 조사면에서의 유효광량자속의 분포를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 전조용 인공광원의 종류별 설치 높이에 따른 유효광량자속 특성

그림 4는 150W의 고압나트륨램프에 다이아몬드형 투광기를 장착한 후, 설치 높이에 따른 조사면의 PPF값을 150W 램프를 설치한 수직 하방을 기준으로 25cm 간격으로 측정된 값을 나타낸 것이다. 이는 9개의 150W 고압나트륨 램프의 평균값이다.

그림 4에서와 같이 고압나트륨 램프의 설치 높이 1m, 1.5m, 2m, 2.5m에 대한 램프 수직하방의 PPF 값은 광원의 설치 높이가 증가할수록 PPF값이 감소함을 알 수 있다. 또한 램프의 중심으로부터 거리가 175cm 이후부터는 설치높이에 따른 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다. 또한 램프의 중심으로부터 400cm의 거리의 PPF 값은 설치 높이에 관계없이 0에 수렴해 가는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 도식화된 각각의 실측 곡선에 대하여 PPF 분포에 관한 일반식이 다음과 같이 함수식으로 유도되었다.

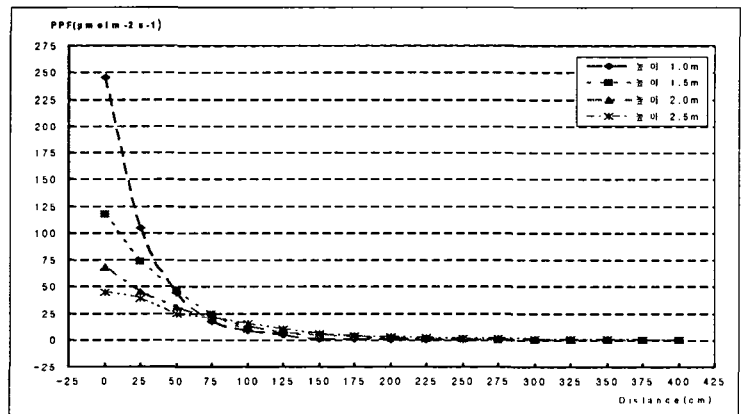


Fig. 4 고압나트륨150W 거리별 높이별 PPF값

$$y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g \quad (1)$$

식 (1)에서 거리(x)는 설치한 고압나트륨 램프의 수직하방의 조사면 중심에서부터 떨어진

조사면 등거리를 의미한다.

표 1은 식 (1)에 대한 지면으로부터 다이아몬드 투광기를 장착한 150W 고압나트륨램프의 설치 높이 1m, 1.5m, 2m, 2.5m에 대한 계수값을 나타내고 있다.

Table 1 PPF분포 추세식의 계수값

height	coefficient						
	a	b	c	d	e	f	g
1.0m	3e-12	-4e-09	2e-06	-0.006	0.0946	-7.463	243.86
1.5m	-3e-13	3e-10	-7e-8	-2e-5	0.0115	-1.974	116.86
2.0m	5e-14	-8e-11	6e-8	-2e-5	0.0065	-1.006	67.441
2.5m	-1e-13	1e-10	-8e-8	2e-5	-0.001	-0.346	44.839

나. 인공광원의 유효광량자속 중첩 특성의 분석 및 검증

8종류의 광원에 대해 각각의 광원별 실험을 실시하였으며 인공광원의 종류에 따라 Contour map 및 Wire-frame map의 형상이 다소 차이가 있음을 확인하였다. 다이아몬드형 투광기(고압수은램프, 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프)에 있어서 Contour map과 Wire-frame map을 분석한 결과 유효광량자속의 중첩형상은 유효광량자속의 분포 형상에서의 차이만을 보이는 것으로 나타났다.

Table 2 고압나트륨램프 150W의 Contour-map과 Wire-frame


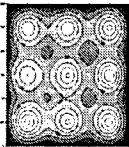

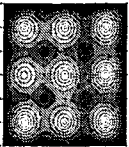



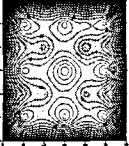


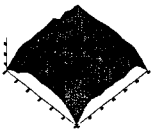
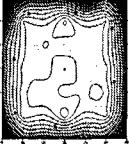


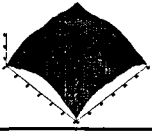
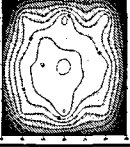
height	Na 150W, width = 1m				error(%)
	experimented data		calculated data		
1m					19.19
1.5m					29.53
2m					18.31
2.5m					29.02

표 2는 8종류의 광원 중에서 150W 고압나트륨램프의 조광폭 1m일때 높이에 따른 실험값과

식 (1)에 따른 계산값을 비교한 것이다. 8개 광원의 실험값과 예상값은 중첩 패턴은 비슷하나 각 측정점에서 오차가 존재하였으며 각 측정점에서 실험값을 기준으로 계산한 평균 오차값은 10%~30% 정도로 나타났다. 광원을 생산하는 업체 규모가 영세이며 자동화가 되어있지 않은 점으로 인해 각각 광원의 PPF값이 동일하지 않았으며 심지어 같은 광원일지라도 30%이상의 오차가 존재하였다.

또한 평균 PPF값은 광원의 높이가 높을수록 감소하였으나 높이가 높을수록 중첩특성이 균일하게 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 식물 생산 공장 시스템에서의 작물의 생장 촉진과 품질 향상을 위한 효율적인 광이용 및 광원 제어 기술 개발과 광원 설치 기준을 제시하기 위해 추진되었으며, 이를 위해 광원 종류, 거리, 간격에 따른 설치요인 구명을 목적으로 하였고, 그 결과를 요약하면 다과 같다.

1. 다이아몬드 투광기를 사용한 8개 종류 광원의 거리별, 높이별 PPF값의 추세식을 9개의 동일 광원의 평균값을 이용하여 개발하였다.
2. 추세식을 검증할 실험을 수행하였으며 실험 검증 결과 10%~30% 정도의 오차가 발생했다. 이는 광원 본래의 PPF 값이 각각 균일하지 못했기 때문이다.
3. 광원의 높이가 낮을수록 중첩특성이 고르지 못했고, 높이가 높을수록 중첩특성이 균일하게 나타났으며 평균 PPF값은 높이가 높을수록 감소하였다.

5. 참고문헌

1. Appelgren M. 1991 Effects of light on stem elongation of *Pelargonium* in vitro. *Scientia Horticulturae* 45:345-351
2. Borthwick H.A., S.B. Hendricks. and M.W. Parker. 1952 Proc. Natl. Acad. Sci. USA 38:929-934
3. Brown S.B., 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
4. Kitaya. Y., M. Kiyota. T. Imanaka and I. Aiga. 1992. Growth of vegetables suspended upside down. *Acta Horticulturae* 303:79-84
5. Kozai, T., S Kino, B.R. Jeong, M. Hayashi. M. Kinowaki, M. Ochiai, and K. Mori. 1992. A sideward lighting system using diffusive optical fibers for production of vigorous micropropagated platlets. *Acta Horticulturae* 319:237-242
6. 김용현 1996. 인공광을 이용한 식물의 생장 및 광형태 형성 제어