

## 태양열 시스템을 이용한 가온관수와 지중가온 방법에 의한 오이의 생육 연구(3)<sup>1)</sup>

김진현\* · 구건호<sup>1</sup> · 김태욱  
상주대학교 기계공학과, <sup>1</sup>구미1대학 시설원예과

### **A Study on the cucumber growth by soil warming and warmed water irrigation using solar energy system(3)**

Kim, J.H\* · Koo, G.H<sup>1</sup> · Kim, T.W

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

<sup>1</sup>Dep. of Protected Horticulture, Kumi College, Kumi, Gyeongbuk, Korea

### **Abstract**

This study was carried out to estimate the warmed water irrigation and the warmed soil efficiency on protected cultivation of cucumber in winter season. The water of 2 8°C was continuously supplied for soil warming and that is 25°C for warmed water irrigation. Cucumber growth was analyzed when the soil kept up the optimum temperature in the root zone. The cucumber growth are compared with the warmed soil plots, isolated warmed soil plots and non-warmed soil plots. The cucumber growth in warmed soil plots and isolated warmed soil plots were 20~50% higher than non-warmed soil plots compare to that by the warmed irrigation. In the non-warmed soil plots, the stem diameter and the number of leaves in the warmed water irrigation plots are 10% higher than those in the normal water irrigation plots. The yields in isolated warmed soil plots were 37~38% higher than non-warmed soil plots and those in warmed soil plots were 85~96% higher than non-warmed soil plots. The fruit length, weight and diameter in warmed soil plots were 15% higher than those in the non-warmed plots.

---

주제어 : 시설재배, 온실지중가온, 온도계측, 지온

Key words : protected cultivation, greenhouse, soil warming, temperature measurement, soil temperature

\*Corresponding author <sup>1)</sup>본 연구는 농촌진흥청 특정과제연구비의 지원으로 수행되었음.

서 론

실험장치 및 방법

높은 에너지 수입으로부터의 해방과 지구환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 보다 적극적인 해결방법으로써 태양열 에너지 이용을 확대하여야 한다. 뿐만 아니라, 농업분야에서도 자연에너지의 이용, 특히 태양열 에너지의 효율적인 이용에 대하여 최근 많은 관심을 가지게 되었다. 에너지 밀도가 낮은 태양열 에너지를 겨울철 시설재배에 효율적인 이용을 위하여 지중가온에 의한 토양온도 변화에 대한 연구와 가온의 효과에 대하여 발표한 바 있다(김 등, 1998a, 1998b). 김 등은 지중가온의 효과를 높이기 위하여 낮은 온도로 지속적으로 공급하는 방식을 제시하였고, 28℃를 최적으로 한다고 하였다. 또한 28℃를 공급한 경우 지중 15~20cm의 온도가 무가온 토양에 비하여 4~7℃ 상승한다고 하였다. 지중가온의 효과는 매설관 부근의 토양이 건조하게 되면 열전도가 저하하기 때문에 적절한 관수가 바람직하며(이 등, 1997), 시설채소는 지온이 13℃이하에서는 양분흡수가 억제되고 30℃이상이면 뿌리의 발생이 억제되어 뿌리의 호흡이 왕성해져서 동화산물의 소모가 많아지므로 25℃가 최고 한계 지온이 된다(이, 1994; 古在, 1995)고 하였다. 그러나 농가에서는 지중가온에 관한 기초적인 자료가 부족한 상태에서 지중온도 설정을 높게 하거나 지중가온을 위한 파이프 매설방법을 각기 달리함으로써 에너지의 과소모 뿐만 아니라 수확량도 격감하는 일이 빈번히 발생되고 있다.

본 연구는 겨울철 시설재배에 태양열 에너지를 효과적으로 이용하기 위하여 지중가온 방법의 개선과 가온관수의 효과, 그리고 이에 따른 생육비교를 목적으로 하였다. 또한 생산현장에서 많이 설치하고 있는 가온관 하단의 스티로폼 단열의 효과와 스티로폼을 사용하지 않은 지중가온의 효과를 무가온 상태와 비교 분석하였다.

