

시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(3)  
-지중가온 방법에 따른 가온관수와 지중가온의 생육 효과-  
A Development of Automation system and a way to use  
Solar Energy System Efficiently in Greenhouse(3)  
- Effects of growth of soil heating and heating irrigation by  
methods of soil heating -

김진현 · 구건호\* · 김태욱

상주산업대학교 기계공학과, \*구미전문대학 원예학과

Kim, J.H · Koo, G.H · Kim, T.W

Dept. of Mach. Eng., Sangju National Polytechnic Univ., Sangju, Gyeongbuk, Korea

\*Dep. of Horticulture, Kumi College, Kumi, Gyeongbuk, Korea

## 1. 서 론

우리나라의 산업구조는 1970년 이후에 에너지 과다 소비형인 중공업, 석유화학 공업, 제철공업, 조선, 자동차 등이 집중 육성되었다. 그 결과로 지구 온난화의 주범인 CO<sub>2</sub>는 1990년~2000년 사이에 128%의 증가(세계 1위)가 예상되어 세계 2위인 스페인에 비하여 무려 5배나 CO<sub>2</sub> 발생량을 많이 배출하고 있다. 1997년 제 3차 세계기후협약 이후에 선진국들은 한국을 강력히 규제할 것으로 보여진다. 그러므로 농업분야에서도 자연에너지의 이용, 특히 태양열 에너지의 효율적인 이용에 많은 관심을 가져야 할 것으로 사료된다. 에너지 밀도가 낮은 태양열 에너지를 겨울철 시설재배에 효율적인 이용을 위하여 지중가온의 토양온도 변화에 대한 연구와 가온의 효과에 대하여 발표한 바 있다. 태양열 에너지의 이용에 대한 관건은 경제성으로 집약할 수 있으며, 이 경제성은 에너지 이용 방법의 개발 또는 개선에 좌우된다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구는 겨울철 시설재배에 태양열 에너지를 효과적으로 이용하기 위하여 생산현장에서 많이 시행하고 있는 지중 열차단을 목적으로 사용하는 가온관 하단의 스티로폼 단열의 효과와 스티로폼을 사용하지 않은 지중 가온의 효과를 비교 분석하고자 하였다.

그리고 무가온 재배의 결과와 동시에 비교하여 포장의 지중가온관의 잘못된 설치 방법을 개선하고자 하며 또한 가온관수의 효과를 구명하고자 연구를 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### (1) 실험장치

가. 시험구배치

본 시험에 이용한 온실은 무기등 단동식 3중 비닐하우스로 폭×길이×높이가 15×30×5.3m인 남북동이며 전체 시험구 넓이는 가로×세로가 26×12m 이다. 각 구마다 이랑폭을 130cm로 하고 재식거리는 60cm×40cm, 평휴 3이랑을 각각 설치하였다. 시험구는 그림 1과 같이 가온구, 단열가온구, 무가온구로 각 3구씩 모두 9구를 설치하여 재배하였다. 여기서 가온구는 지중가온관을 토양에 그대로 매설한 경우이며 단열가온구는 지중가온관의 하단에 스티로폼을 깔아 단열한 구를 말한다.

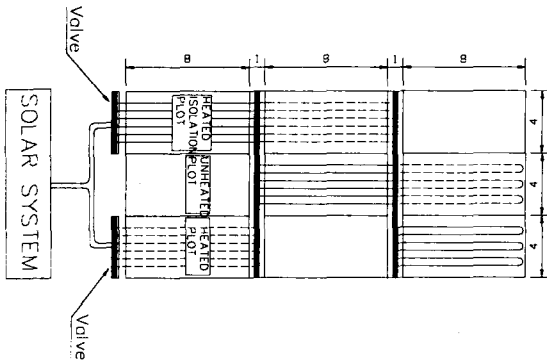


Fig. 1. The top view of the experimental field in greenhouse.

#### 나. 지중가온 파이프 매설

생물생산시설환경학회지 7권 1호의 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(II)와 동일 함

#### 다. 가온관수 방법

가온관수는 지중의 온도를 상승시켜 생육을 촉진 시키기 위한 목적과 태양에너지의 일부를 이용하여 생육효과를 높이기 위하여 가온관수 온도를 25℃로 공급하였다. 공급량은 관행적으로 관수시기에 맞추어 공급하였다. 가온관수도 일반 관수방법과 동일하게 2ℓ/hr의 점적보턴으로 공급하였다. 생육초기인 11월에는 60ℓ ~ 100ℓ 로 약 3회 공급하였고, 12월, 1월에는 200ℓ ~ 300ℓ 씩 약 3회 공급하였다.

