

가온관수 시스템을 이용한 지온변화와 오이의 생육성 연구

Study on the Growth of a Cucumber and the Soil Temperature used by Warming Water Irrigation System

김태욱* · 김진현

상주대학교 기계공학부

Kim, T.W* · Kim, J.H

School of Mach. Eng., Sangju National Univ.

서론

시설재배 농가의 유통비(면세유)는 연간 약 4,300억원에 달하며 전체 시설면적의 약 25%에 해당하는 12.5천 ha정도가 가온을 하고 있다. 최근 유가 상승으로 겨울철 시설재배의 면적은 줄어들 것이며 이로 인한 시설재배의 생산량도 크게 감소되어 수입 증가로 인한 외화의 유출을 예측할 수 있다. 시설재배는 연중 생산시스템을 가지고 있으나 생산 기술외적인 요인에 의하여 시설재배가 받는 충격을 줄일 필요가 있다. 특히 에너지 부분은 가장 민감하게 영향을 받으며 이에 대한 연구가 미흡할 뿐 아니라 대처도 또한 쉽지 않다.

본 연구자는 태양열을 이용한 동절기 시설재배의 가온관수 효과에 대한 기초 재배시험을 통하여 관수의 온도를 관행관수에 비하여 6℃~10℃ 상승시켜 공급하는 것이 약 18%의 생육효과가 나타난 것을 발표한 바 있다.

겨울철 시설오이의 관수온도는 일반적으로 12℃~14℃로서 토양의 깊이 약 15 cm의 평균온도 14℃~16℃보다 낮아 관수로 인하여 작물의 근역온도가 일시적으로 2℃~4℃ 강하시키게 된다. 이러한 저온관수의 공급은 생육에 장애를 주어 생산수량과 품질에 영향을 주게된다.

따라서 근근 주변의 토양의 온도는 보통 재배작목에 따라 약간씩 차이가 있으나 대개 20℃~22℃가 적합한 것으로 알려져 있다. 관수온도를 높여 토양의 온도를 20℃까지 높이거나 관수로 인하여 지속적 온도를 유지하는 것은 매우 어렵다. 또한 생육 중후기의 근역이 퍼지고 지중 깊은곳까지 근근이 확대되면 가온관수의 효과는 거의 기대할 수 없다.

본 연구는 근역이 비교적 작은 생육초기에 가온관수의 효과가 매우 높을 것으로 판단하여 무가온관수와 20℃, 25℃의 가온관수의 효과를 비교 분석하고자 한다. 아울러 가온관수에 소요되는 에너지를 산출하여 자연에너지의 이용확대를 위한 기초적인 자료를 얻고자 한다.

재료 · 시험장치

본 시험에 이용한 온실은 무기등 단동식 3중 비닐하우스로 폭 15m×길이 30m×높이 5.3m 인 남북동이며, 전체 시험구 넓이는 가로 26m×세로12m 이다. Fig. 1은 가온관수 시스템의 개략도를 나타내었다.

시험구는 무가온구, 20℃가온구, 25℃가온구로 각 3구씩 모두 9구를 설치하였다. 각 구의 면적은 약 21m²(3m*7m:6.4평)정도로 구획 설정하고, 지하수 관수 및 25℃관수, 20℃관수구의 소구로 구획하여 흑색 비닐로 멀칭하여 각각 3반복으로 배치하였다. 가온 수조는

약 200 l 용 플라스틱 용기를 이용하였고, 20℃와 25℃의 가온을 목적으로 3 kW의 Thermostat이 부착된 Coil heater 전열히터를 사용하였다.

시험구의 배치는 하우스의 환경 영향이 최소화되도록 각 구를 분할하였다.

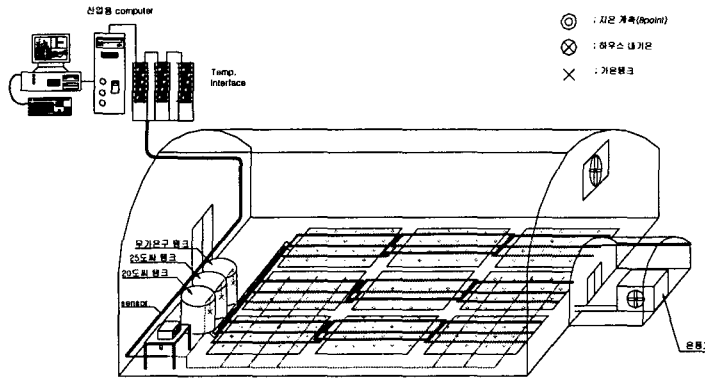


Fig. 1. The experimental field in greenhouse.

