

전조용 광원으로 이용하는 백열등의 조도 특성 Illuminating Characteristics of an incandescent Electric lamp

이 경진*
정회원
K.J.Lee

조 창래*
정회원
C.R.Jo

김 태한**
정회원
T.H.Kim

장 익주**
정회원
I.J.Jang

I. 서론

온실 및 식물 공장의 광 환경 조절에 관한 연구로서 田中(1995)은 인공 전조등 설치시 종래의 고정설치법에 비해 설치비 절감과 염면의 수광효율 향상 및 광 환경의 균일화를 목적으로 광원을 이동시키는 장치를 개발하여 엽채류를 대상으로 고정설치구와 이동설치구의 생장 특성을 비교 분석한 결과 생장에 차이가 없어 이동식 전조 시설의 실용 가능성을 시사하였으나 이는 전조등 1개를 이동시켜 가면서 시험을 하였으므로 여러개의 전조등을 설치하는 인공 전조등의 설치법에 관한 기초 자료를 제공하지 못하였다. 岡本(1995)등은 각종 식물 생육에 적합한 광 환경을 만들어 주기 위하여 지금까지는 백열전구나, 형광등을 사용하고 있으나 이는 전기를 광으로 변환하는 효율이 낮고 발열로 인해 전기에너지의 소비가 크고 광원으로부터 방사되는 광량(光量)이나 파장 구성을 자유로 제어할 수 없으므로 이런 문제를 해결할 수 있는 超高輝度발광다이오드의 광 환경에 관해 보고하였다.

그 외 인공광을 이용한 작물 재배로 생산량이 증대되었다는 결과 발표는 다수 있으나(安西, 1982., 宇野, 1982., 池田, 1991) 효율적인 인공 전조등 설치법에 관한 연구는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 농업 시설의 효율적인 인공광 설치의 표준화 확립을 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 농가에서 전조용 광원으로 이용하고 있는 백열등을 대상으로 전조등의 설치 높이, 전조등의 종류 등에 따른 조도 분포 특성을 구명하여 일반식을 도출하였다. 온실이나 무창계사 등에서 백열등의 설치 높이, 백열등의 종류, 백열등의 중심으로부터

의 거리등의 수치를 알면 조도분포식을 이용해 각 위치별 조도 값을 알아낼 수 있다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 방법

일몰후(9시) 태양 광선의 영향을 받지 않는 건물내 지하실에서 전조등의 설치 높이, 전조등의 종류 등에 따른 수평면에 관한 조도를 조도계(IM2D, Topcon, Japan)로 측정하였다.

1.1 자연 상태 백열등

30, 60, 100W의 백열등을 지면에서 높이 80, 100, 130, 160mm로 설치할 때의 조도 분포를 측정하여 일반식으로 도출하였다.

1.2 갓을 씌운 백열등

그림 1은 갓을 씌운 백열등을 도식화한 것이다.

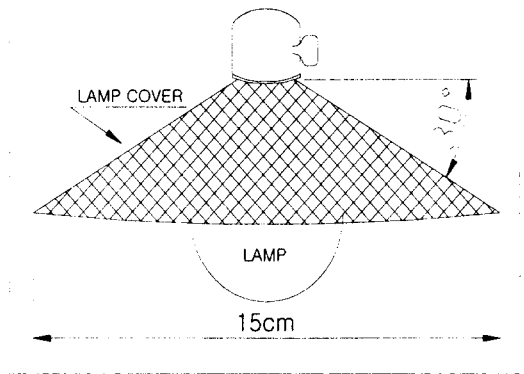


fig 1. Schematic figure of hat-covered incandescent lamp

* 경북대학교 대학원 농업기계공학과

** 경북대학교 농업기계공학과

같은 그림에서와 같이 알루미늄 소재를 이용해 단면이 이등변 삼각형 모양으로 밑변 150mm, 높이 45mm, 등각이 30°가 되게 제작하여 백열등의 구 중심까지 갓을 씌워지게 하였다. 이 상태에서 지면으로부터 높이 80, 100, 130, 160mm로 설치할 때의 조도 분포를 측정하여 일반식으로 도출하였다.

1.3 차광막을 칠한 백열등

그림2는 100W 백열등의 상단에서부터 구 중심까지 반구 형태로 차광막을 칠한 것을 도식화한 것이다. 이는 백열등의 빛이 전조 대상과 무관한 상단 방향으로 조사되는 것을 차단하여 작물이 있는 지면으로 가능한 많은 빛이 조사될 수 있도록 하여 백열등의 효율을 높이기 위한 것으로 차광막의 색상은 노란색, 은색, 녹색, 금색, 흑색, 빨간색을 사용하여 차광막을 칠하지 않은 경우와 비교하여 조도 분포를 분석하였다.

