

태양열을 이용한 시설재배 지중변온가온의 토양 온도특성 연구(3)

- 지중변온가온의 재배실용화 실증시험 -

김진현 김태욱 송재관 나규동 하유신 김태수 김은태

Study on Temperature Variation by Greenhouse Soil Warming System Using Solar Thermal Energy (3)

- Verification Experiment on Commercialization of Cultivation -

J. H. Kim T. W. Kim J. K. Song K. D. Nah Y. S. Ha T. S. Kim E. T. Kim

Abstract

According to the result of the first report and the second report of this study, it was expected that soil heating in a protected cultivation in winter season would affect the initial growth and development of fruit. Based on the result of previous study, we compared height, leaf number, leaf area, fruit weight, crop growth rate (CGR), features and quantity of cucumber for 3 months after planting between the soil heating group and the non-heating group. The result were summarized as follows: The height, leaf number, leaf area and fruit weight of cucumber in the soil heating group were 12.5%, 14.6%, 21.4% and 22.8% higher, respectively, compared to those of cucumber in the non-heating group. Although both the soil heating group and the non-heating group similarly showed an increasing pattern in CGR after transplanting, the soil heating group showed the increased CGR by 12.1% compared to that of the non-heating group. The quantity of cucumber in the soil heating group was about 26% higher than that of the non-heating group. It is assumed that the activation of initial growth and development of fruit in the heating group resulted in the increase of quantity.

Keywords : Solar energy, Soil heating, Soil depth, Soil temperature, Crop growth rate

1. 서론

시설원예에 있어서 지구온난화 방지 및 청정에너지 이용 확대를 위해서는 보다 적극적인 방법으로 태양열 에너지를 이용하는 연구가 필요하다. 에너지 밀도가 낮은 태양열 에너지를 겨울철 시설재배에 활용하기 위하여 지중가온에 의한 토양온도 변화와 가온의 효과에 대한 여러 연구들이 발표되었다. Kim 등(1998a)과 Kim 등(1998b)은 지중가온의 효과를 높이기 위하여 저온수를 지속적으로 공급하는 방식을 제

시하였고, 28℃를 최적온도라고 하였다. 또한 28℃를 공급한 경우 지중 15~20 cm의 온도가 무가온 토양에 비하여 4~7℃ 상승한다고 하였다. 지중가온의 효과는 파이프 부근의 토양이 건조하게 되면 열전도가 저하하기 때문에 적절한 관수가 바람직하며, 시설채소는 지온이 13℃ 이하가 되면 양분 흡수가 억제되고 30℃ 이상이 되면 뿌리의 발생이 억제되어 뿌리의 호흡이 왕성해져서 동화산물의 소모가 많아지므로 25℃가 최고 한계지온이 된다고 하였다(Lee, 1994). 그러나 일정온도를 지속적인 지중가온을 할 경우 근역의 과열로 뿌

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2011-05-30, reviewed on 2011-06-07, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-06-13. The authors are Jin Hyun Kim, Tae Wook Kim, KSAM member, Professor, Kyungpook National University, Sangju, Jae Kwan Song, KSAM member, Professor, Gumi-1 Collage, Gumi, Kyu Dong Nah, KSAM member, President, HNL co., Ltd., Yu Shin Ha, Tae Soo Kim, KSAM member, Researcher, Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, and Eun Tae Kim, Graduate Student, Kyungpook National University, Sangju. Corresponding author: T. W. Kim, Professor, Industrial Mechanical Engineering, College of Science and Engineering, Kyungpook National University, 386 Gajang-dong, Sangju-shi, 742-170, Korea; Fax: +81-54-530-1278; E-mail: <kimtw@knu.ac.kr>.

리의 노화가 촉진되고 생육효과가 떨어지게 되는 문제점이 발생한다(Kim et al., 1999; Kim and Kim, 2001).

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 생육조건에 따른 변온지중가온 기술을 개발하고자 하였으며, 지중가온에 의한 작물의 생육증대 효과와 동시에 태양열 이용률을 제고할 수 있는 실용화 기술을 확대보급할 수 있는 기반을 구축하였다. 본 연구의 제 1보에서는 토양에 유입되는 에너지와 유출되는 에너지, 관의 열전달 특성, 온실 내 기온의 변화와 유량, 관의 단면적과 길이 등으로부터 근권부의 열전달 특성을 구명하였고, 근권부의 위치에 따른 최적 공급에너지량을 산출하여 지중가온을 통한 근권부의 온도를 최적화시킬 수 있는 에너지 공급체계를 정립하였다.

