전조재배온실의 인공광 설치실태 및 조도 분포 조사분석
Current status of lighting method and illumination distribution in green house

이 경진* 정 원근*** 김 태한** 장 익주**
K.J.Lee W.K.Jung T.H.Kim I.J.Jang

1. 서론

온실, 식물공장등 농업시설에서는 인공광을 설치하여 작물의 생육에 적합한 광환경을 조성해 주므로서 고품질의 농산물을 생산하고 있다. 작물재배에 있어서 인공광은 크게 花性誘導나 休眠타파등 日長반응제어를 위한 전조재배와 광합성촉진을 위한 補光재배에 이용된다.

우리나라의 시설재배 농가에서는 겨울철에 하우스내에 인공광을 설치하여 작물의 생육에 적합한 환경을 조절하고 있으나 현재 사용하고 있는 인공광 시설은 과학적인 방법에 의한 것이 아니고 시설농가에서 적당히 설치함으로서 농가마다 설치 방법이 다르고 또한 이에 따라 조도분포가 균일하지 못하여 식물 개개의 생육 조건에 적합한 광환경을 조성하지 못하고 있으며 또한 에너지의 효율적인 이용이 되지 않는 등 많은 문제가 대두되고 있어 인공광시설의 .표준화가 요구되고 있으나 이에 관한 연구는 거의 찾아볼 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 인공광 설치 농가를 방문하여 인공광의 설치실태와 이에 따른 조도분포를 측정하여 농업시설의 효율적인 인광광 설치의 표준화 확립을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 현장 조사

경북 고령군 안림리의 소형 2열터널과 수막장치가 되어있는 딸기 재배온실과, 대형터널과 수막장치가 되어있는 딸기 재배온실을 대상으로 인공광 설치 형태를 조사하였다.

* 경북대학교 대학원 농업기계공학과
** 경북대학교 농업기계공학과
*** 경북대학교 교육대학원 농업교육전공

나. 측정 방법

시설재배 농가를 방문하여 전조등의 설치간격, 설치높이, 전조등의 종류 등의 설치 형태와 이에 따른 수평축(x,y축), 수직축(z축)에 관한 조도를 조도계(IM2D, Topcon, Japan)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 온실의 인공광 설치형태

전조재배농가에서 딸기 생산시 이용되는 온실형태에는 인공광 설치 형태에 따라 1열전조형식, 2열전조형식으로 구분할 수 있었으며, 수막장치외에 소형터널과 대형터널의 설치에의해 2가지형태로 구분할 수 있었다. 그림1,2,3,4는 각각의 인공광 설치형태를 나타낸 것이다.

그림1은 소형터널을 설치한 1열전조형식을 나타낸 것으로 온실의 중앙에 백열전구 (220V 100W)를 높이1.5m, 간격6m로 설치한 경우이다.

그림2는 대형터널을 설치한 1열전조형식을 나타낸 것으로 온실의 중앙에 백열전구 (220V 100W)를 높이1.5m, 간격6m로 설치한 경우이다.