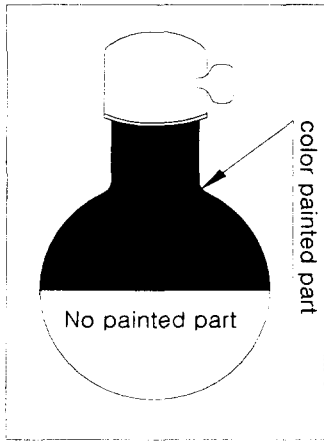


fig 2. Schematic figure of color painted incandescent lamp

III. 결과 및 고찰

1. 자연 상태 백열등

그림3은 100W 백열등의 설치 높이에 따른 바닥면 조도를 백열등을 설치한 바로 아래 위치를 기준으로 수평축(x축)으로 25cm간격으

로 측정된 것을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 백열등의 설치 높이 80, 100, 130, 160cm에 대한 백열등 바로 아래 위치의 조도는 각각 178.6lx, 118lx, 76.3lx, 54.7lx로 나타나 백열등의 설치 높이가 증가할수록 조도가 감소함을 알 수 있다. 또한 백열등의 중심으로부터 거리가 멀어짐에 따라 조도는 감소하며 150cm거리에서의 설치 높이에 따른 조도는 각각 27.4lx, 27.2lx, 29lx, 26lx로 나타나 150cm이후부터는 설치 높이에 따른 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다. 또한 백열등의 중심으로부터 300cm거리의 조도는 설치 높이에 관계없이 0에 수렴해 감을 알 수 있다.

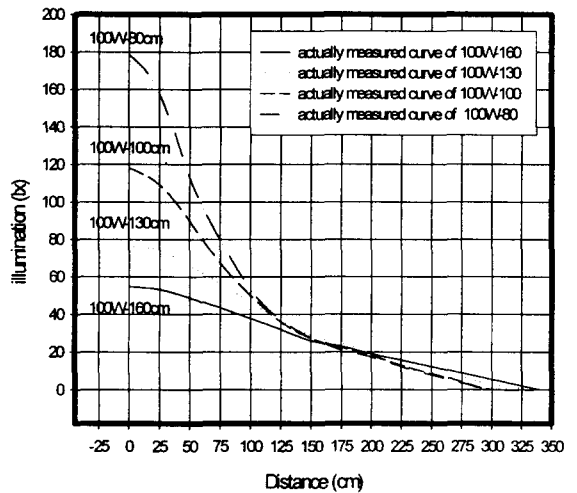


Fig 3. Graph comparison between illumination and distance at 80, 100, 130, 160cm height with 100W light

표1은 그림3에서 도식화한 각각의 곡선에 대해 3차 유리 함수에 변수2개(x=거리, y=조도값)와 계수 6개를 주어 조도 분포에 관한 일반식을 구한 것으로 식은

$$y = \frac{a + bx + cx^2}{1 + dx + ex^2 + fx^3} \quad [lx] \text{로 나타났다.}$$

예를 들면 100W의 백열등을 지면으로부터 80cm높이에 설치할 경우 백열등 중심 바로 아래의 위치의 조도는 표에서의 정수 a, b, c, d, e, f의 값과 변수x에 0을 위의 식에 대입

하면 178.6lx가 된다. 이와 같은 방법으로 백열등으로부터 x만큼 떨어진 거리에 대한 조도를 산출해 낼 수 있다.

Table 1. Coefficient comparison of calculated equation at each height (100W)

power (W)	height from the bottom (Cm)	Coefficient					
		$y = \frac{a + bx + cx^2}{1 + dx + ex^2 + fx^3} [lx]$					
		a	b	c	d	e	f
100	80	178.66	-1.22	5.61e-4	-0.01	2.30e-4	-1.42e-6
	100	117.84	-0.80	4.20e-4	-0.01	1.39e-4	-8.23e-7
	130	76.41	-0.54	3.22e-4	-0.01	7.08e-5	-4.08e-7
	160	54.75	-0.39	1.99e-4	-0.01	4.24e-5	-2.62e-7

또한 표2는 백열등이 지면으로부터 80cm 높이에 있을 때 도출 해낸 식에 의한 계산값과 측정값과의 결과를 비교한 것으로 표에서와 같이 계산치와 실측치의 표준편차는 최대 +1.9, 최소 ±0.1로 나타나 신뢰도가 높음을 알 수 있다.