지표면 아래로 내려갈수록 지표면과의 온도차는 점점 커지게 되며 깊이 35 cm에서는 약 4°C 까지 온도가 떨어지게 된다. 따라서 시설작물의 생육시기에 따라 차이는 있지만 근권부의 깊이가 15 cm 이하로 내려가는 경우에는 지중가온의 효과가 큰 것으로 나타났다(Kim et al., 2009). 제 2보에서는 배관의 총 길이에 따른 공급에너지와 지온의 상승효과를 토양 깊이별로 산출하는 방법을 제시하였으며, 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m²으로 고정하고 토양깊이를 0~15 cm, 20~25 cm, 30~35 cm로 구분하여 깊이별 지온 상승효과를 분석한 결과 각각 1.5°C, 2.0°C, 3.0°C 상승하는 것으로 나타났다. 또한, 지중가온의 효과를 높이기 위해서는 지온을 무가온 상태보다 최소한 5°C 이상 높여야 하고, 단위면적당 유입열량을 100 kcal/h·m² 정도 공급해야 하는 것으로 나타났다. 또한, 근권의 최적온도 조건을 설정하기 위하여 지중가온의 공급수 온도를 25°C로 하고(Lee, 1994; Terada et al., 1980;

Takahashi, 1983), 지중 40 cm에 위치한 배관에 오전 12시부터 오후 4시까지 유량을 1.380 L/h(총 5,500 L)로 하여 공급하였을 때, 시험포장 내 기온이 약 20°C인 상태에서 지중 20 cm 부위의 온도는 무가온 상태보다 약 2°C 정도 높게 나타나는 결과를 얻었다(Kim et al., 2010).

지중가온의 효과는 초기 생육에서도 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있으며, 본 연구에서는 가온구와 무가온구의 생육기간 중 오이의 초장, 잎수, 엽면적, 과중에 대하여 지중가온의 효과를 무가온 상태와 비교 분석하였다. 또한, 식물생장율(crop growth rate, CGR), 과실의 특성과 수량에 관한 분석도 동시에 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험장치

1) 진공관형 태양열 집열기

진공관형 태양열 집열기는 통상적으로 10~30개의 진공관형 집열 튜브가 한 세트가 되어 구성된다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 경북대학교 상주캠퍼스 시험온실(14 m×10 m)에 진공관 집열튜브 20개를 1세트로 구성하여 2세트를 병렬로 정남향으로 설치하였으며, 단열처리한 축열조와 순환모터 등의 배관작업을 거쳐 집열기의 성능을 시험할 수 있도록 구성하였다.

표 1에서 진공관식 집열관(TZ58/1800-20R, Daesung celtic enersys, Korea)의 일일 총집열량은 47.01 MJ/day로 나타났으나, 실제 계측된 에너지로부터 환산하면 약 58%의 효율로 나타났다.



Fig. 1 System of the vacuum type solar energy collector and accumulator.

Table 1 Energy efficiency of the vacuum type collector

Type	Absorption area (m ²)	Quantity (MJ/m ² ·day)	Total quantity (MJ/day)	Real quantity (MJ/day)	Efficiency (%)
TZ58/1800-20R	2.62 (1 sheet)	8.97	47.01 (2 sheets)	27.21 (2 sheets)	58

2) 태양열 집열판의 구조 및 제원

태양열 집열판은 유리 재질의 진공관형 집열 튜브의 구조이며, 난방수는 내부의 히트파이프에 의해 급속히 가열되어 축열조와 순환하게 된다. 내부의 흡수용 진공관 튜브에는 난방수가 유입되지 않으므로 동계에도 파손될 위험이 없으며, 외부 튜브가 파손되었을 경우에도 계속하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 표 2에 진공관형 집열 튜브 및 축열조의 사양을 나타내었다.