1. 실험장치

가. 시험구배치

본 시험에 이용한 온실은 무기동 단동식 3중 비닐하우스로 폭 15m×길이 30m×높이 5.3m 인 남북동이며, 전체 시험구 넓이는 가로 26m×세로12m 이다. 각 구마다 이랑 폭을 130cm로 하고 재식거리는 60cm×40cm, 평휴 3이랑을 각각 설치하였다. 시험구는 Fig. 1과 같이 가온구, 단열가온구, 무가온구로 각 3구씩 모두 9구를 설치하여 재배하였다. 여기서 가온구는 지중가온관을 토양에 매설한 경우이며 단열가온구는 지중가온관의 하단에 스티로폼을 깔아 단열한 구를 의미한다.

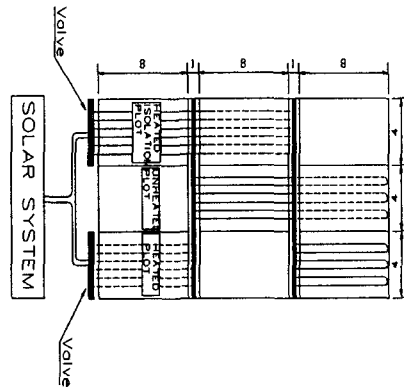


Fig. 1. Top view of the experimerental field in greenhouse.

나. 가온관수 방법

가온관수는 지온을 상승시켜 생육을 촉진시키기 위한 목적과 태양에너지의 일부를 이용하여 생육효과를 높이기 위하여 최고 한계지온인 25℃를 기준으로 가온수의 온도를 25℃로 설정하였다(김 등, 1998). 공급량은 관행적으로 관수시기에 맞추어 공급하였다. 가온관수도 일반 관수방법과 동일하게 2 l/h의 점적보전으로 공급하였다. 생육초기인 11월에는 60 l ~100 l 로 1

일 3회 정도 공급하였고, 12월, 1월에는 200 l ~ 300 l 씩 1일 3회 정도 공급하였다.

다. 태양열 시스템과 컴퓨터 계측장치 가온관 파이프 주변의 지온계측, 태양열 시스템 및 하우스 주변온도는 128점까지 계측할 수 있으며, 지중가온을 위한 태양열 시스템은 Fig. 2와 같다.

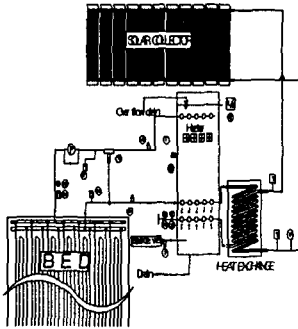


Fig. 2. Schematic diagram of solar energy system.

## 2. 실험방법

### 가. 재배방법

오이는 낮은 지온에 대한 내성이 다른 작물보다 작으므로, 지온이 낮은 시기에는 저온신장성이 높은 호박을 대목으로 접목한 오이를 재배하는 것이 일반적이다. 파종을 위한 상토는 발효+부엽토+모래를 3:2:1로 섞어 사용하였으며 1~2mm정도 발아한 종자를 지름 6cm 포트에 파종하였다.

본 연구에서는 신토좌를 대목으로 맞접을 하여 재배하였으며, 관수 및 추비는 점적관수(2 l/h)를 이용한 관비재배로 영양상태를 관찰하면서 추비하였다. 공시품종은 겨울살이 청장오이를 약 30일간 육묘하여 사용하였으며 재배방법은 Table 1과 같다.

Table 1. Method of cultural practice

Date of sowing	Date of seedling	Distance of seedling	Growing period	Yielding period	Amount of fertilizer(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 fertilizer : 1,000

### 나. 생육계측과 분석

지중가온에 의한 생육변화를 계측하기 위하여 생육기간중인 1997년 12월 12일부터 1주일 간격으로 초장, 엽수, 경경을 3회 측정하여 생육변화를 분석하였다. 표본주는 정식할 때 미리 정하여 생육변화를 계측하였으며 가온구, 단열가온구 및 무가온구를 각각 3구 설치하여 각 구마다 총 15주를 표본주로 하였다.