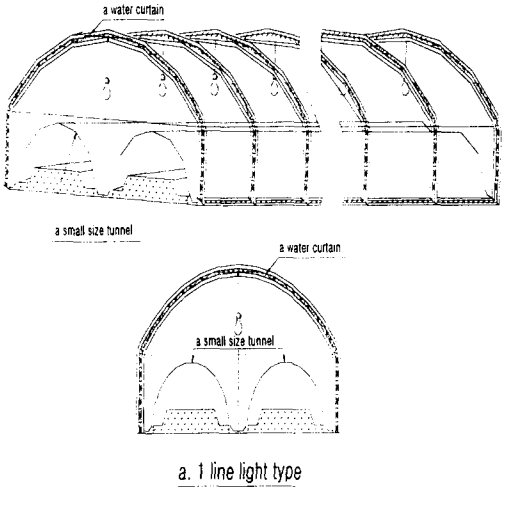

Fig.1 1 line illuminating system with a small size tunnel

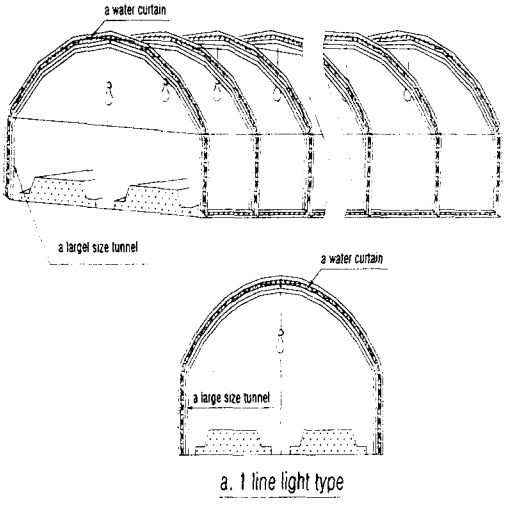

Fig.2 1 line illuminating system without a small size tunnel

그림3은 소형터널을 설치한 2열 전조형식을 나타낸 것으로서 온실의 중앙에서 가장자리 방

향으로 275cm 거리에 백열전구 (220V100W)를 높이1.5m, 간격 6m로 설치한 경우이다.

그림4는 대형터널을 설치한 2열 전조형식을 나타낸 것으로서 온실의 중앙에서 가장자리 방향으로 275cm 거리에 백열전구 (220V100W)를 높이1.5m, 간격 6m로 설치한 경우이다.

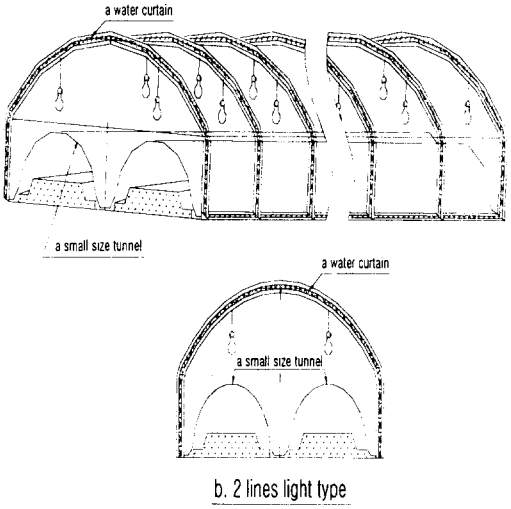

Fig.3 2 line illuminating system with a small size tunnel

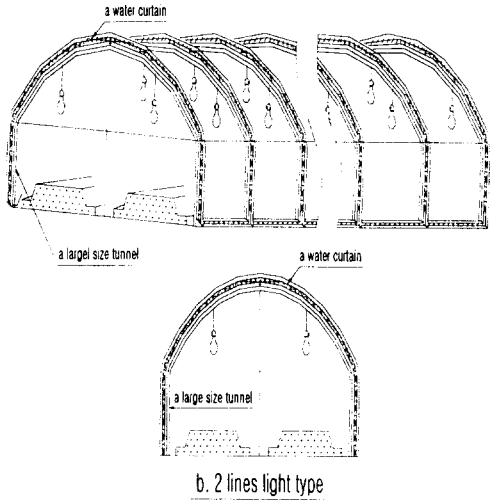

Fig.4 2 line illuminating system without a small size tunnel

2열전조 형식에서는 인공광의 배치형태를 그림5와 같이 분류할 수 있다. 그림에서와 같이 인공광을 온실 중심선을 기준으로 나란히 대칭되게 배열한 형태인 격자식 배치[Z형], 3개의 인공광이 3각형 형태를 이루어 반복 배열된 지그재그식 형태 [N형], N형의 형태에서 가장자리에 인공광을 한 개씩 보충해준 형태 [W형]로 구분될 수 있다. 실제농가에서는 Z형과 N형태를 주로 사용하고 있었다.