본 연구에 공시한 품종은 은성 백다다기(홍농종묘)오이이며, 오이종자를 파종하여 재배 농가의 경종법에 따라 육묘한 약 45일 묘를 1999년 12월 5일 본포에 정식하였다. 균일한 육묘를 선정하여 일정한 간격(40cm×70cm)으로 각 소구 당 32주씩 정식하였고(3.3주/m²), 구는 모두 9개 구, 3반복으로 총 주수는 864주를 재배하였다.

가온관수는 관수시 지온을 유지시켜 작물의 냉스트레스를 줄여 생육을 촉진 시키기 위하여 물을 20℃, 25℃로 가온하여 관수하였다. 가온수의 최고온도 25℃는 최고 한계지온인 25℃를 기준으로 설정하였다(김 등,1998). 공급량은 관행적으로 관수시기에 맞추어 공급하였다. 가온관수도 일반 관수방법과 동일하게 2 l/h의 점적보턴으로 공급하였다.

가온관수 지온계측은 96 Points까지 계측할 수 있으며, 컴퓨터 계측시스템을 구성하였으며 온도계측용 인터페이스(AX5232, AXIOM) 3장을 12-Slot용 산업용 컴퓨터(AX6150A, AXIOM)에 설치하고 RS232C를 통하여 시스템 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 계측을 위한 프로그램은 SCADA방식의 Wizcon 5(PCSOFT 사)를 사용하였고, 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.

관수방법을 무가온관수, 20℃ 가온관수, 25℃ 가온관수로 하고, 지중 깊이별 근역의 지온분포를 계측하여 재배작물의 관수온도 적정성을 규명하고자 하였다. 무가온구 및 가온관수구에 대한 지온을 5cm 깊이별로 지중 40cm까지 8개의 센서를 매설하여 지온을 연속 계측하였다. 관수는 생육초기 약 4주간은 주당 0.4 l를 공급하고, 이후 생육중·후기에는 약 0.7 l를 공급하였다.

가온관수의 변화를 실시간으로 계측하기 위하여 지중 5cm 깊이별로 센서를 매설하고, 센서로부터 산업용 컴퓨터에 센싱된 데이터는 실시간으로 계측시스템에 기록되며, 그래픽 데이터는 실시간으로 데이터를 갱신하여 확인할 수 있다.

생육 특성은 엽면적, 초장, 엽수, 마디수, 줄기경 등을 일반조사법에 준하여 실시하였으

며 지하부는 주근과 세근을 분리하여 생체중과 건물 중을 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 가온관수의 지온변화

1) 무가온구의 지온변화

Fig. 2는 2000년 1월 28일 상온관수에 의한 깊이별 지온변화를 계측한 것을 나타내고 있다. 지중 5cm와 10cm에서는 하우스 내기온의 영향을 비교적 크게 받고 있다. 그러나 지중 20cm이상 깊이에서는 17℃~20℃ 정도로 비교적 높은 온도를 유지하였다. 하우스 내기온은 오전 9시와 오후 5시를 중심으로 지온과 내기온의 임계점을 형성하고 있다.

12시 30분경 무가온관수를 실시하였을 때 관의 온도는 약 13℃까지 떨어지고 지중 5cm에서는 지온이 23℃에서 16℃로 약 7℃가 내려갔다. 지중 10cm에서는 이보다 영향은 적었으나 22℃에서 17℃로 약 5℃가 낮아졌다.

지중 20cm부터는 영향이 2℃~3℃로 비교적 적은 편이었다. 무가온관수의 영향은 관수 공급시간 약 1시간 동안이었으며 관수공급이 끝나는 시점부터 빠르게 지온이 상승하여 약 1시간 후에는 원래의 온도를 유지하였다. 이는 저온의 차가운 물이 관수된 후 지중으로 침적되면서 토양에너지 흡수하여 15cm이하 40cm까지는 온도차가 1℃내에서 거의 일정 온도를 유지하는 것으로 나타났다.