Table 2 Specification of the vacuum type collector and accumulator

Items		Specifications
Collector (1 set)	Area (m ²)	2.62
	Size (L×W×H) (mm)	2,000×1,817×170
	Weight (kg)	35.20
	Tube (EA)	20
Regenerative Tank	Capacity (L)	300
	Temp. Sensor	T-type thermocouple
	Circulation Pump (kW)	0.3
	Water (L)	200
	PCM253 (L)	40
	Heater (kW)	3.0

3) 시험포장의 설계

시험온실(14 m×10 m)은 그림 2와 같이 가운데구와 무가온구로 각각 6개 구역으로 나누고 모두 260주를 간격 40 cm로 하여 정식하였다. 그림 3은 겨울철 시설오이 재배방식의 대표적인 식부 규격을 나타내고 있으며 두둑을 20 cm, 폭을

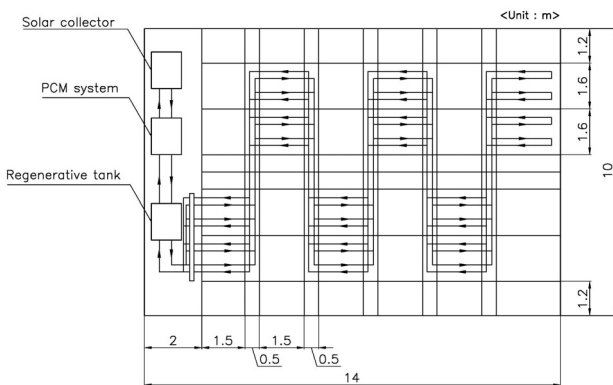


Fig. 2 The field design of water pipe lines for soil warming.

100 cm로 하고, 지중에 매설될 가온장치는 지중 40 cm 아래에 중앙으로 유입하고 유출시키는 방식으로 설치하였다.

나. 공시재료

공시재료인 오이는 35일간 육묘한 백다다기오이 품종(여주육묘사)의 호접묘(대목: 신토좌)를 사용하였으며 2009년 10월 17일 정식하였다. 실험을 위하여 재배한 시설오이의 정식 전 육묘의 생육특성은 표 3과 같다.

다. 시험방법

1) 지중가온수 공급과 유입열량

재배기간 중 지중가온을 위한 공급수 온도를 25℃로 설정하고 1일 공급시간을 12시부터 오후 4시까지 하였다. 1일 공급량은 총 5,500 L로 시간 당 1,375 L였으며, 시험포장의 지중가온면적 60 m²을 고려하면 단위시간 및 단위면적당 공급된 수량은 23 L/h·m²가 된다. 따라서 지중가온에 소요된 단위시간당 유입열량을 분석한 결과 14.44 MJ/h로 나타났으며, 단위면적당 유입열량은 240.7 kJ/h·m²으로 분석되었다.

2) 관수방법

시설오이의 지중가온 실증시험을 위해 재배기간 중 관수방법은 지중관수로 수행하였다. 지중관수는 그림 4와 같이 중앙에 25 mm의 지관을 설치하고 8 mm의 세관을 통하여 시설오이의 지중 10 cm 아래의 근권에 직접 관수하는 지중관수 방법을 이용하였다. 관수량은 정량 노즐을 통하여 4 L/h

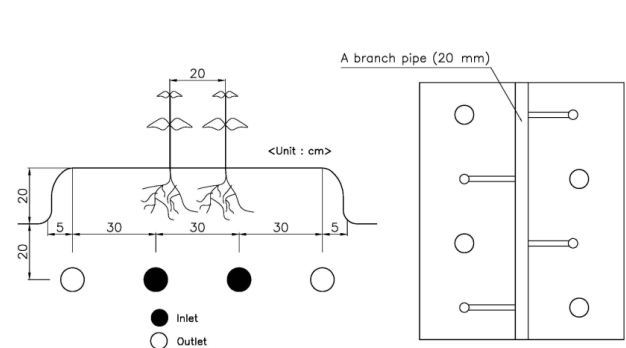


Fig. 3 The vertical section of pipe lines for traditional cucumber cultivation in greenhouse.

Table 3 Growth characteristics of cucumber seedling before planting

Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	No. of nodes	Stem diameter		Fresh weight(g/plant)		
				Scion	Stock	Above ground	Under ground	Total
8.85	3.0	41.22	3.0	4.66	4.56	5.27	0.73	6.00
±1.15	±0.0	±12.05	±0.0	±0.94	±0.38	±0.24	±0.21	±0.45



Fig. 4 The underground irrigation system.

가 공급되며 생육기간 중 주 2회 주당 4 L씩 공급하였다.