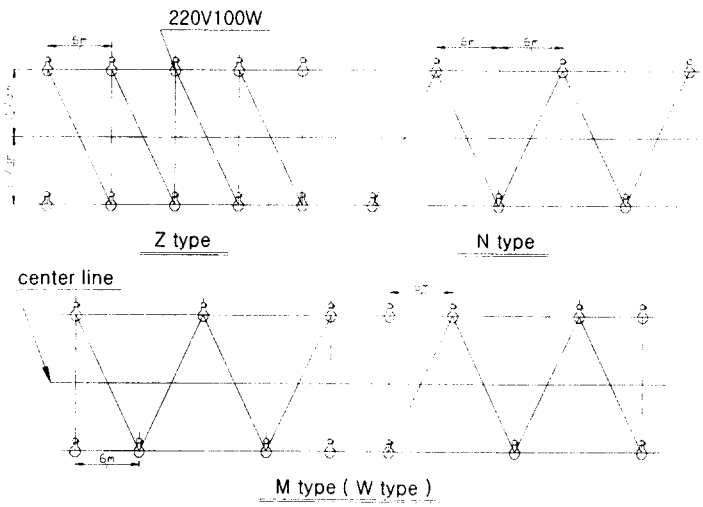

Fig.5 Schematic types of illuminating system used in the green house for a strawberry producting farmhouse

현재 조사대상 농가에서는 1열전조등 형식과 2열전조등 형식을 각각 50%씩정도 이용하고 있는 실정이었으며 1열전조등 형식의 경우에는 2열전조등 형식에서 사용되는 방법과 달리 온실 중앙에 1열로 선로를 설치하여 전구수를 2열전조등 형식으로 할 때보다 1.8~2배 정도로 전구를 조밀하게 설치하였다. 또한 대상농가를 조사한 결과 1열전조 형식의 경우는 전조등의 이동작업 및 설치,관리가 용이하며 전구 교체시 편리한 장점이 있으나 그림1과 같이 온실내 소형터널이 2열로 설치되어 있을 경우 온실 가장자리쪽(측면)까지 전조가 힘든 단점이 있다는 것을 알 수 있었다. 반면 2열전조 형식의 경우 온실의 측면까지 전조가 가능하고 비교적 균일한 전조가 가능하며 냉해로 바깥쪽 작물의 성장이 느린 점을 보완해주는 반면 온실내 일부지역의 작물이 웃자랄 경우 전조등의 위치이동작업이 불편한 점이 있었다.

소형터널대신 대형터널로 이루어진 온실에 1열전조등 형식으로 전구를 설치하면 소형터널이 있는 것에 비해 작업이 상당히 용이하고 딸기생장관리 또한 편리하나 낮시간에 일광을 시켜 활발한 광합성이 이루어지도록 대형터널을 제거해 주어야 하는 노동력면에서의 단점이 있었다. 실제농가에서도 이러한 불편함과 저온시 피해를 받지않기 위해 소형터널을 보다 선호하는 경향이 있었다. 또한 2열전조등 형식의 경우는 1열전조형식에 비해 균일전조가 가능하고 작업이 용이하나 역시 일광시 대형터널을 제거해 주어야하므로 불편함이 있었다. 온실내에서의 작업용이와 대형터널 제거작업의 불편함을 해소할 수 있는 대형터널 제거작업의 자동화로 작업효율성을 높이는 것도 중요한 향후 과제라 하겠다. 인공광의 개수가 많으면 그만큼의 광합성 유효광량자속밀도를 높일수 있지만 국부지역에 치우쳐 고른 전조가 이루어지지 않으면 온실내 작물이 고르게 성장하지 않고 일부분이 웃자라 수확시기때 문제점을 초래하게 된다. 실제 시설원예농가에서도 조도 분포가 균일한 전조법에 관심을 가지고 있었다. 동일한 면적의 온실내에서 최적의 전조를 위해선 전조등의 개수, 종류, 배열형태, 온실내에서의 위치 등이 중요한 변수가 되는 것을 알 수 있었다.

