

플라스틱 온실내 2단 재배 시스템의 생육환경분석 및 개선

김기성* · 김문기
서울대학교 농공학과

Analysis and Improvement of Growing Environment of Two Tier Cropping Systems in Plastic Film House

Kim, Kee-Sung* · Kim, Moon-Ki
Department of Agricultural Engineering, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744,
Korea

Abstract

This study aims at analyzing environment factors of two tier cropping systems and suggesting effective structures of two tier cropping systems. The environment factors in two tier cropping systems are temperature, relative humidity, solar radiation, temperature of nutrient solution, and wind velocity. Especially, The most important factors are the solar radiation and the solar incident area between the two tiers.

During the experiment, observations were made of the two levels in the plastic greenhouse. The highest temperatures were 38.3°C in the top level and, 35.5°C in the bottom level, respectively. The temperature of the nutrient solution between the two levels showed little difference. The relative humidity in the top level was 60~70% and that in the bottom 65~80%, exhibiting that the bottom is approximately 10% higher. Change of photosynthetic photon flux density and solar radiation both have a tendency to be similar. The wind velocities for both levels were recorded at $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ in the afternoon and $0.05\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ in the evening.

The solar incident areas in the bottom level increased by approximately 25% at an East-West position and 17.7% at a South-North position, respectively.

주제어 : 플라스틱 하우스, 2단 재배시스템, 생육환경, 태양광 입사면적

Key words : plastic greenhouse, two tier cropping system, growing environment, solar incident area.

*corresponding author (keesung@bioenv.snu.ac.kr)

서 언

시설재배는 많은 시설투자비와 생산비용이 요구되기 때문에 단위 면적당 수확량을 늘림으로서 생산비용 절감을 통한 보다 경쟁력 있는 상품을 생산 할 수 있다. 단위 면적당 재배면적의 효율적 활용을 위한 연구는 플라스틱 백(bag)을 이용한 수직 양액 재배시스템(Resh, 1983)과 플라스틱 상자를 수직으로 쌓고 양액을 위에서 흘리는 방식(Schwarz, 1995)이 있고, 미국 Arizona 대학에서 개발한 A Type을 개량한 일본의 TS Farm(赤木 静, 1990)이 있다. 일본의 (주)환경시스템 에서는 식물공장 내에 인공광을 이용한 2단식재배시스템을 설치하였다(高辻正基, 1997). 국내에서는 몇 곳에서 실험적인 재배가 있었으나 하단부의 광환경 문제로 널리 보급되지는 못하였다. 본 연구에서는 엽채류를 대상으로 하여 자연광을 이용한 2단 양액재배 시스템을 구성하여 상단부와 하단부의 기온, 상대습도, 일사량, 양액 온도, 실내 풍속을 비교 분석하였고 하단부의 광환경의 개선방법을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 재배 시스템 구성 및 환경 측정 방법

실험에 이용된 온실은 남북동의 아치 연동하우스(1-2W형)이다. 실험기간동안 온실내에는 차광율 50%정도의 부직포 차광망을 수평으로 설치하여, 09시~18시까지 차광을 실시하였다. 양액재배 시스템으로는 DFT방식을 사용하였다. 상단베드는 작업성을 고려하여 바닥으로부터 1m높이에 설치하였고, 하단 베드는 온실바닥으로부터 10cm의 높이에 설치하였다. 베드는 온실외벽으로부터 90cm의 간격을 유지하였고, 베드간의 간격은 작업통로를 충분히 확보하기 위해서 70cm로 하였다(Fig.1). 상·하단의 기온측정에는 0.3mm두께의

T형 열전쌍을 사용하였고, 일사량 측정에는 전천일사계(PCM-01, プリ-ト)를 사용하였다. 그리고 PPFD 측정에는 PAR센서(PAR-1, PP system)를 사용하였다. 습도는 직접 제작한 건습구온도계를 사용하였다.