생육변화 분석을 비교하기 위하여 시료를 '98년 1월 20일 오전에 성장점을 채취하여 생체중을 측정한 후 시료를 건조기(85℃)에서 48시간 건조시킨 후 건물중을 계측하였다.

식물체 무기성분은 건물중을 조사한 시료를 다시 80℃의 건조기에서 완전히 건조시킨 후 분쇄기(wiley mill)로 분쇄하여 40mesh체를 통과시켜 농촌진흥청 농업기술연구소의 토양 화학 분석법에 따라 분석하였다. 그리고 인산, 칼륨, 석회, 고토 등은 0.5g를 습식분해(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 분해법)에서 얻은 분해액을 원자흡광분광 광도계(atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 분석하였다. 엽록소 함량은 잎 1.0g를 분쇄기에 넣고, 소량의 아세톤(80%)을 첨가하여 완전히 분쇄한 후 Whatman No. 42 여과지를 통하여 여과한 후 80%의 아세톤으로 100ml가 되도록 희석하였다. 엽록소 추출용액은 분광광도계로 적색광대인 652nm파장에서 흡광도를 측정하여 엽록소 함량을 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 관수방법에 의한 생육비교

생육상황 계측은 1997년 12월 12일부터 1주 간격으로 각 구마다 15주, 총 45주를

계측하여 상하 큰 편차를 나타내는 4주를 제외하고, 11주의 평균값으로 상온관수와 가온관수에 따른 생육을 초장, 엽수, 경경, 엽면적별로 비교하였다. Table 2는 정식 후 42일이 경과한 1997년 12월 12일부터 1998년 1월 6일까지 생육비교를 나타내고 있다.

Table 2. Comparison of cucumber growth by methoes of irrigation

Type		Date		1997.12.12	1997.12.20	1997.12.26	1998. 1. 6
Warming plots	<sup>2</sup> NWI	Leaf	<sup>3</sup> L(cm)	65.5	88.1	109.1	178.7
			<sup>w</sup> N(ea)	9.5	11.6	14.5	18.9
			<sup>v</sup> A(cm <sup>2</sup> )	20.0×14.4	22.3×16.6	25.1×18.6	29.8×21.5
			Stem dia.(mm)	5.59	6.32	7.03	7.26
	<sup>y</sup> WWI	Leaf	L(cm)	67.2	89.7	111.4	181.4
			N(ea)	8.9	12.1	14.8	18.7
A(cm <sup>2</sup> )			20.3×14.5	23.8×18.3	26.5×19.6	31.8×23.0	
		Stem dia.(mm)	6.37	6.87	7.43	7.64	
Isolated warming plots	NWI	Leaf	L(cm)	60	80.9	100	164.5
			N(ea)	8.7	11	14.1	17.7
			A(cm <sup>2</sup> )	18.3×13.5	21.9×16.2	26.1×18.7	31.2×22.6
			Stem dia.(mm)	5.98	6.29	6.51	6.82
	WWI	Leaf	L(cm)	59.9	81.9	100.4	168.2
			N(ea)	9.1	10.6	13.5	18.2
A(cm <sup>2</sup> )			18.7×14.1	22.7×17.3	27.2×20.0	32.5×23.8	
		Stem dia.(mm)	6.67	6.96	7.22	7.46	
Non-warming plots	NWI	Leaf	L(cm)	38.9	54	67.6	116.8
			N(ea)	7.1	8.5	10.9	14.1
			A(cm <sup>2</sup> )	14.9×10.5	18.7×13.6	20.9×14.9	24.2×17.1
			Stem dia.(mm)	5.51	5.94	6.12	6.20
	WWI	Leaf	L(cm)	49	66.9	84	138
			N(ea)	7.7	9.8	12.2	15.7
A(cm <sup>2</sup> )			16.7×12.1	20.3×15.1	22.7×16.2	25.5×18.6	
		Stem dia.(mm)	5.87	6.24	6.42	6.51	