Table 2. Comparison of value between measured and predicted

Distance x	Measured	Predicted	Deviation
0	178.6	178.7	-0.1
25	158	157.6	0.4
50	113.4	114.6	-1.2
75	80	78.1	1.9
100	53	53.6	-0.6
125	37	37.9	-0.9
150	27.4	27.3	0.1
175	21	21.4	-0.4
200	17.2	16.5	0.7
Mean Standard Deviation			0.7

그림4는 60W 백열등에 대한 설치 높이에 따른 바닥면 조도를 백열등을 설치한 바로 아래 위치를 기준으로 수평축(x축)으로 25cm간격으로 측정된 것을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 백열등의 설치 높이 80, 100, 130, 160cm에 대한 백열등 바로 아래 위치의 조도는 각각 100.5lx, 63.2lx, 42.1lx, 32.3lx로 나타나 백열등의 설치 높이가 증가할수록 조도가 감소함을 알 수 있다. 또한 백열등의 중심으로부터 거리가 멀어짐에 따라 조도값은 감소하며 125cm거리에서의 설치 높

이에 따른 조도는 각각 17.2lx, 17.3lx, 16.7lx, 16.7lx로 나타나 125cm이후부터는 설치 높이에 따른 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다.

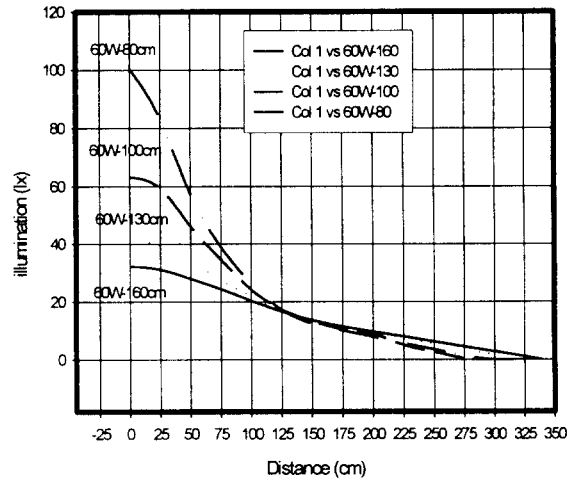


fig 4. Graph comparison between illumination and distance at 80, 100, 130, 160cm height with 60W light

표3은 그림4에서 도식화된 각각의 곡선에 대해 3차 유리 함수에 변수2개(x=거리, y=조도)와 계수6개를 주어 조도 분포에 관한 일반식을 구한 것을 나타낸 것이다. 표에서와 같이 100W백열등에 비해 상수 a의 값은 작고 d의 값은 -0.01로 같으며 동일한 형태의 수식을 나타냈다.

Table 3. Coefficient comparison of calculated equation at each height (60W)

power (W)	height from the bottom (Cm)	Coefficient					
		$y = \frac{a + bx + cx^2}{1 + dx + ex^2 + fx^3} [lx]$					
		a	b	c	d	e	f
60	80	100.45	-0.8	4.16e-4	-0.01	2.52e-4	-1.91e-6
	100	63.33	-0.36	1.61e-4	-0.01	1.76e-4	-8.48e-7
	130	42.08	-0.34	-8.07e-6	-0.01	-8.52e-5	-7.37e-7
	160	32.29	-0.26	-8.88e-5	-0.01	6.04e-5	-5.27e-7

또한 백열등이 지면으로부터 80cm 높이에 있을 때 도출 해낸 식에 의한 계산값과 측정값을 비교한 결과 계산치와 실측치의 표준편차는 최대 1.8, 최소 ±0.1로 나타나 신뢰도가 높음을 알 수 있었다.

그림5는 30W 백열등에 대한 설치 높이에 따른 바닥면 조도를 백열등을 설치한 바로 아래 위치를 기준으로 수평축(x축)으로 25cm간격으로 측정된 것을 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 백열등의 설치 높이가 80, 100, 130, 160cm에 대한 백열등 바로 아래 위치의 조도는 각각 40lx, 28.9lx, 17.5lx, 12.6lx로 나타나 백열등의 설치 높이가 증가할수록 조도가 감소함을 알 수 있다. 또한 백열등의 중심으로부터 150cm거리에서의 설치 높이에 따른 조도는 각각 5.2lx, 5.6lx, 5.8lx, 5.7lx로 나타나 설치 높이에 따른 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다.