열전쌍, 전천일사계, 건습구온도계, PAR 센서는 데이터 수집장치(HR2300, Yokogawa)에 연결하여 자동기록 되도록 하였고, 풍속은 열선풍속계를 직접 측정치를 읽어서 기록하였다. 외부의 환경변화를 측정하기 위해서 온실로부터 2m 떨어진 곳에 상단 베드와 동일한 높이에서 온도, 습도, 일사량, PPFD를 동시에 측정하였다.

2. 상단베드의 그림자 추적 방법

상단베드에 의한 하단베드의 그림자를 가능한 감소시키기 위하여 하단베드의 위치 결정을 위하여 태양 고도 및 방위에 의한 그림자 추적 해석방법을 적용하였다(공기조화계산법, 1992).

가. 태양고도

태양고도(h)는 식 (1)로 표시할 수 있다.

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega$$
 (1)
 여기서, φ : 위도, δ : 태양편위(Declination),
 ω : 시각.
 ω 는 진태양시의 정오를 0° 로 하고, 오전을 -, 오후를 +로 하며, 한 시간당 15° 의 비율로 시간이 각도로 환산된 사항이다. ω 는 식 (2)로 구한다.

$$\omega = (t_{AS} - 12) \times 15 = [t + (E + \frac{L - L_S}{15}) - 12] \times 15$$
 (2)
 여기서, E : 균오차, L : 경도, L_S : 표준자오선($135^\circ E$)의 경도, t_{AS} : 진태양시, t : 표준시

진태양시와 생활에서 사용되는 표준시와의 관계는 식 (3)과 같다.

$$t_{AS} = t + E + \frac{L - L_S}{15}$$
 (3)

균오차는 보통 사용하는 시계의 시간인

평균태양시와 진태양시와의 차이이며, 다음 식 (4)로 구할 수 있다.

$$E = 0.1645 \sin 2B - 0.1255 \cos B - 0.025 \sin B \quad (4)$$

여기서, B : 태양의 황경 그리고, B 는 식 (5)로 구할 수 있다.

$$B = 360 \left(\frac{n-81}{365} \right) \quad (5)$$

여기서, n : 1년을 365일로 하였을 때 구하고자 하는 날까지의 일수

나. 태양방위각

태양방위(A)는 식 (6)으로 구할 수 있다.

$$\sin A = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\cos h} \quad (6)$$

다. 베드 그림자의 추적

상단베드의 임의의 한 점 (P_u)의 그림자 (P_s)의 이동경로를 계산할 수 있으면 전체 그림자의 이동경로를 예측할 수 있다. Fig. 2와 같이 태양고도와 태양방위각을 먼저 계산한 후, 그 값으로부터 점 P_s 의 x좌표와 y좌표를 계산할 수 있다. 이와 같이 계산된 P_s 의 좌표 값으로부터 상단베드에 의한 그림자의 이동경로를 도시화하면 상단베드에 의한 그림자의 영향을 최소로 받을 수 있는 하단베드의 위치를 결정할 수 있다.

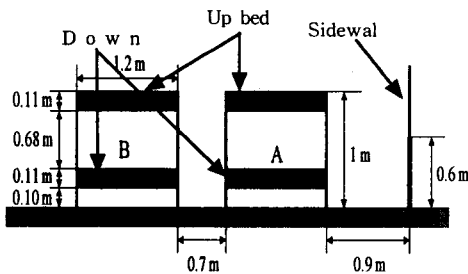


Fig. 1. Layout of the tier cropping system

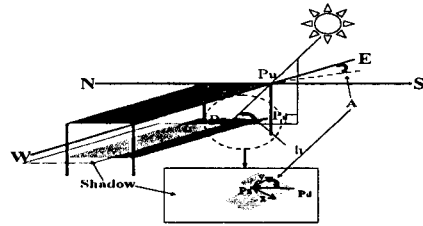


Fig. 2. Shadow of P_s by the point P_u

결과 및 고찰

1. 상·하 베드의 생육환경 분석

가. 기온변화

하단베드의 기온변화(베드로부터 20cm 높이)를 보면 20℃~34℃이다(Fig. 3)이다. 열체류의 생육적온은 15℃~20℃이며 최고한계 온도는 25℃정도이다(김 등, 1997). 상단과 하단부의 온도차는 최고 2℃였다.