<sup>2</sup>NWI : normal temperature water irrigation

<sup>y</sup>WWI : warmed water irrigation

<sup>3</sup>L: length, <sup>w</sup>N : number, <sup>v</sup>A : area

관수를 가온하여 공급하였을 때 상온관수에 대한 생육 비교는 Table 2와 같이 초장의 크기는 상온관수에서는 가온구, 단열가온구, 무가온구의 순이었으며, 가온구의 초장이 무가온구의 초장보다 약40% 크게 나타났다. 그러나 가온관수를

하였을 때 가온구와 단열가온구는 상온관수의 차이에 비하여 뚜렷한 구별이 없었으나, 무가온구의 초장은 상온관수의 초장에 비하여 약 18% 크게 나타났다. 또한 엽수와 관수를 가온하여 공급하였을 때 상온관수에 대한 생육 비교는 Table 2와 같이 초장의 크기는 상온관수에서는 가온구, 단열가온구, 무가온구의 순이었으며, 가온구의 초장이 무가온구의 초장보다 약 40% 크게 나타났다. 그러나 가온관수를

하였을 때 가온구와 단열가온구는 상온 관수의 차이에 비하여 뚜렷한 구별이 없었으나, 무가온구의 초장은 상온관수의 초장에 비하여 약 18% 크게 나타났다. 또한 엽수와 경경 그리고 엽면적에서도 가온구와 단열가온구의 생육비교에서 가온관수의 효과에 큰 차이가 없었다. 무가온구에서 생육상태는 가온구나 단열가온구보다 전반적으로 떨어졌다. 다만 무가온구에 가온관수를 할 경우 상온관수에 비하여 엽수와 경경에서 약 10%의 증가를 보이고 있다.

지중가온 방법에 따른 생육 비교는 가온구와 단열가온구가 무가온구에 비하여 약 20~50%정도 크게 나타났다. 이러한 결과는 지중가온이 무가온에 비하여 초장이 30~40%, 생체중이 10%정도 우수하다(이, 1994)는 연구결과와 유사하였다. 그러나 가온구와 단열가온구의 비교에서는 가온구가 단열가온구에 비하여 약 5~10%정도 크게 나타났으나 큰 차이를 보이지는 않았다.

무가온구의 경우 상온관수시에는 토양의 온도 상승효과가 억제되어 초기생육에 바람직하지 않으나 가온관수를 할 경우 지온의 상승으로 초장, 과수 및 엽면적 등에 효과가 뚜렷하게 나타났다.

가온관수에서 무가온구의 생육효과가 두드러진 것은 온도상승의 효과가 크기 때문으로 생각된다. 즉, 무가온구의 생육시기 근권역의 지온은 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 1997년 1월 3일에서 1997년 1월 30

일까지, 1998년 1월 5일에서 1998년 1월 22일까지 약 20일간 조사하였다. Table 3은 가온방법에 따른 시설오이의 수량 및 생육상태를 비교하였다.

Table 3에서와 같이 1997년과 1998년도 시험 자료가 거의 비슷한 양상을 나타내었으며 무가온구에 비하여 단열 가온구는 37%~38%가 증가하였고, 가온구는 85%~96% 증가하였다. 이러한 결과는 온수 지중가온이 동계 시설오이의 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향(이, 1994)의 연구결과와 잘 일치하였다. 또한 가온구와 단열가온구의 비교에서는 가온구가 단열가온구에 비하여 35%~42% 증가하였다. 또한, 지중가온 방법에 따른 시설오이의 표본주에서 평균과장, 평균과중 및 평균과경에서 모두 가온구가 가장 우수하였다.

Table 3. Comparisons of increasing rate in mean length, mean weight, mean, deameter and cucumber yields by methods of soil warming.