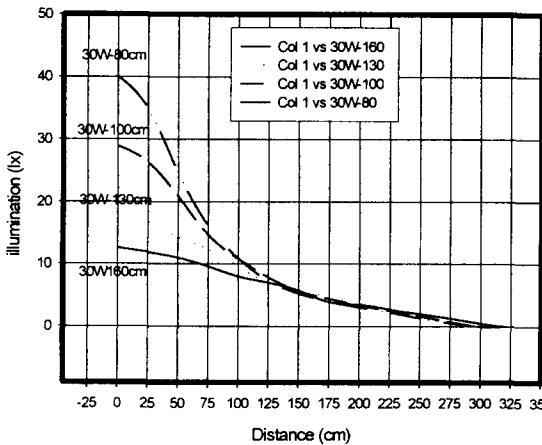


fig 3. Graph comparison between illumination and distance at 80, 100, 130, 160cm height with 30W light

표4는 그림5에서 도식화한 각각의 곡선에 대한 일반식을 유도한 것으로 표에서와 같이 60W 백열등에 비해 상수 a의 값은 작고, d의 값은 -0.01로 100W, 60W 백열등에서 도출된 값과 동일하였다.

Table4. Coefficient comparison of calculated equation at each height (30W)

power (W)	height from the bottom (Cm)	Coefficient					
		a	b	c	d	e	f
30	80	39.97	-0.37	3.02e-4	-0.01	2.66e-4	-2.08e-6
	100	28.88	-0.23	1.7e-4	-0.01	1.68e-4	-1.13e-6
	130	17.52	-0.17	2.61e-4	-0.01	6.46e-5	-4.64e-7
	160	12.59	-0.1	1.57e-4	-0.01	3.62e-5	-1.91e-7

또한 백열등이 지면으로부터 80cm 높이에 있을 때 도출 해낸 식에 의한 계산값과 측정값을 비교한 결과 계산치와 실측치의 표준편차는 최대 +0.6, 최소 ±0.1로 나타나 신뢰도가 높음을 알 수 있었다.

2. 갓을 씌운 60W 백열등

그림6은 갓을 씌운 백열등(60W)의 설치 높이에 따른 조도를 백열등을 설치한 바로 아래 위치를 기준으로 수평축으로 25cm간격으로 350cm 지점까지 측정된 것을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 백열등의 설치 높이가 80, 100, 130, 160cm에 대한 백열등 바로 아래 위치의 조도는 각각 150.5lx, 104.1lx, 56lx, 38lx로 갓을 사용하지 않은 백열등의 조도보다 1.2~1.5배 정도 높은 수치를 나타냈으나 백열등의 설치 높이가 증가할수록 조도는 감소하였다.

또한 백열등의 중심으로부터 150cm거리에서의 설치 높이에 따른 조도는 각각 14.7lx, 16.8lx, 15.2lx, 14lx로 나타나 설치 높이에 따른 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 갓을 씌우지 않은 60W의 백열등의 경우 설치 높이에 영향을 받지 않는 거리가 125cm인 것에 비해 25cm 늘어난 것이다.

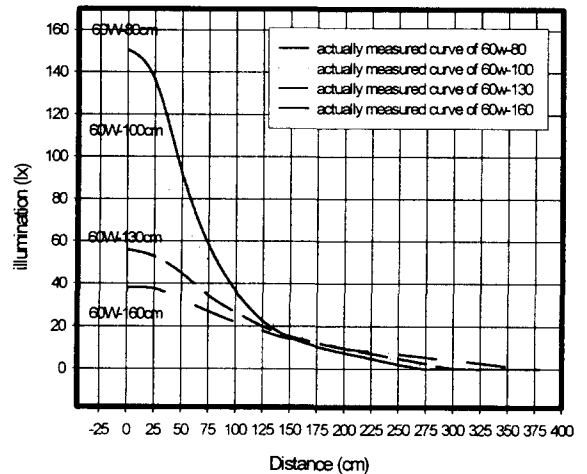


fig 6. Graph comparison between illumination and distance at 80, 100, 130, 160cm height with hat-covered light (60W)

표5는 그림6에서 도식화한 각 곡선에 대한 일반식을 유도한 것으로 표에서와 같이 자연상태의 60W 백열등에 비해 상수 a의 값은 크

고, 상수 d의 값은 같으나 수식의 형태는 동일하게 나타났다.

Table 5. Coefficient comparison of calculated equation at each height with hat-covered light (60W)

power (W)	height from the bottom (Cm)	Coefficient					
		$y = \frac{a + bx + cx^2}{1 + dx + ex^2 + fx^3} [lx]$					
		a	b	c	d	e	f
60	80	150.34	-1.54	2.67e-3	-0.01	3.19e-4	-2.24e-6
	100	104.32	-0.90	9.65e-4	-0.01	2.06e-4	-1.40e-6
	130	56.01	-0.45	3.09e-4	-0.01	1.15e-4	-7.72e-7
	160	38.07	-0.15	-3.29e-4	-0.01	1.05e-4	-5.84e-7

또한 백열등이 지면으로부터 80cm높이에 있을 때 도출 해낸 식에 의한 계산값과 측정값을 비교한 결과 계산치와 실측치의 표준편차는 최대 -0.8, 최소+0.1로 나타나 신뢰도가 높음을 알 수 있었다.