따라서 무가온관수에 의한 온도의 영향은 깊이에 따라 차이가 있으나 지중 약 30cm~40cm까지 미치고 있었다. 그러므로 지표면의 온도가 매우 중요한 작물생육초기에 무가온관수를 할 경우에 큰 장애를 초래할 수 있다. 지표면 15cm~20cm 이상인 작물의 경우에도 어느 정도 장애가 예상된다. 더욱이 깊이 20cm 이상에서도 2℃~3℃ 온도가 낮아지므로 초기생육뿐 아니라 중기 생육 시기에 뿌리의 냉해를 받을 것으로 생각된다.

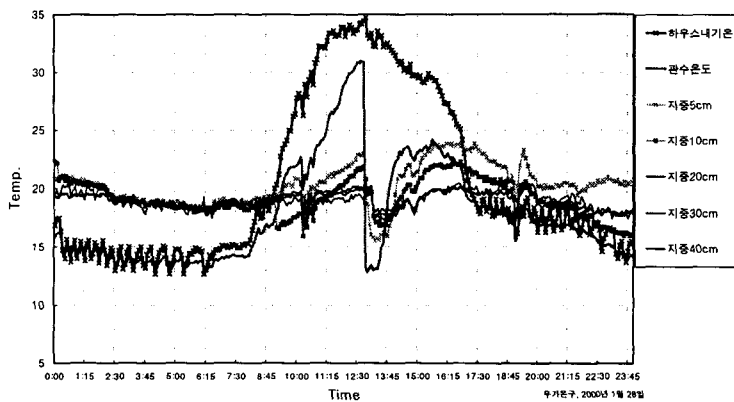


Fig. 2. Soil temperature of non-warmed water irrigation.

2) 20℃ 가온관수구의 지온변화

Fig. 3은 20℃의 가온관수를 한 12시 40분 시점에서 지중 5cm의 온도가 약간의 온도강하가 있었으나 관수온도와 유사한 20℃정도를 유지하여 지중 5cm까지는 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 지중 10cm 깊이에서는 20℃에서 18℃로 약 2℃정도 내려갔다. 또한 지중 20cm 이하의 깊이에서는 20℃에서 17℃로 약 3℃정도가 떨어져 무가온관수의 경우와 매우 유사하게 나타났다. 이것은 관수량에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나 20℃의 가온

수가 증력에 의하여 지중으로 침적되면서 약 15cm까지는 열에너지가 지중으로 방출되고 그 이하의 깊이에는 관수 열에너지가 지온과 평행을 이루어 거의 영향이 없는 것으로 판단되었다. 따라서 무가온관수의 지온과 비교할 때 깊이 15cm까지 2℃~3℃ 상승하는 효과가 나타났다.

이러한 결과로 볼 때 20℃의 가온관수 효과는 지중 15cm까지 영향을 미치므로 재배작물의 생육 중·후기에서는 그다지 높지 않은 것으로 판단된다. 그러나 근역이 비교적 깊이 않은 초기생육에는 뿌리의 활착이 촉진되는 등 큰 효과가 예상되며 이것이 생육 중·후기에도 영향을 줄 것으로 생각된다.

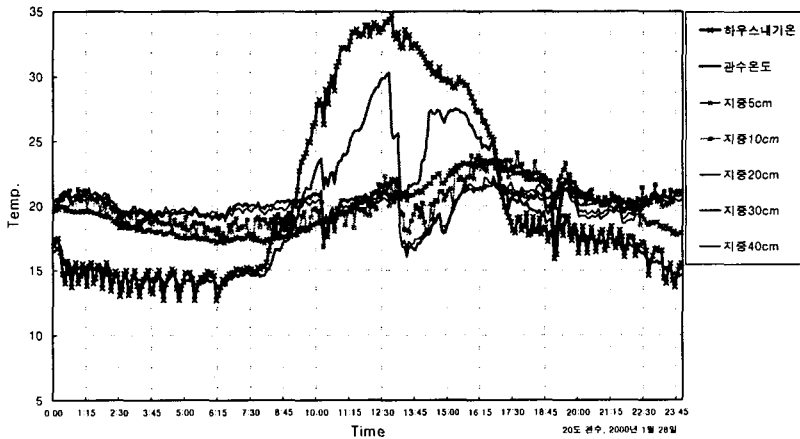


Fig. 3. Soil temperature of warmed water irrigation(20℃).