나. 인공광의 설치형태에 따른 조도분포

시설원예농가에서는 온실내의 인공광을 일정시간간격을 두고 ON/OFF하여 사용하고 있었으며, 인공광의 점멸은 온실4~6개동을 한군집체로 설정하여 일몰후부터 일출전(또는, 12시~일출전)까지 1시간에 10~15분정도씩 순환식점멸 형태로 전조를하여 전구의 과열, 전력량의 과다소모방지를 꾀함으로써 생산력증대를 유도하였다.

그림6은 2열전조형식의 온실에서 인공광의 조도분포 측정점을 나타낸 것으로서 온실의 인공광 설치선(lighting line)을 기준으로 해서 중심선(center line)방향으로 1m지점과 2.75m (또는 2.25m)지점에서 길이 방향으로 1m 간격으로 평면조도를 측정하였으며 총측정점은 21점이다.

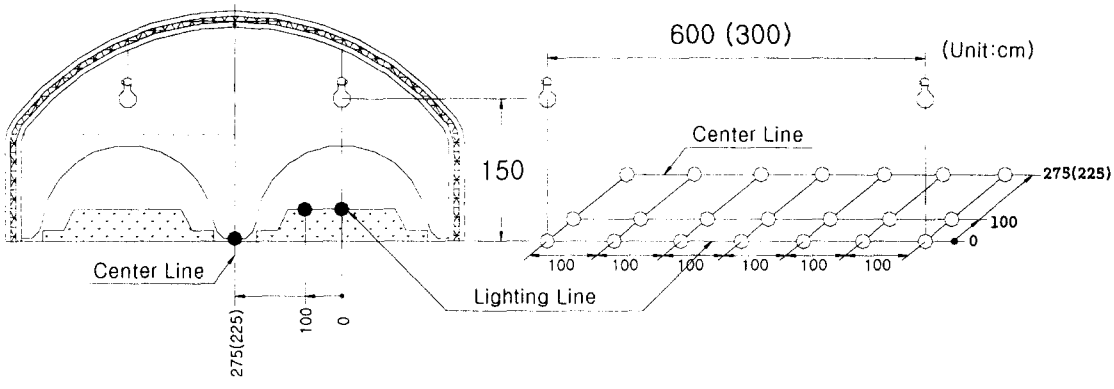

Fig.6 Schematic diagram of acquiring data from the section between lamp and lamp in the green house

그림 7은 2열전조 형식중 Z형태로 전구간격 3m, 지면에서 전구높이 1.5m로 인공광을 설치한 경우의 온실 바닥면의 조도분포를 나타낸 것이다. 본 연구에서 온실의 폭방향을 X축, 길이방향을 Y축으로 하였을 경우 온실의 폭방향 조도는 그림에서와 같이 온실에서 인공광을 설치한 위치 바로 아래 위치(0,0)의 조도는 139.5lx로서 최대이고 폭방향으로 1m 지점(1,0)의 조도는 66.7lx로서 인공광을 설치한 위치 바로 아래의 조도치의 47.8%이고, 온실 단면의 중심선인 2.25m 지점(2.25,0)의 조도는 12.3lx로서 인공광을 설치한 위치 바로 아래의 조도치의 8.8%로 나타나 조도분포가 불균일함을 알 수 있다. 또한 온실의 길이 방향의 조도는 인공광을 설치한 위치(0,0)에서 0.5m 지점(0,0.5)의 조도가 89.3lx, 1m 지점(0,1)의 조도가 70.2lx, 1.5m지점의 조도가 29.3lx로서 각각 인공광 바로 아래의 조도치의 64%, 50.3%, 21%로 급격하게 감소함을 알 수 있다. 또한 (1,0)위치의 조도치는 66.7lx, (1,1.5)위치의 조도치는 19.3lx, (2.25,0)위치의 조도치는 12.3lx, (2.25,1.5)위치의 조도치는 5.1lx로서 최소이며 인공광을 설치한 위치의 길이방향 조도분포에 비해 광원에서 멀어질수록 분포도의 균일성은 증가하였으나 여전히 조도분포가 균일하지 못함을 알 수 있다. 그리고 이와 같은 전조등 배치 상태하에서 평균조도는 46.1lx, 표준편차는 39.0lx로 나타났다. 또한 조도를 측정한