나. 양액온도 변화

양액온도는 뿌리의 발육이나 양분 및 수분 흡수 그리고 양액중의 용존 산소량을 직접적으로 지배하며 최저 한계온도는 13℃이고 최고 한계온도는 25℃이다(박과 김, 1994). 14℃정도의 지하수를 이용하여 양액을 제조하여 외부의 최고기온 33.6℃를 보여도 상·하단의 양액 온도는 25℃를 넘지 않았다(Fig. 4).

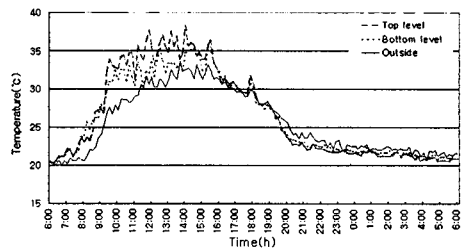


Fig. 3. Comparison of temperature between top and bottom levels

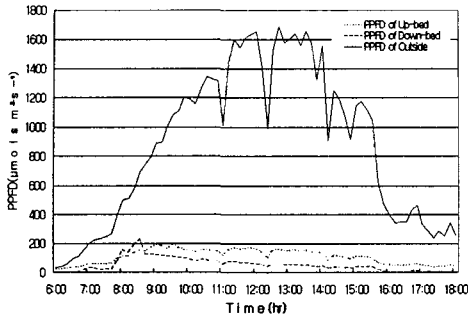


Fig. 4. Comparison of nutrient solution temperature between top level and bottom level.

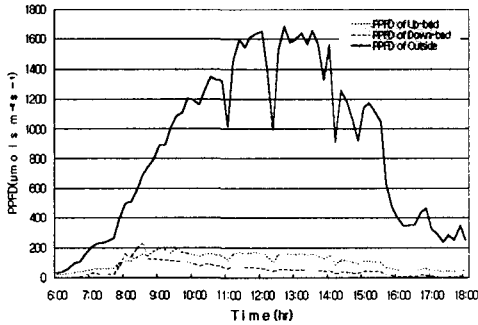


Fig. 5. Comparison of relative humidity between top and bottom levels.

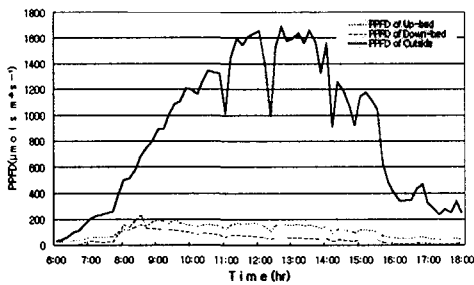


Fig. 6. Comparison of PPF D between top and bottom levels.

다. 습도 변화

공기 습도가 높으면 증산 및 광합성이 감소하는 것 외에도 병해발생이 심하게 나타난다(김 등, 1997). 하단 부근의 상대습도가 높게 나타나는 것은 온실 바닥 토양

수분의 증발이 직접 영향을 미친 것으로 판단된다(Fig. 5). 정상적인 식물 생장은 일반적으로 상대습도가 50~80%에서 일어나며 95% 이상이 되면 병원성 곰팡이류의 발생이 가능하다(최, 1989). 그러므로 환기 등을 통하여 야간의 상대습도를 10%정도 낮춰야 한다.

라. PPF D와 일사량의 변화

식물의 성장을 위해서는 하루 최소한 6~8시간 동안 $180 W \cdot m^{-2}$ 의 일사가 필요하다(최, 1989). $1 W \cdot m^{-2} \times 4.37 = 1 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 이고 $1 Lux = 1 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \times 54$ 이다. (Thimijan와 Heins, 1983). 주요 시설업채류의 광포화점은 $20 \sim 25 klux (1080 \sim 1350 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ 이고 광보상점은 $1.5 \sim 2.0 klux (81 \sim 108 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ 이다(김 등, 1997).

1) 상·하 베드의 PPF D 변화

온실 외부의 PPF D가 최고 $1689 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 일 때 상·하단베드 모두 $200 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 이하 였다(Fig. 6). 온실피복재와 차광망에 의하여 감소하고 하단의 경우 상단의 그림자에 의하여 더 감소하소 광 부족 현상이 나타난다.