#### 라. 태양열 시스템과 컴퓨터 계측장치

생물생산시설환경학회지 7권 1호의 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(II)와 동일 함

## (2) 실험방법

### 가. 재배방법

오이는 저지온에 대한 능력저하는 다른 작물보다 크므로 지온이 낮은 시기의 재배는 저온신장성이 높은 호박을 대목으로한 접목재배가 행하여진다. 파종을 위한 상토는 발효+부엽토+모래를 3:2:1로 섞어 사용하였으며 1~2mm 최아한 종자를 2치 포트에 파종하였다.

본 연구에서는 신토좌를 대목으로 맞접을 하여 재배하였으며, 관수 및 추비는 점적관수(2 l/hr)를 이용한 관비재배로 영양상태를 관찰하면서 추비하였다. 공시 품종은 겨울살이 청장오이를 약 30일간 육묘하여 사용하였다.

### 나. 지상부 생육계측

지중가온에 의한 지상부 생육변화를 계측하기 위하여 생육기간중 '97년 12월 12일부터 1주일 간격으로 초장, 엽수, 경경을 3회 측정하여 지상부 생육변화를 해석하였다. 표본주는 정식할 때 미리 정해두고 생육변화를 계측하였는데 가운데 구, 단열가온구, 무가온구를 각각 3구 설치하여 각 구마다 총 15주를 표본주로 하였다. 표 1은 재배방법을 나타내고 있다.

Table 1. The method of cultural practice.

Date of sowing	Date of transplanting	Distance of transplanting	Growing period	Yielding period	Amount of fertilizing(kg)
1997.10.2	1997.10.30	60×40 cm	1997.10.30 ~ 1998.1.30	1998.1.5 ~ 1997.1.30	N : 35, P : 20, K : 35 Organic fertilizing: 1000

### 다. 지상부 분석

지상부 분석을 비교하기 위하여 시료를 '98년 1월 20일 오전에 생장점을 채취하여 생체중을 측정한 후 시료를 드라이 오븐(85℃)에서 48시간 건조 시킨후 건물중을 계측하였다.

식물체 무기성분은 건물중을 조사한 시료를 다시 80℃의 건조기에서 완전히 건조시킨후 분쇄기(willey mill)로 분쇄하여 40mesh체를 통과시켜 농촌진흥청 농업기술연구소의 토양 화학 분석법에 따라 전질소는 micro-kjeldahl법으로 정량하였고, 인산, 칼리, 석회, 고토 등은 0.5g을 습식분해 ( $H_2O_2 - H_2SO_4$ 분해법)한후 인산은 Vanadate 법으로 비색 정량하였고 칼리, 석회, 고토 등은 원자 흡광 분석법 (Model : Varian spectr AA-20)으로 정량하였다.

엽록소 함량분석은 샘플링한 시료를 0.5g 채취하여 200배의 아세톤으로 희석한 다음 spectronic 21로 분석 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### (1) 가온관수의 지중가온 방법에 따른 지상부 생육비교

지상부 생육상황 계측은 12월 12일부터 1주 간격으로 각 구마다 15주, 총 45주를 계측하여 상하 큰 편차를 나타내는 4주를 제외하고, 11주의 평균값으로 하여 상온관수와 가온관수의 생육을 초장, 엽수, 경경, 엽면적별로 비교하였다. 표 2는 정식후 42일이 경과한 12월 12일부터 98년 1월 6일까지 지상부 생육비교를 나타내고 있다.

Table 2. Comparison of growth on ground part by methods of soil heating and heating irrigation