3) 25℃ 가온구의 지온변화

Fig. 4는 25℃ 가온관수에 의한 깊이별 지온변화를 계측한 것으로 가온관수를 하지 않은 경우에는 하우스 내기온의 영향으로 지온의 변화가 깊이별로 무가온구와 20℃ 가온구와 큰 차이가 없었다. 25℃를 관수한 12시 40분 시점에서 지중 5cm의 온도가 21℃에서 20.5℃로 약 0.5℃정도를 하강하여 지온변화에 영향이 거의 없었으며, 지중 10cm 깊이에서는 20℃에서 18.5℃로 약 1.5℃정도 하강하였다. 지중 20cm 이하의 깊이에서는 20℃에서 17.5℃로 약 2.5℃정도가 떨어졌다. 이러한 결과는 지표면에서는 20℃ 가온관수에 비하여 0.5℃정도 상승하였으나 무가온구에 비하면 1.5℃ 상승하였다.

또한 가온관수로 인한 지표면의 온도가 2℃~3℃정도 떨어져 관수로 인한 지온의 강하 편차가 가장 작아 뿌리의 냉해 피해가 극히 적을 것으로 추정된다. 25℃ 가온관수의 지온 변화는 20℃에 비하여 관수온도 상승폭에 비해서는 그다지 높지 않으나 지온의 온도 지속성을 고려하면 가장 바람직한 관수 온도라고 볼 수 있다. 마찬가지로 20cm 이상깊이의 지온은 20℃와 거의 유사한 형태로 나타났다. 이것은 가온한 20℃와 25℃의 관수가 가지는 열에너지가 지표면의 깊이 약 15cm까지 지온을 일부 상승한 것으로 보이며 충분한 지온의 상승효과는 기대할 수 없음을 입증하고 있다. 열에너지를 가진 수분의 공급으로 지온의 상승을 해석하는 것은 토양내의 유기물과 토양수분, 토양구조 및 토성, 토양 밀도 등에 따라 크게 달라지므로 이론적 해석으로는 불가능한 것으로 알려지고 있다.

본 연구결과에 따라서 시설재배의 최적 지온을 유지하기 위하여 가온관수를 할 경우에는 25℃의 공급도 만족스럽지 않음을 알 수 있다. 그러나 현장에서 저장된 수조의 온도를 10℃ 이상 상승시키는 것은 하우스의 면적에 따라서 달라지나 많은 전기에너지가 소요되

어 농촌에너지 승압공사로도 어려울 수가 있다. 이 에너지에 대한 연구결과의 보고는 여기서 다루지 않고 따로 발표할 예정이다.

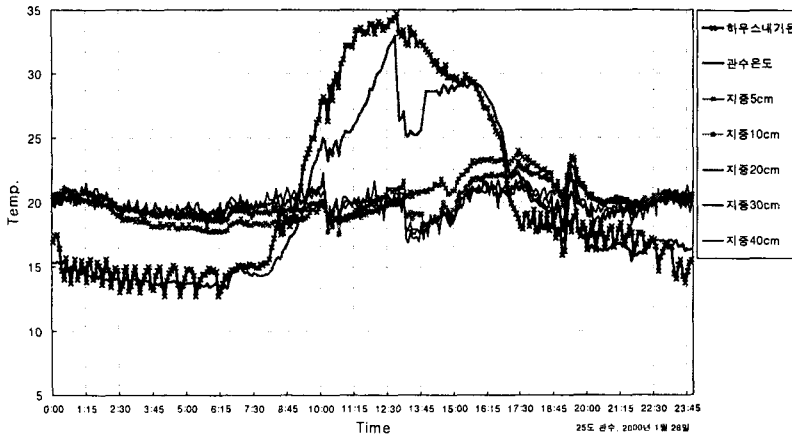


Fig. 4. Soil temperature of warmed water irrigation(25°C).