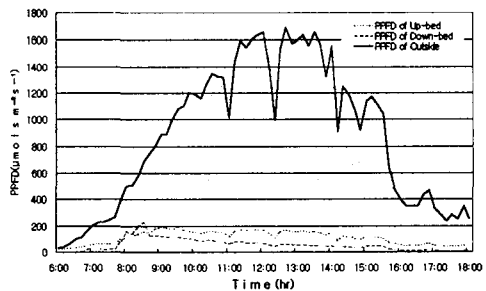


Fig. 7. Comparison of PPF D between side A and B

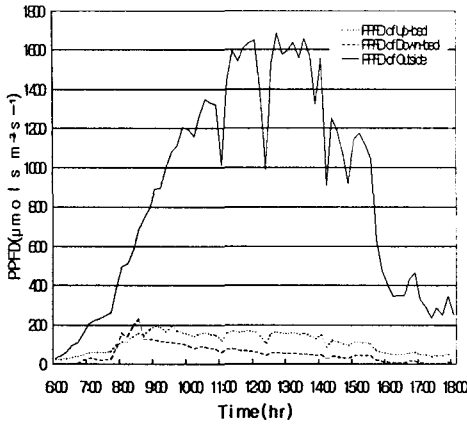


Fig. 8. Comparison of solar radiation between top and bottom levels.

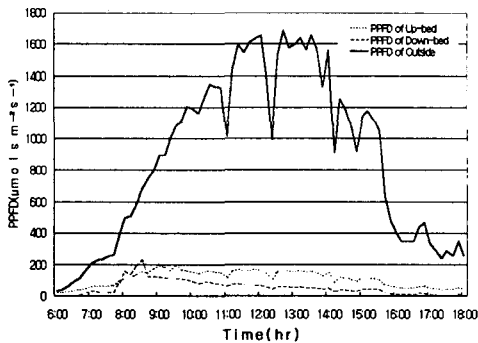


Fig. 9. Comparison of solar radiation between side A and B

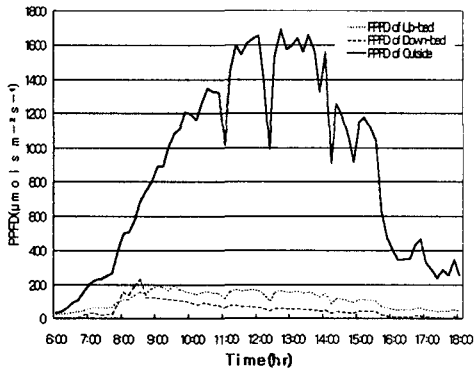


Fig. 10. Comparison of wind speed between top and bottom levels.

2) 인접베드 A와 B의 PPFD 변화

온실 측면에 가까운 A 와 B 베드를 비교하여 보면 값의 큰 차이는 없으나 오전 시간에 측장을 통한 직달광에 의해서 최고 값을 보이고 있다. 중앙에서의 변화도 크지 않을 것으로 판단된다.

3) 상 · 하 베드의 일사량 변화

상단베드는 $200 W \cdot m^{-2}$ 정도의 값을 보이거나 하단베드는 $100 W \cdot m^{-2}$ 이하의 값을 보이고 있다(Fig. 8). 상단베드에 의하여 50% 정도 감소 되는 것을 볼 수 있다.

4) 인접한 A베드와 B베드의 일사량 변화

PPFD와 마찬가지로 온실 중앙에서도 큰 차이는 보이고 있지 않다(Fig. 9).

마. 공기유동

공기 흐름은 증산, 증발 및 광합성을 위한 이산화탄소의 농도와 같은 식물 생장에 관련된 많은 인자들에 영향을 미치며 일반적으로 식물생장에 가장 알맞는 공기 속도는 $0.5 \sim 0.7 m \cdot s^{-1}$ 로 알려져 있다(최, 1989). 베드에서부터 20cm 높에서 공기 속도를 측정된 결과를 보면 주간에 $0.1 \sim 0.25 m \cdot s^{-1}$ 값을 보인다(Fig. 10). 이 값은 CO_2 흡수를 가장 용이하게 하는 값이다(최, 1989). 자연환기 만으로도 충분한 공기 속도를 유지하는 것으로 판단된다.