3) 재배방법

경북대학교 실습포장 내 이중 플라스틱하우스에서 2009년 10월 17일 오이 유묘를 정식하였으며 재식거리는 75×45 cm의 2조식으로 흑색 고밀도 필름으로 멀칭하여 재식하였다. 시비량은 일반농가 관행 시용량인 10 a당 퇴비 2,000 kg, 석회 200 kg, 질소 24 kg, 인산, 16.5 kg 칼리 24.0 kg을 사용하였으며 적심은 원줄기가 20마디 정도 되었을 때 실시하였다. 플라스틱하우스 내 온도조절은 주간 최고 기온이 28℃가 넘지 않도록 관리하였으며 야간온도도 최저 13℃ 이하가 되지 않도록 가온하였고 기타 관리는 표준경종관리방법으로 실시하였다. 시험구는 3반복 난괴법으로 배치하였으며 정식 후 30일 간격으로 3회에 걸쳐 초장, 엽수, 마디수, 지상부 및 지하부 등 생육특성을 조사하였다. 생육조사는 구당 5주를 굴취하여 초장, 마디수, 엽수 등을 조사한 후 각 부위별로 해부하여 엽면적 및 각 부위별 생체중과 건물중을 조사한 후 (Clipson et al., 1995; Oh et al., 1986) Duncan의 다중검정방법(Multiple Range Test)으로 유의성 검정을 실시하였다 (P=0.05). 엽면적은 자동엽적계(Delta-T형)를 사용하여 측정하였으며 생육특성 및 수량은 정식 후 약 3개월까지만 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 오이의 생육특성

겨울철 시설재배에서 관개수온은 평균지온보다 낮은 경향이 있어 오이 식물의 근권 온도가 일시적으로 2~4℃ 정도 낮아지는 경향이 있어 식물의 생육에 지장을 주는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 2001). 정식 후 생육기간 중 가온

구와 무가온구의 오이의 초장, 잎수, 엽면적, 과중에 대하여 조사한 결과는 그림 5와 같다. 대체적으로 가온구의 생육이 무가온구에 비해 양호한 경향을 보이며 생육이 진전됨에 따라 그 차이는 점점 커지는 경향을 나타낸다. 정식 후 3개월 동안의 최종 생육특성을 분석한 결과 오이의 초장은 가온구가 무가온구보다 12.5% 높게 나타났으며, 잎수는 가온구가 무가온구보다 14.6% 많은 것으로 나타났다. 또한 엽면적은 가온구가 무가온구보다 21.4% 높았으며, 과중은 가온구가 무가온구보다 22.8% 높은 것으로 나타났다. 이는 같은 결과로 보아 지중변온가온이 초기 오이의 생육에도 영향이 미치는 것으로 판단할 수 있다.

나. 오이의 식물생장을

가온구와 무가온구의 오이의 식물생장율(CGR)을 조사한 결과는 그림 6과 같으며, 단위기간당 단위면적당 건물중의 증가를 나타내는 CGR의 시기별 변화는 가온구와 무가온구 공히 정식 후 생육이 진행됨에 따라 가온구와 무가온구가 증가경향은 유사하였으나, 가온구의 CGR이 무가온구에 비해 12.1% 더 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과로 보아 지중변온가온재배가 무가온재배 보다 오이의 생육을 더 효과적으로 촉진시킨다고 판단할 수 있다. Kang 등(2002)에 의하면 오이의 시설재배시 CGR은 가온구와 무가온구에서 공히 초기에는 영양생장이 적극적으로 일어나며 그 이후에는 생식생장에 집중되므로 이와 같은 성장양상을 고려할 때 초기의 생육을 촉진시키기 위한 관리가 필요하며 그 정도가 수확기와 수량에도 영향을 미친다고 하였다. 오이 시설재배에서 지중변온가온은 근권의 지온에 영향을 주어 정식 후 활착은 물론 그 이후의 생육에도 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