Year	Method Type	Warming plots	Isolated Warming plots	Non-warming plots
1997.1.3~1997.1.30	Number	614	433	313
	<sup>2</sup> A, %	196	138	100
	<sup>2</sup> B, %	142	100	-
1998.1.5~1998.1.22	Number	124	92	67
	<sup>2</sup> A, %	185	137	100
	<sup>2</sup> B, %	135	100	-
1997.1.3~1997.1.30	Length, %	110	104	100
	Weight, %	111	103	100
	Diameter, %	101	101	100
1998.1.5~1998.1.22	Length, %	136	138	100
	Weight, %	136	138	100
	Diameter, %	130	130	100

<sup>2)</sup>A : Increasing rate of warming plots and isolated warming plots per non-warming plots

<sup>y)</sup>B : Increasing rate of warming plots per isolated warming plots

평균과장에서 무가온구를 기준으로 가온구와 단열가온구가 1997년에는 각각 10%, 4% 높게 나타나 가온구가 단열가온구에 비하여 우수하였다. 그러나 1998년에는 각각 약 36%, 38%로 무가온구에 비하여 높게 나타났으나 가온구와 단열가온구에는 큰 차이가 없었다.

평균과중에서도 1997년도에는 무가온구에 비하여 가온구와 단열가온구가 11%, 3%로 나타나 평균과장과 비슷한 경향이 나, 1998년도 시험에서는 가온구와 단열가온구에서 35% 이상의 무게가 증가하였다.

평균과경은 1997년도에는 지중가온의 효과가 두드러지지 않았으나 1998년도에는 가온구와 단열가온구가 각각 30%정도 증가하였다.

### 3. 지중가온 방법에 따른 생체중 및 건물중

오이재배시 적은 범위를 벗어난 지온에서는 세근의 발달이 억제되고 코르크화가 촉진되어 양수분의 흡수에 지장을 초래한다. 또 낮은 지온하에서의 흡수장애는 수분보다 양분이 더 민감한 반응을 나타낸다. 적은범위내에서는 온도가 높을수록 측근신장이 촉진될 뿐만 아니라 무기양분 흡수는 대체적으로 일정온도까지 지온이 높아짐에 따라 증가하며 주근 신장속도도 비례하여 증가한다. 인산의 흡수는 높은 지온하에서 많이 이루어지며 이것은 특히 근장과 뿌리털의 영향을 많이 받는다.

Table 4의 생체중과 건물중의 비교는 가온구, 단열가온구, 무가온구의 잎과 줄기를 각각 5반복하여 평균한 값이다. 생체중 및 건물중은 처리간 유의성은 다소 낮지만 가온구>단열가온구>무가온구순의 경향을 나

Table 4. Comparison of fresh weight and dry weight of cucumber by methods of soil warming (1998. 1. 20)

Type	Fresh weight(g)		Dry weight(g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
Plots				
Warming plots	53.7	44.0	7.4	2.6
Isolated warming plots	51.9	41.6	6.6	2.4
Non-warming plots	47.5	41.0	6.5	2.4

타내었는데 이것은 생육기간중 가온구의 지온이 높아 뿌리발근 및 양분흡수력을 증대시켜 생육이 조장된 것으로 판단된다.

### 4. 지중가온 방법에 따른 무기성분 함량

Table 5는 지중가온 방법에 따른 줄기와 잎의 무기성분함량을 각 구마다 5반복하여 평균한 값을 나타내고 있다. 줄기에서는 가온구가 질소 및 칼륨의 함량만 약간 낮았을 뿐 다른 양분함량은 높았으며, 잎에서는 가온구가 칼륨과 칼슘의 함량이 낮고 다른 양분함량은 처리간에 비슷하였다.

이와 같이 질소의 경우는 식물에 흡수되는 NO<sup>3-</sup>, NH<sup>4+</sup>의 형태에 따라 다르다.

