

## 시설원에 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치개발(2)

-지중가온에 의한 오이 생육 및 수량성 향상에 관한 연구-

김진현 · 오중열\* · 구건효\*\* · 김태욱

상주산업대학교 기계공학과, \* 원예학과, \*\*구미전문대학 원예학과

## A Development of Automation system and a way to use Solar Energy System Efficiently in Greenhouse(2)

- Study on improvement of growth and yield of a cucumber in soil heating -

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

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

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

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

### Abstract

Root zone temperature have influenced on protected cultivation in winter season. Especially root zone temperature is acted on limiting factor in crop cultivation. This study was conducted to obtain optimum temperature of root zone in protected cultivation. Root zone was warmed by heated water(28℃) flowing through the PPC pipe(φ15) buried depth 40 cm. And the flowing water was heated by solar system. Minimum air temperature during night time was set at 14℃ and maximum air temperature during day time was set at 28~30℃, the growing period of cucumber was from Nov. 6, 1996 to Jan. 30, 1997.

The results are summarized as follows.

1. Average soil temperature at 15~20 cm depth was 22℃ at warming plots, 17~18℃ at non-warming plots

2. Early growth in leaf length, stem diameter, number of leaves and leaf area for 30 days after planting were accelerated by root zone warming. Especially, the growing rate of soil warming plots was higher 27% in leaf length, 51% in leaf number, 150% in leaf area than non-warming plots. Above-ground and underground part of warming plots was higher 117%, 56% than non-warming plots.

3. In total yield analysis, number of fruits were 614 in soil warming and 313 in non-warming plots. In the result, total yield of soil warming plots was increased with 196% than non-warming plots.

주제어 : 시설재배, 온실, 지중가온, 온도계측, 지온

Key words : Protected cultivation, Greenhouse, Soil heating, Temperature measurement, Soil temperature

## 서론

1973년과 1978년의 1.2차 Oil Shock로 인하여 정부는 대체에너지 개발을 입법화하여 태양열의 이용을 촉진시켜왔다. 그 후 약 20년간 태양열 이용에 대한 효과적인 집열과 축열 기술의 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<sup>1)</sup>.

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 겨울철 저밀도 태양열 에너지를 효과적으로 이용하기 위하여 시설재배의 근역의 환경조건에 대한 가온의 연구가 이루어져야 하며, 가온수의 적정온도 규명이 태양열 이용의 효율을 결정하는 중요한 요인이다.

시설내의 근권부 환경은 지상부 환경과의 상호작용에 의해서 노지와는 다른 경향을 나타낸다. 온실내 지온은 실외 지온보다 높은 것이 특징인데, 계속 피복된 온실내 연평균 기온은 실외 기온보다 고온이 되며, 온실내 지온도 노지 지온보다 상당히 높아진다<sup>2)</sup>.

플라스틱 하우스의 지온비교를 보면 지온의 일변화가 거의 없는 지하 70 cm의 지온을 비교해도 실외보다 온실쪽이 약 9℃ 높다. 또한 10 cm지온은 일평균치가 실내 19℃, 실외가 9℃로서 그 차이가 13℃ 정도로 이러한 고지온은 온실규모가 클수록 현저하게 나타난다<sup>3)</sup>.

근권온도의 호적범위는 작물의 종류나 재배 시기 등에 따라서 다르고, 시설내에는 저기온 혹은 고기온이 자주 문제시 된다. 그 대책으로서 근권온도를 조절하는 방법이 검토되고 저온기에 근권만을 승온하면 기온이 어느 정도 낮아도 재배가 가능하다고 알려져 있다.

대부분의 시설채소는 15~20℃의 지온이 적온이며, 13℃ 이하에서는 양분흡수가 억제되고, 30℃ 이상이 되면 뿌리의 발생이 억제되어 뿌리의 호흡이 왕성해져서 동화산물의 소모가 많아지므로 25℃가 최고 한계지온이 된다<sup>4)5)</sup>.

또한 지온이 낮아지면 뿌리의 신장광 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>6)</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 생장하여 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 자료를 얻기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험장치

#### 가. 시험구 배치

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

Fig. 1과 같이 전체 시험구 넓이는 가로×세로가 26×12 m이며 각 구마다 이랑폭을 130 cm로 하여 평휴 3이랑을 설치하였으며

가온구 및 무가온구를 각각 4구씩 설치하였다.

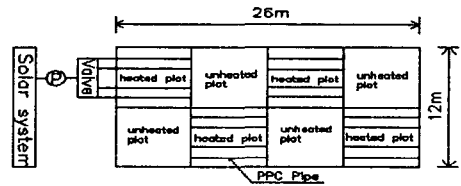


Fig. 1. The top view of the experimental field in greenhouse.

