

# 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치개발(2)

-지중가온에 의한 오이 생육 및 수량에 관한 연구-

## A Development of Automation system and a way to use Solar Energy System Eefficiently in Greenhouse

-Study on Growth and Yield of a cucumber in soil heating-

김진현 · 오중열\* · 구건호\*\* · 김태욱

상주대학교 기계공학과, \* 원예학과, \*\*구미전문대학 원예학과

Kim, J.H · Oh, J.Y · Koo, G.H · Kim, T.W

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

\*Dept. of Horticulture, Sangju National Polytechnic Univ.

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

### 1. 서 론

1973년과 1978년의 1,2차 Oil Shock로 인하여 정부는 대체에너지 개발을 입법화하여 태양열의 이용을 촉진시켜왔다. 그 후 약 20년간 태양열 이용에 대한 효과적인 집열과 축열기술의 개발에 연구가 추진되었으며, 집열판(Flat-plate collector)의 개발과 열교환기, 축열장치의 설계 등 효율향상을 통하여 건축의 난방, 온수급탕 등이 주종을 이루었다. 농업분야에서는 외국의 경우 태양열의 축열장치로서 건물의 벽과 천장을 이용하거나 지중축열 시스템의 이용이 활발하며, 스웨덴에서는 계간축열 시스템의 개발로 지하암반 동굴이나 지중암거를 축열조로 이용하는 지리학적, 지질학적 기술까지도 동원되고 있다.

우리나라에서는 태양열의 시설재배 이용에 관한 기술은 아직 초보단계에 있으며, 에너지 밀도가 낮은 태양열을 가장 효과적으로 이용하기 위한 방법 중의 한가지로 시설재배의 지중가온 기술의 개발을 들 수 있다.

따라서 동절기의 저밀도 태양열 에너지를 효과적으로 이용하기 위하여 시설재배의 근역의 환경조건에 대한 가온의 연구가 이루어져야 하며, 공급수의 온도가 효율을 결정하는 중요한 요인으로 볼 수 있다.

대부분의 시설야채는 15~20℃의 지온이 적온이며, 13℃ 이하에서는 양분흡수가 억제되고, 30℃ 이상이 되면 뿌리털의 발생이 억제되어 뿌리의 호흡이 왕성해져서 동화산물의 소모가 많아지므로 25℃가 최고 한계지온이 된다<sup>2)</sup>.

또한 지온이 낮아지면 뿌리의 신장과 활성이 위축되어 양분흡수가 억제된다.

인산은 13℃ 이하가 되면 흡수가 급격히 낮아져서 인산 결핍증이 나타나며, 칼리나 질산태 질소의 흡수는 10℃ 이하가 되면 현저히 낮아지게 되는데 이것은 질산화성균의 활동이 억제되기 때문이다<sup>4)</sup>.

이와 같이 양분흡수와 토양미생물의 활동은 낮은 지온에서 현저하게 억제되므로, 적정수준의 지온관리가 필요하다. 또 작물이 번무한 하우스내 지온은 기온에 비하여 일변동폭이 작고, 낮은 기온보다 數度 낮고 밤에는 역으로 높게 된다. 최저, 최고지온이 나타나는 시간이 기온보다 3~4시간 늦으며 작물이 성장하여 지표면에 도달하는 일사량이 감소하면 지온은 낮아진다. 근권온도를 호적값(値)으로 조절하면 겨울 저온기 혹은 여름 고온기에도 정상적인 생육결과를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구는 지온이 양분의 흡수, 광합성, 작물의 생육, 수량 및 품질에 많은 영향을 미치므로 과채류 중 저온에 비교적 민감한 반응을 보이는 오이를 공시하여, 지중가온과 무가온방법이 작물의 생육 및 수량에 미치는 영향과, 지중가온에 따른 시설내 지온의 변화를 조사하여 지중가온 재배의 효과를 구명하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### (1) 실험장치

#### 가. 시험구 배치

본 연구에 이용한 온실은 무기등 단동식 3중 비닐하우스로 남북동이며 폭×길이×높이를 15×30×5.3m로 설치하였다. 이 온실에 환기용으로 좌, 우측창과 천창을 설치하였고, 동기난방을 위하여 60,000Kcal의 온풍기와 강제환기를 위한 환기팬을 3.5m 높이에 설치하였으며 비닐(0.1mm)로 3중피복 하였다.

전체 시험구 넓이는 가로×세로가 26×12m이며 각 구마다 이랑폭을 130cm로 하여 평휴 3이랑을 설치하였으며 가온구 및 무가온구를 각각 4구씩 설치하였다.