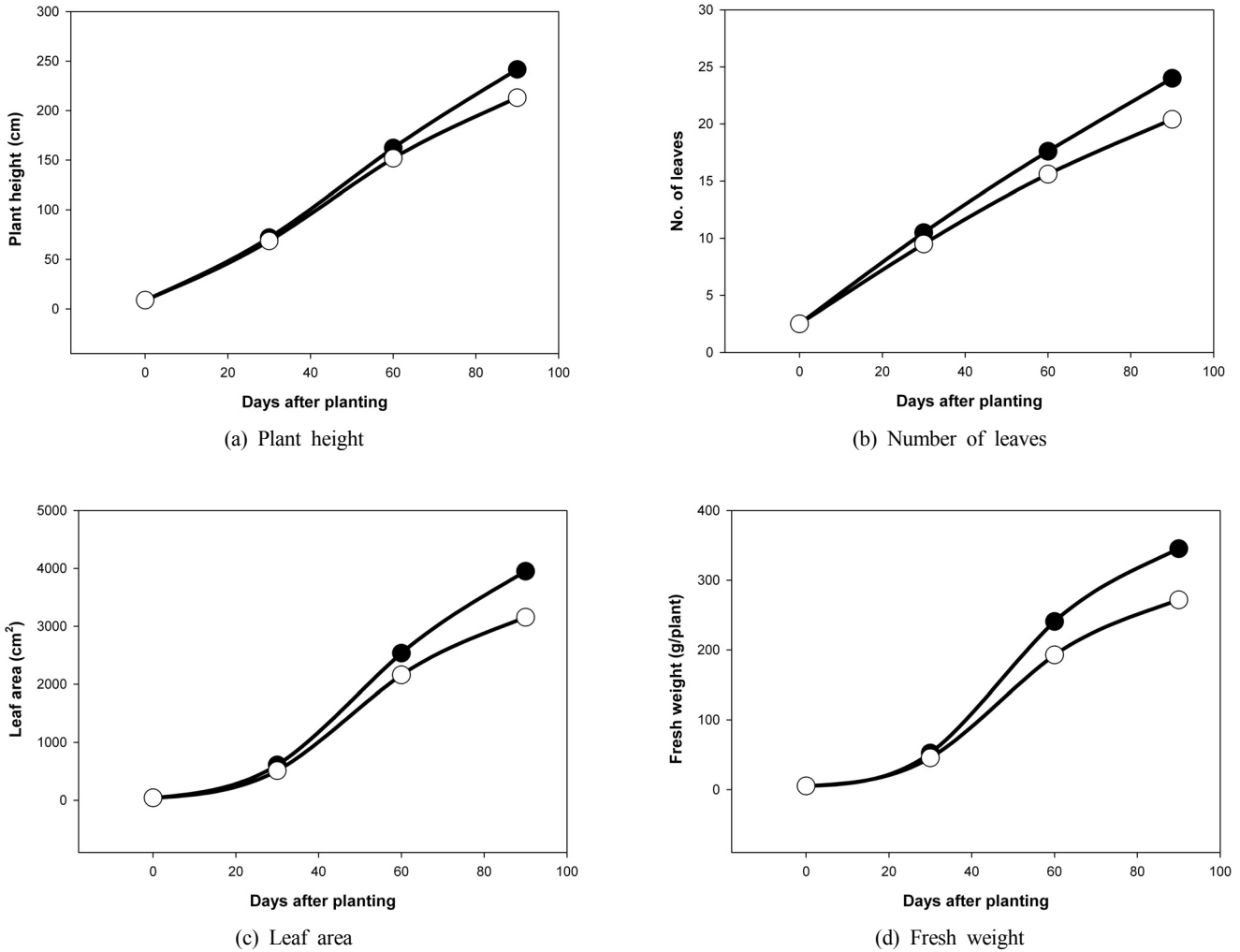


Fig. 5 Growth characteristics of cucumber plant by the soil temperature (●-●:Soil warming; ○-○:Non-warming).

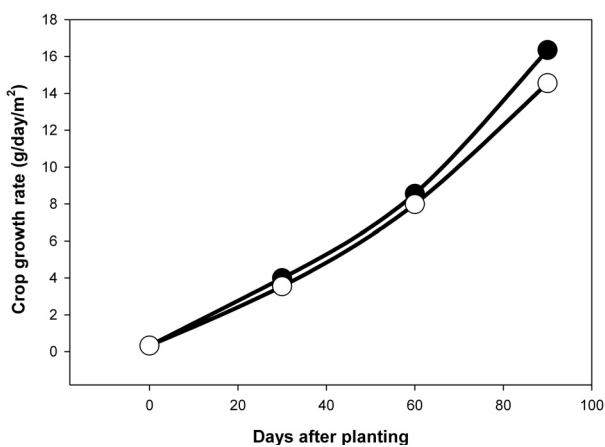


Fig. 6 Crop growth rate(CGR) of cucumber plant by the soil temperature (●-●: Soil warming; ○-○:Non-warming).