#### 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 얕지 않은 것이 바람직하며, 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 지중 40 cm를 선택하였다. 지중가온용 파이프는 플라스틱 파이프(PPC)이며, 20 cm 간격으로 매설한 후 태양열 시스템에 의해 가온된 온수를 28℃로 공급하였다.

가온구 및 무가온구의 지온변화를 계측하기 위하여 지중 깊이 5 cm마다 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.

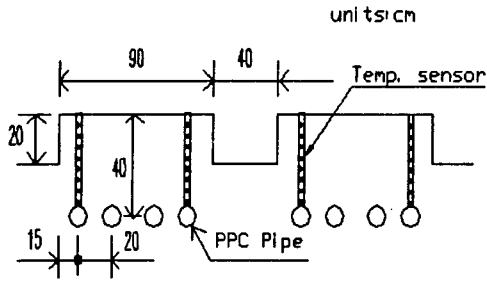


Fig. 2. The section view of laied pipe for soil heating.

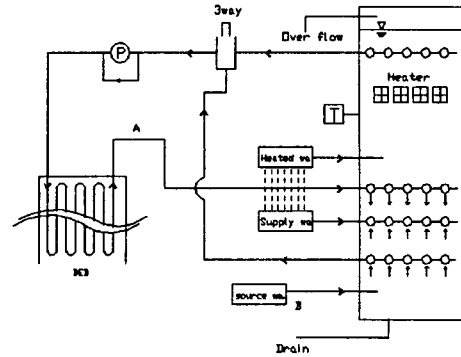


Fig. 3. The schematic diagram of the solar energy system.

다. 태양열 시스템

지중가온을 위하여 설치한 태양열 시스템은 Table 1과 같다. 집열판의 설치각도는 일반적으로 30° ~ 45°, 설치방향은 남동 20° 에서 남서 30° 가 적당하지만, 본 실험에서는 식물의 광합성작용 활발한 오전에 높은 집열효과를 얻기 위하여 40° 와 남동 20° 로 하였다.

라. 컴퓨터 계측장치

순환수 파이프 주변의 지온계측은 128 Points까지 계측할 수 있으며, 컴퓨터계측시스템은 Fig. 4와 같다.

Table 1. The specification of the solar energy system.

Collector				Transfer material	Heat exchanger	Thermal tank	Auxiliary heater
Collector material	Type	Size(mm)	Direction and angle				
Aluminum, select suction membrane	Hydraulic, Flat-plate type	1126×2225×77	South-east 20° - 40°	Alcohol, water	Fin-Tube type, copper	Open type FRP(2000 l)	Electric

집열판은 모두 12장을 사용하였으며 단위 축열판의 상부에 열교환기가 부착되어 있다.

열교환기의 전열매체로는 알콜을 사용하고 축열조의 전열매체로는 물을 사용하였다. 지중가온을 목적으로 순환수는 주펌프와 보조펌프, 온도의 조절과 설정에는 3-Way 밸브를 설치하였다. Fig. 3은 태양열 시스템의 개략도를 나타내고 있다.

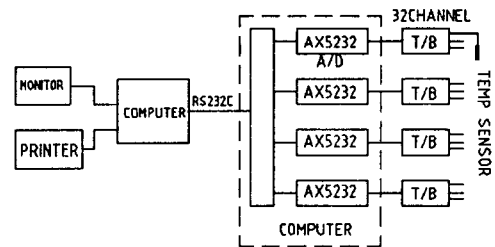


Fig. 4. Computer system for temperature measurement of 128 points.

그림에서와 같이 온도계측용 인터페이스 (AX5232, AXIOM) 4장을 12-Slot용 산업용 컴퓨터(AX6150A, AXIOM)에 설치하고 RS232C를 통하여 시스템 컴퓨터에 입력되도록 하였다.

AX5232는 32 Ch의 온도와 전압을 계측할 수 있으며, Board상에서 영점보상(Cold junction compansation)과 12 bit의 분해능, Sample비 100 MHz의 성능을 가지고 있다. 그리고 계측을 위한 프로그램은 SCADA 방식의 Wizcon 5(PCSOFT 사)를 사용하였다.

그리고 시스템 전체의 관리와 온도변화를 측정 및 기록하는 스테이션은 586컴퓨터를 사용하였으며, T-type 열전대로 측정된 자료를 AX5232 컨버터를 통하여 산업용 컴퓨터(MODICON)에서 일시 기억후 RS-232C 직열 통신케이블을 통하여 시스템 콘트롤 스테이션에 실시간(Real time) 기록되도록 하였다.

2. 실험방법

가. 재배방법

상토는 발흙 + 부엽토 + 모래를 3 : 2 : 1로 섞어 사용하였으며 1~2 mm 최아한 종자를 2치 포트에 파종하였다.