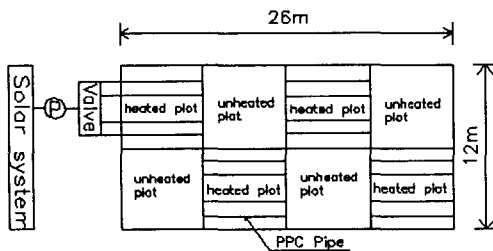


Fig. The Top View of the Experimental field in Greenhouse

나. 지중가온 파이프 매설

본 연구에서는 지중가온에 의한 온실내 지온을 계측하기 위하여 작물재배 종료 후 경운작업에 지장이 없고, 지중의 에너지 변화가 적은 깊이를 선택할 경우 저온의 순환수로 높은 효과를 얻을 수 있는 깊이를 선택하였다. 근권의 열에너지 효과만 고려하여 낮게 매설할 경우에는 주간에는 에너지 효율이 높으나 야간에는 내기온의 영향을 받아 높은 가온수의 공급이 요구될 수 있다.

따라서 지나치게 깊거나 얇지 않은 것이 바람직하며 본 연구에서는 그림과 같이 지중 40cm를 선택하였다. 지중가온용 파이프는 플라스틱 파이프(PPC)이며, 20cm 간격으로 매설한 후 태양열 시스템에 의해 가온된 온수를 28℃로 공급하였다.

가온구 및 무가온구의 지온변화를 계측하기 위하여 지중 깊이 5cm마다 센서를 설치하여 재배기간중 지온을 연속 계측하였다. 계측점은 가온구와 무가온구의 한 개의 이랑에 2조씩(8개\*2조) 3반복하여 모두 96점을 계측하였다. 반복수를 늘린 것은 장시간 계측시 발생하는 센서의 오차를 보정하기 위해서 이다.

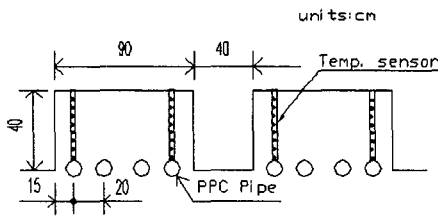


Fig. The Section View of laied Pipe for soil heating

다. 태양열 시스템

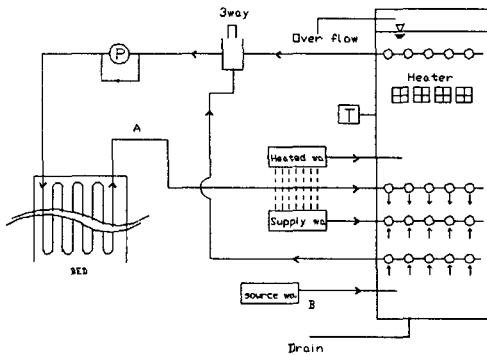


Fig. The Schematic Diagram of the Solar Energy System

## (2) 실험방법

### 가. 재배방법

상토는 발효 + 부엽토 + 모래를 3 : 2 : 1로 섞어 사용하였으며 1~2mm 최아한 종자를 2치 포트에 파종하였다. 오이는 토양전염성 병해인 만할병과 역병에 약하고 저온 및 고온의 장해를 쉽게 받아 생육이 불량해지기 쉬우므로 저항성 대목에 접목하여 재배하는 것이 안전하다.

Table The method of cultural practice.

파종시기	정식시기	재식거리	재배기간	수확기간	시비량(kg)
' 96 10. 2	11. 6	130x40cm	' 96 10. 2 ~ ' 97 1.30	' 97 1.3 ~ 1. 30	N : 35, P : 20, K : 35 유기물 : 1000

대목은 호박(흑종, 신토좌등)이 주로 이용되고 있는데, 본 연구에서는 신토좌를 대목으로 맞접을 하여 재배하였으며, 관수 및 추비는 점적관수(2ℓ/hr)를 이용한 관비재배로 영양상태를 관찰하면서 수시로 시비하였다. 공시품종은 겨울살이 청장오이를 35일간 육묘하여 사용하였으며 초장 17.2cm, 엽수 2.1매 정도였다.

### 나. 지상 및 지하부 생육계측

지중가온에 따른 생육변화를 계측하기 위하여 정식 후 2주마다 식물체를 채취하여 엽중, 줄기중, 엽병중, 과실 및 꽃중, 엽면적 등 지상부와 지하부의 근중을 생체중과 건물중을 조사하여 생육변화를 해석하였다.