3. 차광막을 칠한 100W 백열등

그림 7은 색상이 있는 차광막을 칠한 백열등(100W)을 높이가 160cm로 설치했을 경우의 조도를 백열등을 설치한 바로 아래 위치를 기준으로 25cm간격으로 350cm 지점까지 측정된 것을 나타낸 것이다.

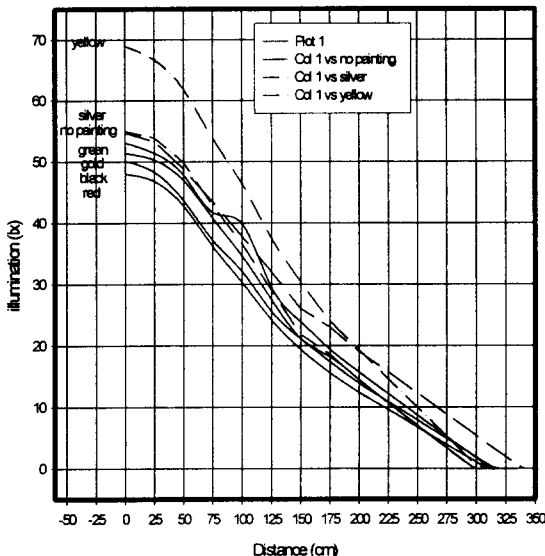


fig 7. Graph comparison between illumination and distance at 160cm height with painted light (100W)

그림에서와 같이 백열등 바로 아래 위치의 조도는 차광막의 색상이 노란색인 경우 68.9lx로서 차광막을 칠하지 않은 자연 상태 백열등의 54.7lx보다 1.3배 높으며 은색의 경우는 55lx로서 자연 상태 백열등의 경우와 거의 비슷하게 나타났다. 또한 차광막의 색상이 녹색, 금색, 흑색, 빨간색인 경우에는 각각 53.1lx, 51.4lx, 50.1lx, 48lx로서 자연 상태 백열등의 경우보다 조도가 낮게 나타났으며 그림에서와 같이 노란색의 차광막을 칠한 백열등이 기타 색상의 경우보다 조도가 가장 높음을 알 수 있다.

표6은 그림7에서 도식화한 각 곡선에 대한 일반식을 유도한 것으로 표에서와 같이 자연 상태의 100W백열등에 비해 노란색 차광막의 경우 상수 a의 값은 크고, 상수 d의 값은 모든 차광막의 색상에서 -0.01로 동일하게 나타났다.

Table 6. Coefficient comparison of calculated equation at 160cm height with painted light (100W)

power (W)	painting color of lights	Coefficient					
		$y = \frac{a + bx + cx^2}{1 + dx + ex^2 + fx^3} [lx]$					
		a	b	c	d	e	f
100	red	48.05	-0.49	5.15e-4	-0.01	6.99e-5	-4.98e-7
	black	50.15	-0.46	4.97e-4	-0.01	5.35e-5	-3.75e-7
	gold	51.35	-0.42	5.73e-4	-0.01	5.97e-5	-2.90e-7
	green	53.07	-0.61	8.01e-4	-0.01	5.51e-5	-4.08e-7
	no painting	54.75	-0.39	1.99e-4	-0.01	4.24e-5	-2.62e-7
	silver	55.04	-0.47	6.98e-4	-0.01	6.09e-5	-3.06e-7
	yellow	68.82	-0.75	1.17e-3	-0.01	5.46e-5	-3.53e-7

또한 차광막이 노란색인 경우에서 도출 해낸 식에 의한 계산값과 측정값을 비교한 결과 계산치와 실측치의 표준편차는 최대 +0.2, 최소 ±0.1로 나타나 신뢰도가 높음을 알 수 있었다.

4. 백열등의 설치 높이와 폭에 따른 조도특성

그림8은 인공 광원으로 100W의 백열전구를 사용할 경우 지면으로부터 백열등의 설치 높이 변화에 따른 조도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 곡선100W-0, 100W-50, 100W

-100, 100W-150, 100W-200, 100W-250, 100W-300은 각각 전조등을 설치한 바로 아래의 위치를 기준 점 0로 하여 폭 방향으로 50, 100, 150, 200, 250, 300cm 떨어진 지점의 조도를 나타낸다. 이는 전구의 종류와 폭 방향의 거리가 정해지면 백열등의 설치 높이에 따른 조도를 그래프로부터 얻을 수 있게 된다. 예를 들면 100W의 백열전구를 설치하였을 때 기준 점에서 폭 방향으로 100cm지점에서 설치 높이에 따른 조도를 구하려면 그림에서 x축의 40, 70, 100, 130, 160cm 위치에서 각각 수직선을 그어 100W-100곡선과 만나는 점의 y축 좌표를 읽은 값으로 각각 47.7lx, 53lx, 50lx, 46.5lx, 37.8lx가 된다. 한편 그림에서 광원 바로 아래 위치(100W-0)의 조도는 상대적으로 값이 크므로 오른쪽 y축의 값으로 나타내었다.