Table 2. The method of cultural practice.

Date of sowing	Date of transplanting	Distance of transplanting	Grawing period	Yielding period	Amount of fertilizing(kg)
1996.10.2	1996.11.6	130×40 cm	1996.10.2 ~ 1997.1.30	1997.1.3 ~ 1997.1.30	N : 35, P : 20, K : 35 Organic fertilizing: 1000

본 연구에서는 신토좌를 대목으로 맞접을 하여 재배하였으며, 관수 및 추비는 점적관수 (2 l/hr)를 이용한 관비재배로 영양상태를 관

찰하면서 수시로 시비하였다. 공시품종은 겨울살이 청장오이를 35일간 육묘하여 사용하였으며 초장 17.2 cm, 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.

결과 및 고찰

1. 무가온 및 가온구 지온의 일변화

Fig. 5는 1996년 12월 14일 24:00시부터 12월 16일 24:00시까지 2일 동안 지중가온시 깊이별 경과시간에 대한 지온변화를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 재배기간중 28℃의 가온수에 의한 깊이별 지온변화를 계측한 것으로 15 cm이상 깊이에서는 20℃이상의 온도를 유

지할 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 오후 10시에서 다음날 아침 9시 까지의 승온효과가 가장 두드러지게 나타났다.

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

고온수의 공급에 의한 지중가온은 지온을 지나치게 상승시켜 뿌리발생이 억제되고 호흡이 왕성해져 작물재배 측면에서는 오히려 역효과가 나타날 수 있는 것으로 판단되었다.

## 2. 지상부 생육

지상부 생육상황 계측은 정식 후 2주마다 무가온구와 가온구의 작물을 10주씩 선정 채취하여 평균하였는데 그 결과는 Table 3과 같다.

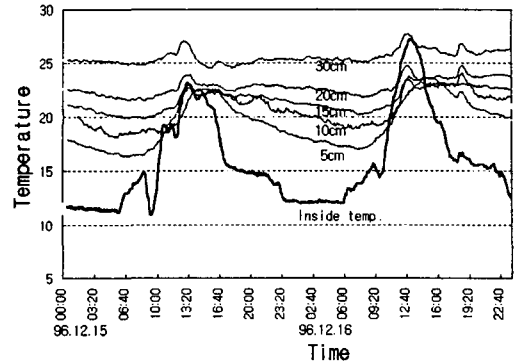


Fig. 5. Relation between soil temperature and elapsed time by the soil depth.

지상부 생육은 Table 3에서와 같이 정식 30일 정도에서 지중가온의 효과가 뚜렷한 차이를 보였는데, 초장은 무가온구 23.8 cm에 비해 가온구는 30.3 cm로 약 27% 증가하였고,

Table 3. Growth and development comparison of above-ground part.

Treatments		Leaf length (cm)	No. of Leaf	Fresh weight (g)	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Weight (g)	Dry weight (g)	Increasing rate of warming plots (%)	Increasing rate of average (%)
11. 6 (Before transplating)	-	17.2	2.1	-	4.72	86.9	4.16	0.374		+117
11. 20	non-warming plots	18.3	2.5	-	5.21	163.0	7.07	0.799		
	warming plots	19.0	2.5	-	5.33	185.4	8.36	0.816	+2	
12. 3	non-warming plots	23.8	3.5	0.21	5.45	418.4	15.69	1.439		
	warming plots	30.3	5.3	0.44	5.49	1045.4	37.97	3.54	+146	
12. 17	non-warming plots	33.0	6.5	0.10	5.90	1392.3	53.83	4.828		
	warming plots	53.0	10.3	2.39	6.77	3644.2	144.63	12.573	+160	
1997. 1. 15	non-warming plots	78.5	10.0	23.89	9.35	4802.2	234.06	23.7		
	warming plots	122.0	11.2	69.80	10.31	10732.3	626.5	61.61	+160	

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 1045.4 cm<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. 정식후부터 무가온구와 가온구의 생육 차가 나기 시작하여 시간이 경과할수록 그 차이가 뚜렷하였다. 무가온구는 가온구에 비해 정식후 약 한달까지는 생육의 변화가 완만하였다. 특히 엽면적과 건물중은 무가온구에 비해 2배 이상 증가함을 보여주고 있다.

는 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.

따라서 동계 시설오이 재배시 정식초기의 활착기간 중에는 하우스내 기온상승을 위한 난방 뿐 만 아니라 활착시의 터널내 기온확보를 위하여 지중가온 필요성이 있다고 판단된다.

Table 4. Growth and development comparison of under-ground part.