엽면적은 자동엽면적계(Delta-T)를 이용하여 측정하였고, 건물중은 80℃의 항온기에서 중량변화가 없을때까지 식물체를 건조시킨 후 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### (1) 무가온 및 가온구 지온의 일변화

그림은 1996년 12월 14일 24:00시부터 12월 16일 24:00시까지 2일 동안 지중가온 시 깊이별 경과시간에 대한 지온변화를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 재배기간중 28℃의 가온수에 의한 깊이별 지온변화를 계측한 것으로 15cm이상 깊이에서는 20℃이상의 온도를 유지할 수 있어 저온수 공급에 의한 승온효과가 뚜렷이 나타났으며 15cm 깊이에서는 20~24℃정도의 온도변화로 무가온구에 비하여 4~7℃정도의 차이를 보이고 있다. 특히 하우스 내기온이 낮은 시간대인 22~09시까지의 승온효과가 가장 두드러지게 나타났다.

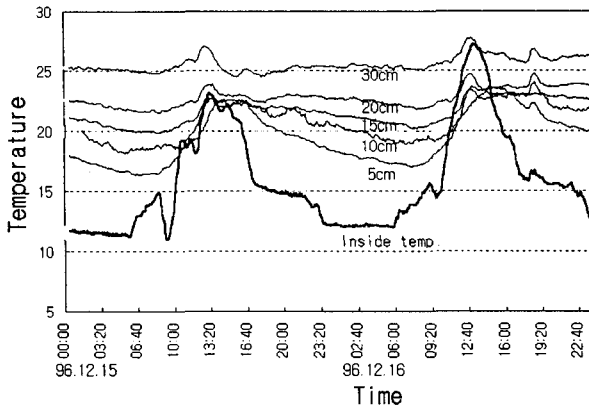


Fig. Diurnal change of soil temperature by depth as time elapsed.

따라서 본 연구에서는 오이의 최적지온인 20~22℃를 확보할 목적으로 가운데수 온도를 28℃로 설정하여 재배한 결과 지중 15cm 이상에서는 오이의 근근역을 20℃ 이상으로 유지할 수 있었다.

고온수의 공급에 의한 지중가온은 지온을 지나치게 상승시켜 뿌리발생이 억제되고 호흡이 왕성해져 작물재배 측면에서는 오히려 역효과가 나타날 수 있고 비경제적이라는 결론을 얻었다.

(2) 지상부 생육

지상부 생육상황 계측은 정식 후 2주마다 무가온구와 가온구의 작물을 10주씩 선정 채취하여 평균하였는데 그 결과는 표와 같다.

Table Growth and development comparison of above-ground part.

조사일자	구 분	초장 (cm)	엽수 (매)	과 실 및꽃중 (g)	경경 (mm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	생 체 중 (g)	건 물 중 (g)	가온구 증가율 (%)	평 균 증가율 (%)
11. 6 (정식전)	-	17.2	2.1	-	4.72	86.9	4.16	0.374		+117
11. 20	무가온구	18.3	2.5	-	5.21	163.0	7.07	0.799		
	가 온 구	19.0	2.5	-	5.33	185.4	8.36	0.816	+2	
12. 3	무가온구	23.8	3.5	0.21	5.45	418.4	15.69	1.439		
	가 온 구	30.3	5.3	0.44	5.49	1045.4	37.97	3.54	+146	
12. 17	무가온구	33.0	6.5	0.10	5.90	1392.3	53.83	4.828		
	가 온 구	53.0	10.3	2.39	6.77	3644.2	144.63	12.573	+160	
' 97 1. 15	무가온구	78.5	10.0	23.89	9.35	4802.2	234.06	23.7		
	가 온 구	122.0	11.2	69.80	10.31	10732.3	626.5	61.61	+160	

지상부 생육은 표 3에서와 같이 정식 30일 정도에서 지중가온의 효과가 뚜렷한 차이를 보였는데, 초장은 무가온구 23.8cm에 비해 가온구는 30.3cm로 약 27% 증가하였고, 엽수는 무가온구 3.5매, 가온구 5.3매로 51%의 증가율을 보였다. 경경은 무가온구에 비해 7.7%로, 건물중은 155% 증가하였으며, 엽면적은 무가온구 418.4cm<sup>2</sup>, 가온구 1045.4cm<sup>2</sup>로 약 150%의 증가율을 나타내었다. 전 조사기간 중 무가온구에 비해 가온구의 지상부 평균증가율도 117%로 오이의 지중가온 재배시 초기생육촉진 효과가 뚜렷함을 알 수 있었다.