2. 하단베드의 태양직달광 입사면적

서울을 기준으로 1월부터 12월까지 매월 1일의 태양고도각과 방위각을 1시간단위로 계산한 후, 동서동과 남북동 온실에 Fig. 1의 베드를 설치하였다고 가정하고, 태양 직달광에 의한 입사면적을 오전 10시부터 오후 3시까지 각 시간별로 계산하여 그 면적을 백분율로 나타낸 결과가 Table 1이다. 광환경을 개선하기 위하여 상단 베드의 높이를 90~120cm까지 5cm씩 증가시켜 상단베드에 의한 그림자의 영향을 고

려하여 하단 베드를 재구성한 결과, 동서동의 경우는 Fig. 11, 남북동의 경우는 Fig. 12와 같다. 이와 같이 재구성된 하단 베드의 입사면적을 계산한 결과는 Table 2와 같다. 동서동 온실의 경우, Fig. 1과 Fig. 11로부터 하단베드 입사면적을 비교하면 Fig. 1의 A, B, C베드 보다 Fig. 11의 A베드는 28.5%, B베드는 22.9%, C베드는 21.8%의 입사면적의 증가를 보였고 평균적으로는 24.4% 증가하였다. 남북동 온실의 경우, Fig. 12에서 A베드가 39.4%의 입사면적증가를 보였고, B베드는 22.0% 증가하였다. 그러나 C의 베드는 오히려 8.1%정도 감소하였다. 왜냐하면 C의 하단 베드는 B와 C의 상단 베드의 영향을 동시에 받기 때문에 태양광 입사면적을 확보하는데 어려움이 있었다. 따라서 C의 상단 베드를 제거하고(Fig. 12의 C의 회색부분), C의 하단베드를 위치를 높여 입사면적을 다시 계산하면, 평균 입사면적비가 96.2%로 높게 나왔다. 남북동의 경우 태양이 베드의 폭 방향으로 이동하므로 정오를 기준으로 그림자의 위치가 바뀌기 때문에 입사면적을 확보하기 위해서는 Fig. 12에서 A와 B의 하단베드를 회색부분까지 이동하여야 한다.

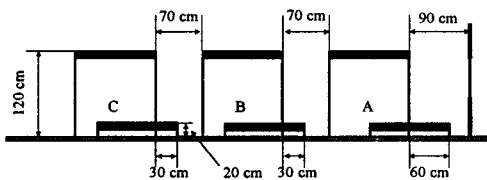


Fig. 11. Layout of the two tier cropping system reformed in East-West greenhouse.

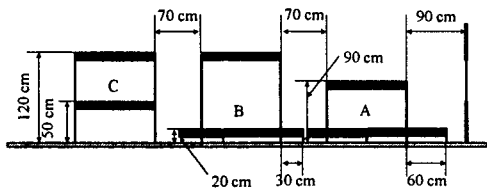


Fig. 12. Layout of the two tier cropping system reformed in South-North greenhouse.

Table 1. Ratio of incident at the bottom level

(Unit : %)

Bed Month	East-West			South-North		
	A	B	C	A	B	C
1	100	32.3	32.3	69.4	51.1	51.1
2	100	38.1	38.1	59.7	52.8	58.6
3	89.4	89.4	89.4	52.5	43.1	47.5
4	58.1	58.1	58.1	46.9	44.3	45.5
5	36.2	36.2	36.2	52.2	50.9	52.2
6	25.4	25.4	25.4	27.1	27.1	27.1
7	22.8	22.8	22.8	35.5	35.4	35.4
8	21.0	21.0	21.0	33.9	33.9	33.9
9	47.4	47.4	47.4	40.2	36.3	37.6
10	76.5	76.5	76.5	44.2	38.1	44.2
11	100	45.1	45.1	51.2	36.4	40.7
12	100	18.3	18.3	42.8	28.1	42.6
Avg.	64.7	42.5	42.5	46.3	39.7	43.0