2. 시설오이의 생육성 결과

1) 오이의 초기생육 비교

1999년 12월 5일 본포에 정식하여 재배기간별 관수 온도에 따른 오이 식물체의 생육변화는 Table 1과 같다. 초장, 잎수 그리고 마디수에서 무가온구에 비하여 가온구(20°C, 25°C)가 5%~10% 초기생육이 우수하였다. 그러나 20°C와 25°C의 가온관수구 간의 차이는 거의 미세하였다. 그리고 정식 60일까지의 생육기간 중 균등한 변화를 보여 지중온도 상승의 이론적인 고찰과는 다소 차이를 나타내었다. 이것은 토양의 온도변화와 유기물, 수분량 등의 비균일성으로 인한 오차로 추정된다. 줄기와 뿌리의 생체중과 건물중을 비교하면 큰 차이를 보이고 있다. 대체적으로 25°C의 가온관수구가 20°C의 관수구보다 우수하였으며 무가온구에 비하면 가온관수구가(20°C, 25°C) 약 10%~30% 정도 우수하여 과실의 충실성과 수량의 증가를 예측할 수 있는 결과로 판단된다. 엽면적도 이와 비슷한 결과가 나타났다. 따라서 무가온구(13°C)에 비하면 가온관수구가 초기생장 여건이 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있다.

Table 1. Growth response of cucumber plant as influenced by different temperature irrigation water after transplanting.

DAT*		Plant height (cm)	No. of leaves	No. of node	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/m ²)		Leaf area(cm ²)
					shoot	root	shoot	root	
	Before Transplanting	10.5	3.5	3.0	6.1	0.8	0.93	0.07	43.5
15	13±1℃	28.0(100)	6.2(100)	5.8(100)	13.1(100)	1.7(100)	6.34(100)	0.43(100)	117.6(100)
	20±1℃	29.0(104)	6.5(105)	5.8(100)	14.6(111)	2.0(117)	7.61(120)	0.52(120)	130.5(110)
	25±1℃	30.0(107)	6.5(105)	6.2(107)	15.7(120)	2.1(123)	8.12(128)	0.50(116)	145.4(123)
30	13±1℃	52.0(100)	10.0(100)	10.0(100)	53.4(100)	2.0(100)	20.86(100)	0.50(100)	506.2(100)
	20±1℃	56.5(109)	10.7(107)	10.3(103)	63.1(118)	2.3(115)	23.30(111)	0.62(124)	619.1(122)
	25±1℃	57.0(110)	10.8(108)	10.3(103)	66.6(124)	2.5(125)	23.93(115)	0.66(132)	623.6(123)
45	13±1℃	105.7(100)	14.3(100)	14.3(100)	187.4(100)	3.9(100)	73.19(100)	1.33(100)	1621.5(100)
	20±1℃	109.7(104)	15.3(107)	14.7(102)	211.1(112)	4.2(108)	84.61(115)	1.63(122)	1837.6(113)
	25±1℃	111.7(105)	15.3(107)	14.7(102)	210.9(112)	4.9(125)	87.36(119)	1.81(136)	1873.9(115)
60	13±1℃	176.5(100)	20.3(100)	20.0(100)	831.1(100)	8.6(100)	193.96(100)	2.84(100)	2181.5(100)
	20±1℃	183.8(104)	22.0(108)	22.0(110)	931.8(112)	10.4(121)	219.42(116)	3.23(113)	2636.4(120)
	25±1℃	186.0(105)	22.0(108)	22.0(110)	964.7(116)	10.5(122)	219.63(113)	3.09(108)	2664.2(122)

* days after transplanting(transplanting date: 5th Dec. 1999)

2) 오이의 수량성 비교

Table 2. Early yield of cucumber fruits according to the different temperature irrigation water.

Treatments	No. of fruits (/plant)	Fruits weight (g/each)	Yield (kg/10a)
Non-warming 13±1℃	7.9*(100%)	149.4(100%)	3549.6(100%)
Warming water 20±1℃	8.3(105%)	163.2(109%)	4063.8(115%)
Warming water 25±1℃	8.6(109%)	167.3(112%)	4316.4(121%)

* No. of fruits per plant between 7th node and 15th node

시설재배에서 지중의 온도가 작물의 생육과 수량성에 미치는 효과는 이미 입증된 바 있다. 그러나 가온관수의 적정온도 설정과 방법, 가온관수 소요에너지 등에 대하여 아직까지 연구가 부족한 실정이다.