Treatments		Max. of leaf length (cm)	Weight of stem (g)	Dry Weight of stem (g)	Increasing rate of warming plots per non-warming plots (%)	Increasing rate of average (%)
11. 6 (Before transplanting)	-	10.6	0.57	0.037	-	-
11. 20	non-warming plots	12.5	1.21	0.123		+56
	warming plots	14.8	1.43	0.124	+0.9	
12. 3	non-warming plots	14.5	2.30	0.129		
	warming plots	17.0	2.79	0.200	+55	
12. 17	non-warming plots	19.5	3.05	0.219		
	warming plots	26.5	5.69	0.416	+90	
1997. 1. 15	non-warming plots	35.0	8.74	0.690		
	warming plots	49.5	11.79	1.220	+70	

### 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 있

Table 4는 무가온구와 가온구의 지하부 생육비교를 나타낸 것인데, 최대근장은 32%, 뿌리건물중은 69% 증가하였으며 시간이 경과할수록 뿌리의 신장속도는 가온구에서 더욱 가속화되어, 주근과 측근의 신장이 무가온구에 비하여 평균 56% 증가됨을 알 수 있다.

활착후부터는 지중가온구의 최대근장과 뿌리 건물중의 차이가 현저함을 나타내고 있다.

4. 무가온구 및 가온구의 수량성

Table 5는 무가온구와 가온구의 총수량과 수확한 오이의 과경, 과중 및 과장을 평균하여 나타낸 것이다.

Table 5. Yield comparison of the heated and unheated plots(1997. 1.3~1.30).

Data	Treatments	Fruit Diameter of Ave. (mm)	Fruit Weight of Ave. (g)	Fruit Length of Ave. (cm)	No.of Fruit	Remark
1997 1. 3	non-warming plots	29.6	102	21.8	5	Non-warming plots : 313(100) Warming Plots : 614(196)
	warming plots	30.5	120	23.7	72	
1. 11	non-warming plots				0	
	warming plots	34.0	176	25.8	15	
1. 14	non-warming plots	36.6	181	22.1	25	
	warming plots	34.3	176	24.1	48	
1. 21	non-warming plots	33.0	154	21.7	131	
	warming plots	35.3	190	25.0	217	
1. 30	non-warming plots	32.9	167	24.4	152	
	warming plots	32.9	178	25.3	262	

\*Remark : total fruit and increasing rate of warming plots (%)

수확은 일정 크기 이상되는 것만 골라서 수확하였으며, 재배기간 중 수확한 총과수의 평균 증가율은 과경은 큰 차이가 없었으나 과중은 10%, 과장은 9% 정도가 증가되었으며, 과수에서는 무가온대비 가온구의 증수율이 196%로 생육초기인 저온기에 지중가온의 효과가 뚜렷함을 알 수 있다.

최초수확 시기인 1월 3일 수량도 무가온구 5개, 가온구 72개로 지중가온을 함으로써 초기 생육을 촉진시켜 수확일수 단축 및 조기 다량 수확이 가능하였으며, 1월 11일 무가온구 자료가 없는 것은 수확이 없었기 때문이다.

따라서 겨울철 시설재배에서 지중가온을 함으로써 양수분 흡수의 증가로 조기수량 및 총수량을 증가시켜 지중가온 재배효과가 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나 지중가온의 실용화

를 위해서는 생육단계별 지온조절, 관비시험, 재식거리 등의 연구도 병행되어야 할 것으로 생각된다.

적 요

겨울철 오이 시설재배에서 태양열 시스템을 이용한 지중가온의 효과를 구명하고자 지중 40 cm에 15 mm의 PPC파이프를 130 cm이랑에 4열 매설한 후 지중 20 cm의 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 15~20 cm에서 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) 가온구의 지하부 뿌리의 생장성이 관행구에 비하여 평균 56% 정도 증가하였다.

4) 과수의 수량면에서도 총과수가 무가온구 313개, 가온구 614개로 가온구가 196% 정도 증수되었다.

인용문헌

1. 한국태양에너지학회. 1991. 태양에너지핸드북. 태림문화사. pp. 691.
2. 三原義秋. 1980. 施設園藝の氣候管理. 誠文堂新光社. pp.95-97.
3. 이병일 외. 1993. 신제 시설원예학. 향문사. pp.89-96.
4. 古在豊樹. 1995. 新學. 朝倉書店. pp.88-89.



5. 이재욱. 1994. 온수 지중가온이 동계 시설오이의 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향. 박사학위논문. pp. 7-8.
6. 三原義秋. 1980. 溫室設計の 基礎と實際. 養賢堂. pp.95-97.
7. 김문기의 13인. 1993. 新制施設園藝學. 향문사.
8. 농촌진흥청. 1995. 오이 통기성 증대 및 지중가온 실용화 기술개발.