Table 2. Ratio of incident in the reformed system

(Unit : %)

Bed Month	East-West			South-North		
	A	B	C	A	B	C
1	100	65.2	57.4	91.8	59.3	57.6
2	100	35.5	35.5	87.9	48.5	45.3
3	100	34.9	34.9	89.6	58.7	39.5
4	100	68.7	68.7	84.3	61.4	34.1
5	89.6	84.3	84.3	58.0	63.1	25.0
6	73.7	73.7	73.7	81.1	62.2	3.0
7	73.7	73.7	73.7	79.6	60.8	26.3
8	81.3	81.3	81.3	81.1	59.9	28.9
9	100	78.9	78.9	81.5	62.3	31.3
10	100	45.8	45.8	85.9	59.9	38.6
11	100	92.9	92.9	89.0	68.8	44.7
12	100	50.0	44.4	91.8	75.4	44.3
Avg.	93.2	65.4	64.3	85.7	61.7	34.9

적 요

인 용 문 헌

플라스틱온실의 생산비용 절감을 위하여 2단 재배를 시도할 때, 그 생육환경의 적정성을 검토하고자 주요 생육환경 요소인 온도, 습도, 광, 양액온도, 공기속도를 비교하였다. 특히 2단 베드의 구성과 광환경과의 관계로부터 광환경 적정화 방법을 제시하고자 하였다. 그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

상·하 베드 주요 생육환경의 측정결과를 보면, 상단베드의 최고온도는 38.3℃, 하단베드의 최고온도는 35.5℃로 나타났다. 양액 온도는 상·하단 모두 20~25℃ 범위였으며 하단의 온도가 1℃ 정도 낮은 것을 알 수 있다. 상대습도는 상·하단 모두 야간에는 95% 정도로 높게 나타났으며 주간에는 상단 60~70% 범위, 하단 65~80% 범위로 하단이 10%정도 높게 측정되었다. PPFd는 상·하 베드 모두 200 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 정도의 값을 보였고 하단의 경우는 100 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 이하의 값을 보였다. 상·하 베드 일사량을 보면 상단은 200 $W \cdot m^{-2}$ 정도이고 하단은 85 $W \cdot m^{-2}$ 이하가 측정되었다. 공기속도는 상·하 베드에서 주간에는 0.1~0.2 $m \cdot s^{-1}$ 정도가 측정되었고, 야간에는 0.05 $m \cdot s^{-1}$ 이하로서 거의 정지 상태였다.

온실방위별 하단베드의 광입사 면적을 이론적으로 해석해 보면, 동서동의 경우는 평균 49.9%이고 남북동의 경우는 평균 43%였다. 광입사 면적을 증대하기 위하여 베드를 재구성하면 동서동은 74.3%, 남북동은 60.8% 정도로 각각 25% 및 17.7% 정도의 광입사 면적의 증대효과를 가져왔다.

1. 김문기, 이석건, 정순주, 류관희, 서원명, 윤용철, 손정익, 이현우, 남상운. 1997. 원예시설의 환경설계기준 작성 연구(II). 농어촌진흥공사. p. 17-53.
2. 도서출판 한미 편집부 편역. 1992. 공기조화계산법. 도서출판 한미. p. 46-55, 103-15.
3. 박상근, 김광용. 1994. 수경재배. 오성출판사. p. 154-156.
4. 최홍립. 1989. 농업시설물의 환기. 대광문화사. p. 253-294.
5. Resh, H. M. 1983. Hydroponic food production. Woodbrige. Santa Babara. p. 335.
6. Schwarz, M. 1995. Soilless culture management. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. p. 88-91.
7. Thimijan, R. W. and R. D. Heins. 1983. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: A review of procedures for inter conversion. HortScience. 18(6) 818-822.
8. 赤木 静, 1990, TS-フア-ム, 園藝新和識. p. 39-42.
9. 高辻正基. 1997. 植物工場 핸드ブック. 東海大學出版會. p. 102-106.