본 연구결과에서는 무가온구를 기준으로 할 때 20℃ 가온구는 과수와 평균과중, 생산량에서 105%, 109%, 115%로 나타났으며, 25℃ 가온구에서는 각각 109%, 112%, 121%이었다. 따라서 20℃보다 25℃를 공급할 경우 관수관 온도손실을 제외할 경우 이보다 약 2~3℃ 낮아지므로 25℃의 공급이 근군의 토양에 적합한 것으로 판단된다. 물론 25℃이상의 온도를 공급할 경우에는 보완의 연구가 필요하다. 본 연구결과는 김(1999년)등이 발표한 결과와 매우 일치함을 알 수 있었다.

결 론

시설재배 농가는 최근 유가 상승으로 겨울철 재배에 큰 경제적인 부담을 안고 있다. 에너지 부분은 재배농가에서 가장 민감하게 영향을 받으며 이것을 극복하기 위하여 단위생산성을 높이고 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 연구가 아직은 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 가온관수에 의하여 근근 주변의 토양의 온도는 상승시키고 지온의 변화를 분석하고 시설오이의 생육성에 대하여 무가온관수와 다음과 같이 비교 분석하고자 하였다.

- 1) 무가온(13℃)관수를 할 경우 지온의 변화는 지중 15cm까지 약 5℃~7℃가 낮아졌으며 지중 20cm부터는 영향이 2℃~3℃로 비교적 적었다.
- 2) 20℃의 가온관수를 할 경우 지온의 변화는 지중 5cm의 온도가 약간의 떨어졌으나 관수온도와 유사한 20℃정도를 유지하였으며 지중 10cm 깊이에서는 20℃에서 18℃로 약 2℃정도 내려갔다. 무가온관수의 지온과 비교할 때 깊이 15cm까지 2℃~3℃ 상승하는 효과가 나타났다.
- 3) 25℃ 가온관수를 할 경우 지온의 변화는 지중 5cm의 온도가 21℃에서 20.5℃로 약 0.5℃정도 떨어져 지온변화에 영향이 거의 없었다. 그리고 지중 10cm 깊이에서는 20℃에서 18.5℃로 약 1.5℃정도 하강하였다.
- 4) 25℃ 가온관수의 지온 변화는 20℃에 비하여 관수온도 상승폭에 비해서는 그다지 높지 않으나 지온의 온도 지속성을 고려하면 가장 바람직한 관수 온도라고 사료된다.
- 5) 무가온구에 비하여 가온구(20℃, 25℃)가 초장, 잎수 그리고 마디수에서 5%~10% 초기생육이 우수하였다. 그러나 20℃와 25℃의 가온관수구 간의 차이는 거의 미세하였다.
- 6) 줄기와 뿌리의 생체중과 건물중을 비교하면 25℃의 가온관수구가 20℃의 관수구보다 우수하였으며 무가온구에 비하면 가온관수구가(20℃, 25℃) 약 10%~30% 정도 우수하였다.
- 7) 과수와 평균과중, 생산량에서 무가온구를 기준으로 할 때 20℃ 가온구는 105%, 109%, 115%로 나타났으며, 25℃ 가온구에서는 각각 109%, 112%, 121%이었다.

참고문헌

1. 김진현, 김철수, 명병수, 최중섭, 구건효, 김태욱. 1998. 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치 개발(1). -시설재배의 지중가온 온도변화 연구-. 생물생산시설환경학회지. 7(1) : 15-23.
2. 김진현, 오중열, 구건효, 김태욱. 1998. 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치개발(2). -지중가온에 의한 오이 생육 및 수량성 향상에 관한 연구-. 생물생산시설환경학회지. 7(1) : 25-33.
3. 김진현, 구건효, 김태욱. 1999. 태양열 시스템을 이용한 가온관수와 지중가온 방법에 의한 오이의 생육 연구(3). 생물환경조절학회지. 8(1) : 1-8.
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. 三原義秋. 1980. 施設園藝の氣候管理. 誠文堂新光社. p. 95-97.