평면전체면적을 100%로 할 때 딸기 전조재배에 적합한 조도치 30~50lx(本多,1991)를 밑도는 면적이 25.9%로 나타나 인공광 설치법의 개선을 필요로 함을 알 수 있다.

그림 8은 2열전조 형식중 Z형태로 전구간격 6m, 지면에서 전구높이 1.5m로 인공광을 설치한 경우의 온실 바닥면의 조도분포를 나타낸 것이다. 온실의 폭방향 및 길이방향의 조도분포 경향은 그림7과 비슷하였다. 이와 같은 전조등 배치 상태하에서 평균조도는 33.7lx, 최고조도는 96lx, 최소조도는 4.4lx이고 표준편차는 28.3lx로 나타났다. 또한 조도를 측정한 평면전체면적을 100%로 할 때 딸기 전조재배에 적합한 조도치 30~50lx(本多,1991)를 밑도는 면적이 39.4%로 3m간격으로 전구를 배치한 그림7의 경우보다 30~50lx이하의 면적이 더 많음을 알 수 있다.

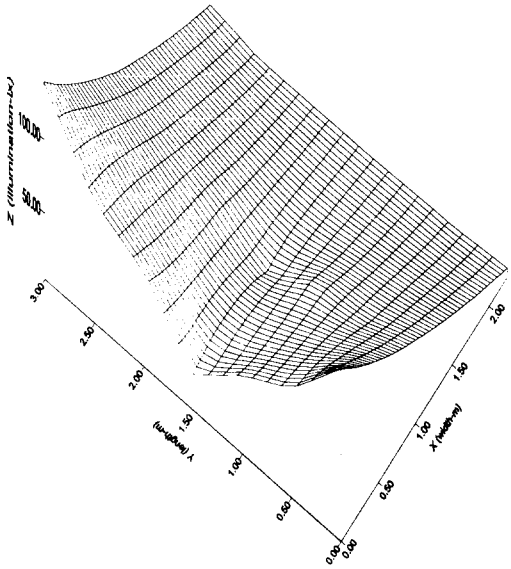

Fig.7 Distribution of illumination by 2 lines light type with a small size tunnel. (7.2m×80m green house, light gap=3m, Ztype)

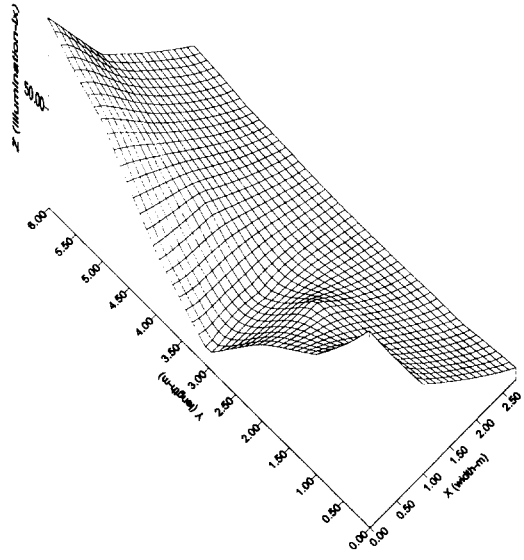

Fig.8 Distribution of illumination by 2 lines light type with a small size tunnel. (7.2m×50m green house, light gap=6m, Ztype)

그림 9는 2열전조 형식중 N형태로 전구간격 6m, 지면에서 전구높이 1.5m로 인공광을 설치한 경우의 온실 바닥면의 조도분포를 나타낸 것이다. 온실의 폭방향 및 길이방향의 조도분포 경향은 그림7과 비슷하였다. 이와 같은 전조등 배치상태하에서 평균조도는 43.1lx, 최고조도는 121lx, 최소조도는 4.7lx이고 표준편차는 35.4lx로 나타났다. 또한 조도를 측정한

평면전체면적을 100%로 할 때 딸기 전조재배에 적합한 조도치 30~50lx(本多,1991)를 밑도는 면적이 26%로 3m간격으로 전구를 배치한 그림7의 경우와 거의 비슷함을 알 수 있다.