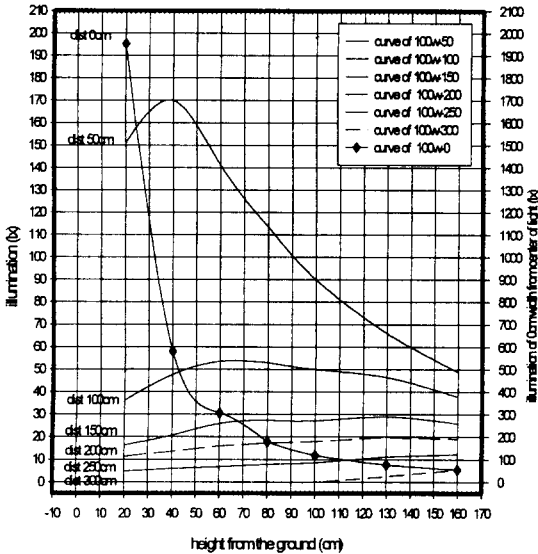


fig 8. Illumination comparison of 100W light at each height with different distance from the center of light

그림9는 인공 광원으로서 60W의 백열전구를 사용할 경우 지면으로부터 백열등의 설치 높이가 변화에 따른 조도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 곡선60W-0, 60W-50, 60W-100, 60W-150, 60W-200, 60W-250, 60W-300은 각각 전조등을 설치한 바로 아래의 위치를 기준 점 0로 하여 폭 방향으로 50, 100, 150,

200, 250, 300cm 떨어진 지점의 조도를 나타낸다. 예를 들면 60W의 백열전구를 설치하였을 때 기준 점에서 폭 방향으로 50cm지점에서 설치 높이에 따른 조도를 구하려면 그림에서 x축의 30, 60, 90, 120, 150cm 위치에서 각각 수직선을 그어 60W-50곡선과 만나는 점의 y축 좌표를 읽은 값으로 각각 62lx, 133.5lx, 45lx, 38lx, 30lx가 된다. 한편 그림에서 광원 바로 아래 위치(100W-0)의 조도는 상대적으로 값이 크므로 오른쪽 y축의 값으로 나타내었다.

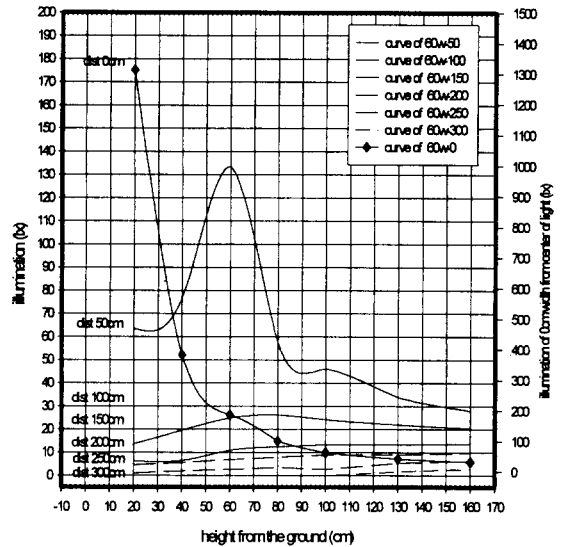


fig 9. Illumination comparison of 60W light at each height with different distance from the center of light

그림10은 인공 광원으로서 30W의 백열전구를 사용할 경우 지면으로부터 백열등의 설치 높이가 변화에 따른 조도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 곡선30W-0, 30W-50, 30W-100, 30W-150, 30W-200, 30W-250, 30W-300은 각각 전조등을 설치한 바로 아래의 위치를 기준 점 0로 하여 폭 방향으로 50, 100, 150, 200, 250, 300cm 떨어진 지점의 조도를 나타낸다. 예를 들면 30W의 백열전구를 설치하였을 때 기준 점에서 폭 방향으로 150cm 지점에서 설치 높이에 따른 조도를 구하려면 그림에서 x축의 40, 70, 100, 130, 160cm 위치에서 각각 수직선을 그어 30W-150곡선과

만나는 점의 y축 좌표를 읽은 값으로 각각 3.4lx, 5.1lx, 5.6lx, 5.8lx, 5.7lx가 된다. 한편 그림에서 광원 바로 아래 위치(100W-0)의 조도는 상대적으로 값이 크므로 오른쪽 y축의 값으로 나타내었다.