즉, NO<sup>3-</sup>는 지온이 높을 때, NH<sup>4+</sup>는 지온이 낮을 때 흡수가 촉진되어 본 시험의 분석방법인 전질소법으로는 가온구의

Table 5. Comparison of mineral content of cucumber by methods of soil warming (1998. 1. 20)

Type Plots	Stem(ppm)						Leaf(ppm)					
	T-N	T-P	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	T-N	T-P	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
Warming plots	23.2	7.0	88.9	19.7	8.4	0.9	44.1	6.9	24.7	33.0	11.5	0.8
Isolated warming plots	28.5	6.5	103.9	16.2	8.1	0.7	47.6	6.5	30.3	40.8	11.2	0.9
Non-warming plots	26.1	6.3	107.6	15.7	7.2	1.1	46.1	6.7	31.9	43.1	9.8	0.5

효과를 구명할 수 없었다. 그리고 칼륨과 칼슘의 흡수는 뿌리의 생육이 억제되는 지온, 즉 12℃ 정도일 때 현저히 억제된다는 보고가 있지만, 본 시험에서는 단열가온구와 무가온구의 지온을 12℃ 이상 유지하였다.

5. 지중가온 방법에 따른 엽록소 함량 비교

Table 6은 정식 후 80일의 지중가온 방법에 따른 엽록소 함량을 나타내고 있다.

Table 6. Comparison of chlorophyll content of cucumber by methods of soil warming (1998. 1. 20)

Plots Time	Warming plots		Isolated warming plots		Non-warming plots	
	<sup>21</sup> D652	mg/g	D652	mg/g	D652	mg/g
1st	0.341	1.98	0.317	1.84	0.375	2.17
2nd	0.415	2.41	0.351	2.03	0.460	2.67
3th	0.340	1.97	0.360	2.09	0.459	2.66
4th	0.350	2.03	0.350	2.03	0.351	2.03
5th	0.300	1.74	0.465	2.70	0.305	1.77
Mean		2.318		2.026		2.26

<sup>21</sup>D652 : detection 652nm

엽록소 함량은 처리간 유의성은 떨어졌으나 무가온구>단열가온구>가온구의 순으로 나타나 생체중과는 반대의 결과를 얻었는데 이와 같은 결과는 가온구의 생육상황이 상대적으로 양호하여 전체 엽록소 함량은 많을 수 있지만, 분석시 1g를 샘플한 시료에서는 회색의 효과가 나타나 가온구의 엽록소 함량이 오히려 낮은 것으로 판단된다. 또한 무가온구는 생육이 억제되어 잎이 작고 짙은 녹색이 되어 엽록소 함량이 상대적으로 높아진 것으로 판단된다.

### 요약 및 결론

태양열을 이용한 겨울철 시설오이 재배에서 가온관수와 지중가온으로 토양 온도를 상승시켜 근권역을 적정온도로 유지하여 생육에 미치는 영향을 분석하여 가온구, 단열가온구, 무가온구에 대한 생육을 비교 시험한 결과는 다음과 같다.

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

### 인 용 문 헌

1. 광희열. 1998. 산업용 고효율 태양열 집열기 개발 필요성. 태양에너지학회지 18(2) : 19-29.
2. 김진현, 김철수, 명병수, 최중섭, 구건효, 김태욱. 1998. 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(1). 생물생산시설환경 7(1) : 15-23.
3. 김진현, 오중열, 구건효, 김태욱. 1998. 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치개발(2). 생물생산시설환경 7(1) : 25-33.
4. 농촌진흥청. 1995. 오이 통기성 증대 및 지중가온 실용화 기술개발.
5. 이기명, 박규식. 1997. 시설환경 기계·설비 자동제어. 일일사. p. 35-36.
6. 이재욱. 1994. 온수 지중가온이 동계 시설오이의 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향. 경북대학사학위논문 p. 7-8.
7. 태양에너지핸드북. 1991. 한국태양에너지학회. 태림문화사 p. 691.
8. 古在豊樹. 1995. 新學. 朝倉書店 p. 88-89.
9. 三原義秋. 1980. 施設園藝の氣候管理. 誠文堂新光社 p. 95-97.