전구간격을 6m로 일정하게 배치할 경우 Z형태의 배열이 N형태의 배열보다 전구의 개수가 2배 많음에도 불구하고 조도치는 거의 비슷하게 나타났다. 이를 구명하기 위하여 실험실내에서 220V100W전구를 간격6m, 지면에서 높이 1.5m로 Z형과 N형으로 설치하여 조도분포를 측정한 결과 Z형태의 배열과 N형태 배열의 조도치가 거의 동일하게 나타났다. 따라서 인공광의 소비전력을 절감시키기 위해서는 N형태의 배열이 더 좋을 것으로 생각된다.

그림 10은 2열전조 형식중 W형태로 전구간격 6m, 지면에서 전구높이 1.5m로 인공광을 설치한 경우의 온실 바닥면의 조도분포를 나타낸 것이다. 온실의 폭방향 및 길이방향의 조도분포 경향은 그림7과 비슷하였다. 이와 같은 전조등 배치상태하에서 평균조도는 38.3.1lx, 최고조도는 125lx, 최소조도는 4.7lx이고 표준편차는 38.3lx로 나타났다. 또한 조도를 측정한 평면전체면적을 100%로 할 때 딸기 전조재배에 적합한 조도치 30~50lx(本多,1991)를 밑도는 면적이 26.3%로 나타나 전구간격 3m의 Z형태(그림7), 전구간격 6m의 N형태(그림9)와 비슷함을 알 수 있다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 조도분포와 인공광의 전력소비 절감면에서 인공광의 배치형태는 N형태가 가장 우수함을 알 수 있다.

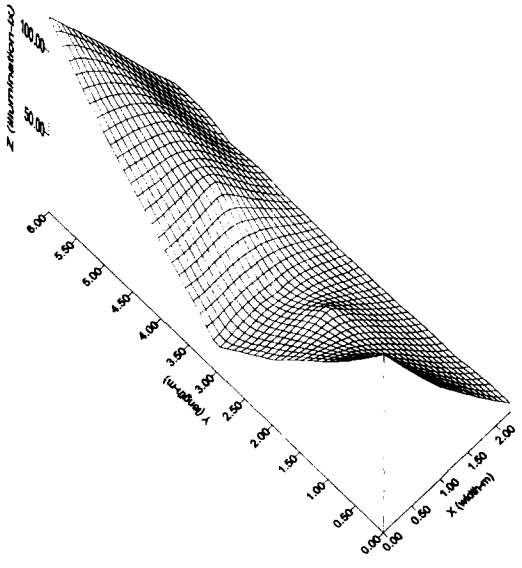

Fig.9 Distribution of illumination by 2 lines light type with a small size tunnel. (7.2m×80m green house, light gap=6m, Ntype)

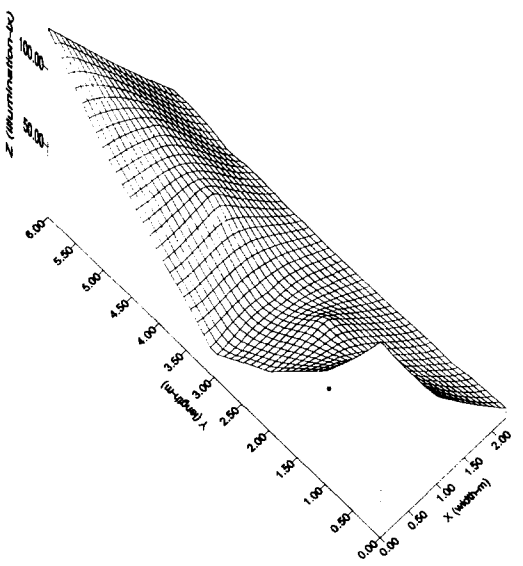

Fig.10 Distribution of illumination by 2 lines light type with a small size tunnel. (7.2m×50m green house, light gap=6m, Mtype)