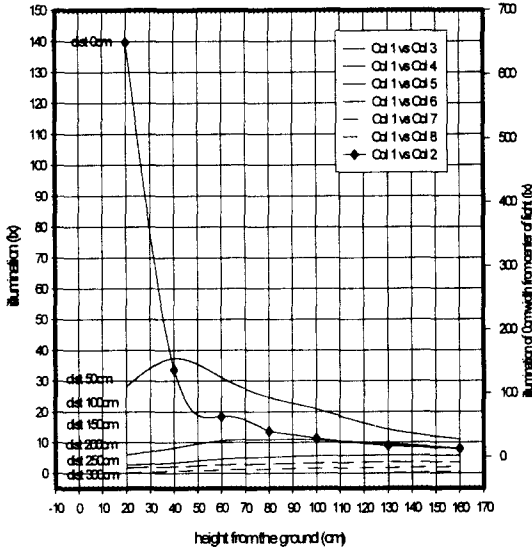


fig 10. Illumination comparison of 30W light at each height with different distance from the center of light

그림 11은 인공 광원으로 갓을 씌운 60W의 백열등을 사용할 경우 지면으로부터 백열등의 설치 높이 변화에 따른 조도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 곡선60W-0, 60W-50, 60W-100, 60W-150, 60W-200, 60W-250, 60W-300은 각각 전조등을 설치한 바로 아래의 위치를 기준 점 0로 하여 폭 방향으로 50, 100, 150, 200, 250, 300cm 떨어진 지점의 조도를 나타낸다. 예를 들면 갓을 씌운 60W의 백열등을 설치하였을 때 기준 점에서 폭 방향으로 100 cm지점에서 설치 높이에 따른 조도를 구하려면 그림에서 x축의 40, 70, 100, 130, 160cm 위치에서 각각 수직선을 그어 60W-100곡선과 만나는 점의 y축 좌표를 읽은 값으로 각각 22.2lx, 38lx, 35.2lx, 26.6lx, 21.9lx가 된다. 한편 그림에서 광원 바로 아래 위치(100W-0)의 조도는 상대적으로 값이 크므로 오른쪽 y축의 값으로 나타내었다.

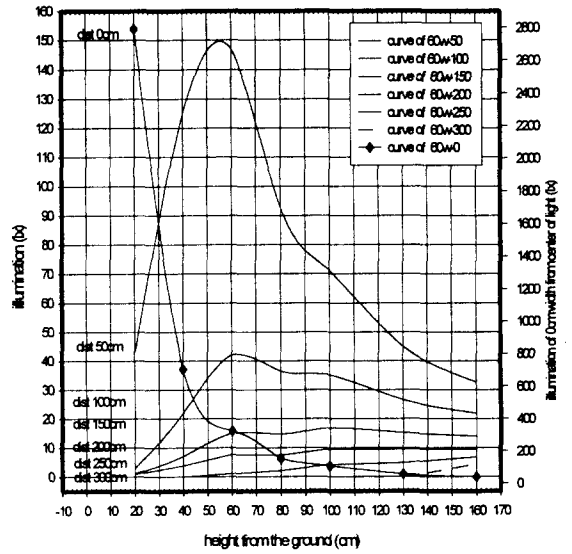


fig 11. Illumination comparison of hat-covered 60W light at each height with different distance from the center of light

IV. 요약 및 결론

농업 시설의 효율적인 인공광 설치의 표준화 확립을 위한 기초 자료를 제공할 목적으로 백열등의 종류, 설치 높이에 따른 조도 특성을 구명한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 30, 60, 100W인 백열등을 지면으로부터 80, 100, 130, 160cm높이에 설치하고 백열등을 설치한 바로 아래의 위치를 기준으로 폭 방향으로 25cm간격으로 300~350cm지점까지의 조도를 측정하여 조도 분포에 관한 일반식을 유도한 결과

$$y = \frac{a + bx + cx^2}{1 + dx + ex^2 + fx^3} \quad [lx] \text{로 나타났}$$

으며, 백열등의 종류와 설치 높이를 알면 이에 따른 상수 a, b, c, d, e, f값으로부터 폭 방향으로 각 위치별 조도를 산출할 수 있었다.