다. 오이의 수량

가온구와 무가온구의 오이의 특성과 수량을 조사한 결과, 오이 1주당 수량은 가온구가 13개, 무가온구가 10개로 나타

났으며, 과중은 가온구가 140.84 ± 8.31 g, 무가온구가 134.43 ± 7.21 g로 나타났다. 생산량은 10a 당 가온구가 5,640 kg, 무가온구가 4,020 kg으로 나타났다($P < 0.05$). 따라서 총 수량은 가온구가 무가온구에 비하여 약 26% 정도 증가되었으며, 지중변온시 가온구에서 초기의 생육이 촉진되어 수량의 증가가 이루어진 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구의 제 1보와 제 2보에서 연구된 결과를 살펴보면 2009년 10월 17일 오이 유묘를 정식한 후 겨울철 시설재배에서 지중변온가온의 효과가 초기 과실의 생육에서도 그 영향이 나타날 것으로 예측되었다. 따라서 선행연구의 결과를 이용하여 생육기간 중 오이의 초장, 잎수, 엽면적, 과중, 식물생장율(CGR), 오이의 특성과 수량에 대하여 정식 후 3개월 동안 지중변온가온시의 가온구와 무가온구에 대해 비교 시험하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 가온구가 무가온구보다 오이의 초장은 12.5%, 잎수는 14.6%, 엽면적은 21.4%, 과중은 22.8%가 높은 것으로 나타났다.
- (2) 정식 후 생육이 진행됨에 따라 가온구와 무가온구의 CGR의 증가양상은 비슷하였으나, CGR은 가온구가 무가온구 보다 12.1% 더 증가하였다.
- (3) 오이의 수량은 가온구가 무가온구에 비하여 약 26% 정도 증가된 것으로 나타났으며, 가온구에서 초기의 생육이 촉진되어 수량의 증가가 이루어지는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Clipson, N. J. W., S. L. Edwards, J. F. Hall, C. K. Leach, F. W. Rayns and G. D. Weston. 1994. Crop productivity. Butterworth Heinmann. United Kingdom or Nederland.
2. Kang, S. J., J. Y. Oh and S. S. Lee. 2002. Effect of the temperature of irrigation water on growth and fruit yield in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Journal of Bio-Environment Control 43(3):406-410. (In Korean)
3. Kim, J. H., C. S. Kim, B. S. Myung, J. S. Choi, G. H. Koo and T. W. Kim. 1998a. A development of automation system and a way to use solar energy system efficiently in greenhouse (1) -Study on temperature variation of soil heating in greenhouse-. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control. 7(1):15-24. (In Korean)
4. Kim, J. H., J. Y. Oh, G. H. Koo and T. W. Kim. 1998b. 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-. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control. 7(1):25-34. (In Korean)
5. Kim, J. H., G. H. Koo and T. W. Kim. 1999. A study on the cucumber growth by soil warming and warmed water irrigation using solar energy system (3). Journal of Biological Production Facilities & Environment Control. 8(1):1-8. (In Korean)
6. Kim, J. H., T. W. Kim, K. D. Nah, T. S. Kim, I. J. Sung and S. H. Chung. 2009. Study on the temperature variation of greenhouse soil warming using the solar energy (1). -Temperature variation of soil depth by soil warming-. Journal of Biosystems Engineering. 34(3):190-196. (In Korean)
7. Kim, J. H., T. W. Kim, K. D. Nah, T. S. Kim, E. T. Kim and S. H. Chung. 2010. Study on the temperature variation of greenhouse soil warming using the solar energy (2). -Required energy per unit area for soil warming-. Journal of Biosystems Engineering. 35(1):46-52. (In Korean)
8. Kim, T. W. and J. H. Kim. 2001. The growth of cucumber and variation of soil temperature used by warming water irrigation system. Journal of Biological Production Facilities & Environment Control. 10(1):15-22.
9. Lee, J. W. 1994. Effect of root zone warming by hot water in winter season on rhizosphere environment, growth and yield of greenhouse-grown cucumber. A Treatise for a Degree of Doctor. Kyung Pook National University. Daegu, Korea. pp. 7-8. (In Korean)
10. Oh, J. Y., K. Hoshino, M. Nonaka and M. Oda. 1986. Study on the forecast of harvesting time and analysis of the ecological response according to accumulated temperature in lettuce. Res. Rpt. RDA (Hort.). 28:11-20.
11. Takahashi Kazuko, 1983. Temperature Circumstance and Vegetable (1): Vegetable Greenhouse Horticulture. Jochang-Bookstore, Tokyo, Japan. pp. 128-129.
12. Terada, T. Y. Shigehido and H. Shigehido. 1980. System of Solar Energy in Greenhouse Horticulture. Greenhouse Agriculture Production Technical Society, Japan. pp. 4-5.