4. 요약 및 결론

농업시설의 효율적인 인공광 설치의 표준화 확립을 위한 기초자료를 제공할 목적으로 인공광 설치 농가를 방문하여 인공광의 설치실태와 이에 따른 조도분포를 측정한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 조사대상 농가의 인공광설치는 1열전조형식과 2열전조형식으로 구분할 수 있었다.
2. 2열전조 형식에서는 전구의 배치형태에 의해 온실 중심선을 기준으로 대칭되게 배열한 형태인 격자식 배치[Z형], 3개의 인공광이 3각형 형태를 이루어 반복으로 배열된 형태인 지그재그식 형태[N형], N형의 형태에서 가장 자리에 인공광을 한 개씩 보충해준 형태[W형]로 구분될 수 있었다.
3. 지면으로부터 1.5m높이에 220V100W 전구를 6m간격으로 2열로 배열한 Z형태, N형태, M형태의 조도분포를 비교한 결과 평균조도는 각각 33.7lx, 43.1lx, 44.5lx이고 표준편차는 각각 28.3lx, 35.4lx, 38.3lx로 나타났다.
4. 지면으로부터 1.5m높이에 220V100W 전구를 6m간격으로 2열로 배열한 Z형태, N형태, M형태의 조도분포를 비교한 결과 적정조도치 이하의 면적이 각각 39.4%, 26.0%, 26.3%로 나타나 적정조도분포와 인공광의 소비전력 절감 면에서 N형태가 가장 우수하였다.

5. 참고문헌

1. 이석건 역, 농업환경조절공학, 도서출판 좋은사람들, pp.135-146, 1998
2. 川里 譯, 電照方法の改善,施設園藝の生エネルギ-新技術, pp.254-260, 1980
3. 宇野 浩, 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 會第24回大會講演要旨集, pp.92-93,1982
4. 古在農樹, 溫室構造の日射透過, 施設園藝の環境調節新技術, pp.169-198, 1985
5. 誠文堂神光社, 野菜の新技術と新資材, pp.91-95, 1985
6. 北宅善昭, 今中常仁, 淸田信, 相賀一郎, 人工光型 植物工場における光および空間 の有效利用 -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, 講演要旨集, pp.312-313,1990

7. 本多藤雄, 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, 1991
8. 池田彰, 河相好孝, 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.144-145,1991
9. 田中 逸夫, 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.190-191,1995
10. 岡本研正, 柳 智博, 藤原青人, 超高輝度青/赤發光ダイオド光源を備えた植 物育成装置の開發とその光環境, 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, 講演要旨集, pp.194-195,1995
11. 人科 弘重, 增井 典良, 橋木 康, 低照度下長期間の植物の生育特性に基ついた室内の植物配置デザインシステム (1)光要求度に基ついた室内綠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.286-287,1995
12. 羽生 擴道, 庄子和博, 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, 1995
13. 安西良恒, 山崎擴義, 山ノ下眞理、 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, 1982
14. 日本施設園藝協會, 施設園藝ハンドブック, pp.164-173, 1998
15. Albright, L. D., 1992 *Engineering Greenhouse and Other Controlled Environment Plant Production Systems*, Cornell Agricultural and Biological Engineering Research, p. 86
16. Stone, E. G., 1973, *The Relation of light to greenhouse culture,* Bull. Mass. Agric. Experi. Station. No. 144
17. Basinux, P. Deltour, J., 1973, *Effect of difussion properities of greeenhouse covers on light balance in the shelters,* Agric. Meteoroll 2, pp.357-372