날짜		97. 12. 12	97. 12. 20	97. 12. 26	98. 1. 6	
가온구	상온관수	초장	65.5	88.1	109.1	178.7
		엽수	9.5	11.6	14.5	18.9
		경경	5.59	6.32	7.03	7.26
		엽면적	20.0×14.4	22.3×16.6	25.1×18.6	29.8×21.5
	가온관수	초장	67.2	89.7	111.4	181.4
		엽수	8.9	12.1	14.8	18.7
		경경	6.37	6.87	7.43	7.64
		엽면적	20.3×14.5	23.8×18.3	26.5×19.6	31.8×23.0
단열가온구	상온관수	초장	60	80.9	100	164.5
		엽수	8.7	11	14.1	17.7
		경경	5.98	6.29	6.51	6.82
		엽면적	18.3×13.5	21.9×16.2	26.1×18.7	31.2×22.6
	가온관수	초장	59.9	81.9	100.4	168.2
		엽수	9.1	10.6	13.5	18.2
		경경	6.67	6.96	7.22	7.46
		엽면적	18.7×14.1	22.7×17.3	27.2×20.0	32.5×23.8
무가온구	상온관수	초장	38.9	54	67.6	116.8
		엽수	7.1	8.5	10.9	14.1
		경경	5.51	5.94	6.12	6.20
		엽면적	14.9×10.5	18.7×13.6	20.9×14.9	24.2×17.1
	가온관수	초장	49	66.9	84	138
		엽수	7.7	9.8	12.2	15.7
		경경	5.87	6.24	6.42	6.51
		엽면적	16.7×12.1	20.3×15.1	22.7×16.2	25.5×18.6

관수를 가온하여 공급하였을 때 상온관수에 대한 생육 비교는 표 2와 같이 초장의 경우 가온구, 단열가온구에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 무가온구에서는 약 18% 초장이 크게 나타났다. 또한 엽수와 경경 그리고 엽면적에서도 가온구와 단열가온구에서는 미세한 차이를 보이고 있어 가온관수의 효과가 두드러지지 않았다. 무가온구에서도 큰 차이는 나타나지 않았으나 엽수와 경경에서 약 10%의 증가를 보이고 있었다. 지중가온 방법에 따른 지상부 생육 비교는 가온과 단열가온구가 무가온구에 비하여 약 20%~50%의 큰 차이를 나타내었다.

그러나 가온구와 단열가온구의 비교에서는 가온구가 단열가온구에 비하여 약 5%~10%의 생육이 뛰어나았으나 그다지 큰 차이를 보이지 않았다.

가온관수에서 무가온구의 효과가 두드러진 것은 온도상승의 효과가 크기 때문으로 생각된다. 무가온구의 생육시기에 근역의 지중온도는 14℃~15℃이므로 가온관수로 인한 일시적인 지중가온 효과가 18℃~20℃까지 상승하였기 때문으로 생각된다. 반면에 가온구와 단열가온구의 경우는 이미 지중의 온도가 생육적정 온도인 20℃~22℃로 상승되어 있어, 가온관수로 인한 온도상승의 효과는 거의 없거나 오히려 역효과도 우려된다. 따라서 가온관수는 지중가온과 동시에 재배에 이용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단되었다.

(2) 지중가온 방법에 따른 시설오이의 생육 비교

지중가온 방법에 따른 시설오이의 수확량을 97년, 98년 2년간 조사하였다. 표 3은 가온방법에 따른 시설오이의 수량을 비교하였다.

Table 3. Comparison of yields by methods of soil heating

구 분		가 온 방 법		
		가온구	단열가온구	무가온구
수 량	97.1.3~1.30	614	433	313
	98.1.5~1.22	124	92	67
무가온구 대비 가온구, 단열가온구증가율	97.1.3~1.30	196 %	138 %	100 %
	98.1.5~1.22	185 %	137 %	100 %
단열가온구 대비 가온구증가율	97.1.3~1.30	142 %	100 %	
	98.1.5~1.22	135 %	100 %	

표 3에서와 같이 97년과 98년도 시험 자료가 거의 비슷한 양상을 나타내었으며 무가온구에 비하여 단열가온구는 37%~38%가 증가하였고, 가온구는 85%~96% 증가하였다. 지중가온 방법에 따른 가온구와 무가온구의 비교에서는 가온구가 단열가온구에 비하여 35%~42% 증가하였다. 표 4는 97년과 98년도 2년간 지중가온 방법에 따른 시설오이의 표본주에서 평균과장, 평균과중, 평균과경을 나타내었다. 평균과장, 평균과중, 평균과경에서 모두 가온구가 가장 우수하였다.