### (3) 지하부 생육

토경재배시 지하부 근계조사법은 파괴적인 방법으로 수세법, Monolith method, Augar method 등이 있으며 비파괴적인 방법으로는 Rhizotran method, NMR method 등이 이용되고 있다. 파괴적인 방법은 어느 특정시기의 뿌리 성장을 정밀하게 관찰할 수 있는 잇점이 있는 반면 경시적인 성장관찰을 위해서는 많은 면적 또는 장치가 필요하며, 비파괴 방법은 많은 설비와 비용이 소요된다. 본 실험에서는 파괴적인 방법으로 수세법을 이용하였다.

지하부 생육은 지온이 높아짐에 따라 주근의 신장과 세근의 발생속도가 지온에 비례하여 양호하게 나타나는 것이 일반적인데 25~30℃ 정도가 되면 가느다란 잔뿌리가 많이 발생된다.

Table Growth and development comparison of under-ground part.

조사일자	구 분	최대근장 (cm)	根 생체중 (g)	根 건물중 (g)	관행구대비 가온구 증가율 (%)	평균증가율 (%)
11. 6 (정식전)	-	10.6	0.57	0.037	-	-
11. 20	무가온구	12.5	1.21	0.123	+0.9	+56
	가 온 구	14.8	1.43	0.124		
12. 3	무가온구	14.5	2.30	0.129	+55	
	가 온 구	17.0	2.79	0.200		
12. 17	무가온구	19.5	3.05	0.219	+90	
	가 온 구	26.5	5.69	0.416		
1. 97	무가온구	35.0	8.74	0.690	+70	
	가 온 구	49.5	11.79	1.220		

위의 표는 무가온구와 가온구의 지하부 생육비교를 나타낸 것인데, 최대근장은 32%, 뿌리근물중은 69% 증가하였으며 시간이 경과할수록 뿌리의 신장속도는 가온구에서 더욱 가속화되어, 주근과 측근의 신장이 무가온구에 비하여 평균 56% 증가됨을 알 수 있다.

### (4) 관행 및 가온구의 수량

수확은 일정 크기 이상되는 것만 골라서 수확하였으며, 재배기간 중 수확한 총

과수의 평균증가율은 과경은 큰 차이가 없었으나 과중은 10%, 과장은 9% 정도가 증가되었으며, 과수에서는 무가온대비 가온구의 증수율이 196%로 생육초기인 저온기에 지중가온의 효과가 뚜렷함을 알 수 있다.

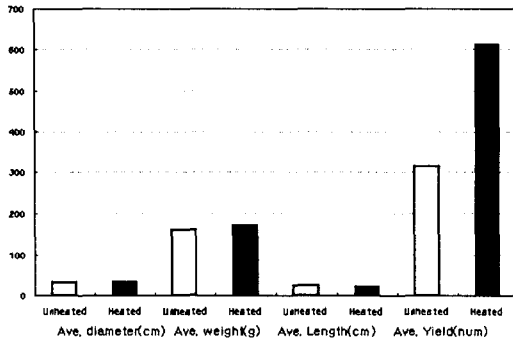


Fig. Yield comparison of the heated and unheated plots.

#### 4. 결론 및 요약

겨울철 오이 시설재배에서 태양열 시스템을 이용한 지중가온의 효과를 구명하고자 지하 40cm에 15mm PPC파이프를 130cm 이랑에 4열 매설한 후 지하 20cm의 지온을 22~23℃로 설정한 후 1996년 11월 7일부터 1997년 1월 30일까지 일정한 온도로 유지, 관리하여 무가온구와 가온구의 지상부, 지하부 및 수량을 비교시험한 결과는 다음과 같다.

1. 지중가온에 의한 지온확보는 가온구는 15~20cm에서 22℃ 정도의 평균온도를 확보할 수 있었고, 무가온구는 평균 17~18℃ 정도였다.
2. 정식 30일 정도에서 초기생육은 가온구가 초장, 경경, 엽수, 엽면적 등 모두 증가하였으며 특히 초장 27%, 엽수 51%, 엽면적은 150% 정도 증가하였다. 또 지상부 평균 증가율도 관행대비 가온구 증가율이 117% 정도였다.
3. 관행대비 가온구의 지하부 증가비율도 평균 56% 정도 증가하였다.
4. 수량면에서도 총과수가 무가온구 313개, 가온구 614개로 가온구가 196% 정도 증수되었다.

#### 참고문헌

1. 이병일 외. 1993. 신제 시설원예학. 향문사. pp.89-96.
2. 古在豊樹. 1995. 新學. 朝倉書店. pp.88-89.
3. 농촌진흥청. 1995. 오이통기성 증대 및 지중가온 실용화 기술개발.
4. 三原義秋. 1980. 溫室設計の基礎と實際. 養賢堂. pp.95-97.
5. 三原義秋. 1980. 施設園藝の氣候管理. 誠文堂新光社. pp.95-97.