2. 지면으로부터 백열등의 설치 높이가 80, 100, 130, 160cm에 대한 백열등 바로 아래 위

- 치의 조도는 30W 백열등의 경우 각각 40lx, 28.9lx, 17.5lx, 12.6lx, 60W 백열등의 경우 각각 100.5lx, 63.2lx, 42.1lx, 32.3lx, 100W 백열등의 경우 각각 178.6lx, 118lx, 76.3lx, 54.7lx로 나타났다.
3. 갓을 씌운 60W백열등과 갓을 씌우지 않은 자연 상태 60W백열등의 조도를 비교한 결과 갓을 씌운 백열등이 최대1.2~1.5배정도 높았다. 또한 백열등의 설치 높이 변화가 조도에 영향을 미치지 않는 거리(백열등을 설치한 바로 아래의 위치로부터 폭 방향으로의 거리)는 갓을 씌운 60W백열등이 150cm로 자연 상태 60W백열등 125cm보다 길게 나타났다.
 4. 각기 다른 색상(노란색, 은색, 녹색, 금색, 흑색, 빨간색)의 차광막을 칠한 100W 백열등에 대한 조도를 분석한 결과 노란색의 차광막을 칠한 백열등의 조도는 차광막을 칠하지 않은 자연 상태 100W백열등 보다 최대 1.3배정도 높게 나타났다.
 7. 本多藤雄. 1991. 野菜栽培シリーズ 果菜の上手なつくり方. 家の光協會. 134-157
 8. 池田彰, 河相好孝. 1991. 螢光ランプを用いた人工光型野菜工場の研究. 日本農業氣象學會 1991年度全國大會. 日本生物環境調節學會 第29回集會. 合同大會. 講演要旨集. pp.144 -145
 9. 田中 逸夫. 1995. 往復移動光源下における葉菜類の生長特性. 日本農業氣象學 1995年度全國大會. 日本生物環境調節學會 第33回集會. 平成7年度農業施設 學會大會. 合同大會. 講演要旨集. pp.190-191
 10. 人科 弘重, 増井 典良, 橋木 康. 1995. 低照度下長期間の植物の生育特性に基づいた室内の植物配置デザインシステム (1)光要求度に基づいた室内緑化植物の分類表の作成. 日本農業氣象學會1995年度全國大會. 日本生物環境調節學會 第33回集會. 平成7年度 農業施設學會大會. 合同大會. 講演要旨集. pp.286-287
 11. 羽生 擴道, 庄子和博. 1995. 遠赤色光の附加照射に對するインゲンマメの慢性品種と矮性品種の反應. 日本農業氣象學會1995年度全國大會. 日本生物環境調節學會第33回集會. 平成7年度農業施設學會大會. 合同大會. 講演要旨集. pp. 192-193
 12. 安西良恒, 山崎擴義, 山ノ下眞理. 1982. 間歇光照射の植物生長への影響(1). 日本生物環境調節學會第24回集會講演要旨集. pp.36-37
 13. 日本施設園藝協會. 1998. 施設園藝ハンドブック. pp.164-173
 14. 岡本研正, 柳 智博, 藤原青人. 1995. 超高輝度青/赤發光ダイオード光源を備えた植物育成装置の開発とその光環境. 日本農業氣象學會1995年度全國大會. 日本生物環境調節學會第33回集會. 平成7年度農業施設學會大會合同大會講演要旨. pp.194-195
 15. 高木史人, 高田博充, 三船榮之助. 1991. 完全人工光型植物生産システムの開発(3) -CO₂濃度・光強度の違いとサラダ菜の生育-. 日本農業氣象學會1991年度全國大會. 日本生物環境調節學會 第29回集會合同大會講演要旨. pp.142-143

참 고 문 헌

1. Albright, L. D. 1992 *Engineering Greenhouse and Other Controlled Environment Plant Production Systems*. Cornell Agricultural and Biological Engineering Research. p. 86
2. Basinux, P. Deltour, J. 1973. *Effect of diffusion properties of greenhouse covers on light balance in the shelters*. Agric. Meteoroll 2. pp.357-372
3. Stone, E. G. 1973. *The Relation of light to greenhouse culture*. Bull. Mass. Agric. Experi. Station. No.144
4. 川里 譯. 1980. 電照方法の改善. 施設園藝の生エネルギー-新技術. pp.254-260.
5. 宇野 浩. 1982. 人工光を用いた制御環境下におけるトマトの生育. 日本生物環境調節學第24回大會講演要旨集. pp.92-93.
6. 北宅善昭, 今中常仁, 清田信, 相賀一郎. 1990. 人工光型 植物工場における光および空間の有効利用-各種野菜の逆下げ栽培の可能性-. 日本農業氣象學會1990年度全國大會. 日本生物環境調節學會 第28回集會. 合同大會. 演要旨集. pp.312-313