Table 4. Comparison of mean length, mean weight and mean diameter of cucumber by methods of soil heating

구 분		가온구	단열가온구	무가온구
평균과장,cm	97.1.3~1.30	24.8(110 %)	23.5(104 %)	22.5(100 %)
	98.1.5~1.22	135.9 %	137.9 %	100 %
평균과중,g	97.1.3~1.30	168.1(111 %)	156.4(103 %)	151(100 %)
	98.1.5~1.22	164.2 %	160.8 %	100 %
평균과경,mm	97.1.3~1.30	33.4(101 %)	33.3(101 %)	33.3(100 %)
	98.1.5~1.22	129.6 %	129.6 %	100 %

표에서와 같이 평균과장에서 무가온구를 기준으로 가온구와 단열가온구가 97년에는 각각 10%, 4% 크게 나타나 가온구가 단열가온구에 비하여 우수하였다. 그러나 98년에는 각각 약 36%, 38%로 무가온구에 비하여 매우 길었다. 그리고 가온구와 단열가온구의 차이가 거의 없었다. 평균과중에서도 97년도에는 무가온구에 비하여 가온구와 단열가온구가 11%, 3%로 나타나 평균과중의 수치와 비슷하였으나, 98년도 시험에서는 가온구와 단열가온구 공히 60% 이상의 무게가 증가하였다. 평균과경은 97년도에는 지중가온의 효과가 두드러지지 않았다. 그러나 98년도에는 가온구와 단열가온구가 각각 30%의 크기가 증가하였다.

### (3) 지중가온 방법에 따른 생체중 및 건물중

오이재배시 적은 범위를 벗어난 지온에서는 세근의 발달이 억제되고 코르크화가 촉진되어 양수분의 흡수에 지장을 초래하며 저지온하에서 흡수장애는 수분보다 양분이 더 민감한 반응을 나타낸다. 적은범위내에서 온도가 높을수록 측근 신장이 촉진될 뿐만 아니라 무기양분 흡수는 대체적으로 일정온도까지는 지온이 높아짐에 따라 증가하며 주근 신장속도도 비례하여 증가한다. 인산의 흡수는 높은 지온하에서 많이 이루어지며 이것은 특히 근장과 뿌리털의 영향을 많이 받는다.

Table 5. Comparison of fresh weight and dry weight of cucumber by methods of soil heating(Jan.20.1998)

구분 구	생체중(gram)		건물중(gram)	
	잎	줄기	잎	줄기
가 온 구	53.7	44.0	7.4	2.6
단열가온구	51.9	41.6	6.6	2.4
무가온구	47.5	41.0	6.5	2.4

표에서와 같이 생체중과 건물중의 비교는 가온구, 단열가온구, 무가온구의 잎과 줄기를 각각 5반복하여 평균한 값으로 나타내었다. 생체중 및 건물중은 처리간 유의는 다소 낮지만 가온구>단열가온구>무가온구 순의 경향을 나타내었는데 이것은 생육기간중 가온구의 지온이 높아 뿌리발근 및 양분흡수력을 증대시켜 생육이 조장된 것으로 사료된다.

### (4) 지중가온 방법에 따른 무기성분 함량

표 6은 지중가온 방법에 따른 줄기와 잎의 무기성분함량을 각 구마다 5반복하여 평균한 값을 나타내고 있다. 줄기에서는 가온구가 질소 및 칼리의 함량만 약간 낮았을 뿐 다른 양분함량은 높았으며, 잎에서는 가온구가 칼리와 칼슘의 함량이 낮고 다른 양분함량은 처리간에 비슷하였다.

Table 6. Comparison of mineral content of cucumber by methods of soil heating (Jan.20.1998)

구분 구	줄 기						잎					
	T-N	T-P	K2O	CAO	MGO	Na2O	T-N	T-P	K2O	CAO	MGO	Na2O
가 온 구	23.2	7.0	88.9	19.7	8.4	0.9	44.1	6.9	24.7	33.0	11.5	0.8
단 열 가 온 구	28.5	6.5	103.9	16.2	8.1	0.7	47.6	6.5	30.3	40.8	11.2	0.9
무 가 온 구	26.1	6.3	107.6	15.7	7.2	1.1	46.1	6.7	31.9	43.1	9.8	0.5

이와 같이 질소의 경우 식물에 흡수되는  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  의 형태에 따라,  $\text{NO}_3^-$  의 경우는 지온이 높을 때,  $\text{NH}_4^-$  의 경우는 지온이 낮을 때 흡수가 촉진되어 본 시험의 분석방법인 전질소법으로는 가온구의 효과를 구명할 수 없었다. 칼리와 칼슘은 지온이 12℃ 정도일 때 뿌리의 생육이 억제되는 경우 현저히 흡수가 억제된다는 보고가 있지만, 본 시험 결과는 위 보고와 다른 경향을 나타내었는데 이것은 단열가온구와 무가온구의 지온도 12℃ 이상이었기 때문에 흡수가 촉진된 것으로 사료된다.

(5) 지중가온 방법에 따른 엽록소 함량 비교

표 7은 정식후 80일후의 지중가온 방법에 따른 엽록소 함량을 나타내고 있다

Table 7. Comparison of chlorophyll content of cucumber by methods of soil heating (Jan.20.1998)

구 처리	가 온 구		단 열 가 온 구		무 가 온 구	
	D652	mg/g	D652	mg/g	D652	mg/g
R1	0.341	1.98	0.317	1.84	0.375	2.17
R2	0.415	2.41	0.351	2.03	0.460	2.67
R3	0.340	1.97	0.360	2.09	0.459	2.66
R4	0.350	2.03	0.350	2.03	0.351	2.03
R5	0.300	1.74	0.465	2.70	0.305	1.77
평 균		2.318		2.026		2.26

엽록소 함량은 처리간의 통계적 유의성은 떨어졌으나 무가온구>단열가온구>가온구의 순으로 나타나 생체중과는 반대의 결과를 얻었는데 이와 같은 결과는 가온구의 생육이 좋아 전체의 엽록소 함량은 많을 수 있지만, 분석시 1g을 Sample 한 시료에서는 희석의 효과가 나타나 가온구의 엽록소 함량이 오히려 낮은 것으로 나타났다. 또한 무가온구는 생육이 억제되어 잎이 작고 짙은 녹색이 되어 엽록소 함량이 높아질 수 있다고 사료된다.

4. 요약 및 결론

태양열을 이용한 겨울철 시설오이 재배에서 가온관수와 지중가온의 효과를 구명하고자 가온관수는 25℃의 관수를 가온구와 단열가온구, 무가온구에 각각 공급하였고, 지중가온은 가온수의 온도를 28℃로 설정하여 재배기간 중 연속적으로

가온구와 단열가온구에 공급하였다. 가온관수와 지중가온은 모두 근역의 온도를 상승시켜 적정온도의 유지가 생육에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 가온구, 단열가온구, 무가온구의 지상부 생육 및 분석을 비교 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 가온관수에서 지중가온 방법에 따른 지상부 생육 비교는 가온과 단열가온구가 무가온구에 비하여 약 20%~50%의 큰 차이를 나타내었다.
2. 가온관수에서 가온구와 단열가온구의 비교에서는 그다지 큰 차이를 보이지 않았다.
3. 가온관수와 상온관수의 비교에서는 가온구와 단열가온구에서는 효과가 나타나지 않았으나 무가온구에서는 엽수와 경경에서 약 10%의 상승효과가 나타났다.
4. 지중가온으로 인한 시설오이의 수량은 무가온구에 비하여 단열가온구는 37%~38%가 증가하였고, 가온구는 85%~96% 증가하였다.
5. 평균과장, 과중, 과경에서 무가온구를 기준으로 가온구와 단열가온구가 약 15%이상 증가하였다. 그러나 가온구와 단열가온구의 차이가 거의 없었다.
6. 생체중과 건물중의 비교에서도 가온구, 단열가온구, 무가온구의 순으로 나타났다.
7. 지중가온 방법에 따른 무기성분 함량과 엽록소 함량은 뚜렷한 차이를 보이지 않았다..

#### 참고문헌

1. 김진현 외. 1998. 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(1). 생물생산시설환경학회. 제7권 1호. pp. 15-23.
2. 김진현 외. 1998. 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(2). 생물생산시설환경학회. 제7권 1호. pp. 25-33.
3. 한국태양에너지학회. 1991. 태양에너지핸드북. 태림문화사. pp. 691.
4. 三原義秋. 1980. 施設園藝の氣候管理. 誠文堂新光社. pp.95-97.
5. 이병일 외. 1993. 신제 시설원예학. 향문사. pp.89-96.
6. 古在豊樹. 1995. 新學. 朝倉書店. pp.88-89.
7. 이재욱. 1994. 온수 지중가온이 동계 시설오이의 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향. 박사학위논문. pp. 7-8.
8. 三原義秋. 1980. 溫室設計の基礎と實際. 養賢堂. pp.95-97.
9. 김문기와 13인. 1993. 新制施設園藝學. 향문사.
10. 농촌진흥청. 1995. 오이 통기성 증대 및 지중가온 실용화 기술개발.