

## 지열-열펌프 시스템의 온실냉방 및 육묘 효과

이재한<sup>1</sup> · 이용범<sup>2\*</sup> · 권준국<sup>1</sup> · 강남준<sup>1</sup> · 김학주<sup>1</sup> · 최영하<sup>1</sup> · 박진면<sup>1</sup> · 이한철<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>원예연구소, <sup>2</sup>농공연구소

## Effect of Greenhouse Cooling and Transplant Quality Using Geothermal Heat Pump System

Jae Han Lee<sup>1</sup>, Yong Beom Lee<sup>2\*</sup>, Joon Kook Kwon<sup>1</sup>, Nam Jun Kang<sup>1</sup>, Hak Joo Kim<sup>1</sup>,  
Young Hah Choi<sup>1</sup>, Jin Myeon Park<sup>1</sup>, and Han Cheol Rhee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Protected Horticultural Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800

<sup>2</sup>Nation institute of Agricultural Engineering RDA, Suwon 441-100

**Abstract.** This study was carried out to investigate the effect of greenhouse cooling by a geothermal heat pump system on greenhouse temperature and growth of vegetable transplants in summer season. Greenhouse air temperature in day time was 3-4°C lower in fog plus shading system than in shading, while in night time that was 5-7°C lower in geothermal heat pump (GHP) plus shading system compared to shading or fogplus shading system. Plant height of cucumber, tomato and hot pepper transplants was shortened in GHP plus shading compared to shading or fog plus shading system. And Leaf area and dry weight were slightly decreased in GHP plus shading compared to the other systems. Therefore, healthy transplant index on cucumber, tomato and hot pepper was higher in GHP plus shading than in shading or fogplus shading system.

**Key words :** fog, geothermal, heat exchange system, heat pump

\*Corresponding author

## 서 언

시설재배는 저온기에 주로 이루어지고 있으나 온실의 이용률과 작기 확대로 고온기에 재배하는 경우가 많아지고 있다. 육묘시설의 경우에도 공정묘의 수요가 늘어나고 연중육묘가 이루어짐에 따라 고온기 육묘가 증가되고 있다. 일반적으로 묘소질은 육묘환경과 관리 방법 등에 의해서 영향을 많이 받는다고 알려져 있다. 특히 고온기 육묘는 고온으로 착과불량, 도장 등 작물의 생리상 불리한 점이 많다(Ahmadi와 Stevens, 1979). 이 시기에 대부분의 육묘농가에서는 비용이 적게 소요되는 차광이나 환기 등에 주로 의존하게 되어 효과적으로 온도를 낮추지 못하고 있는 실정이다. 그러나 일부 육묘농가에서 보다 적극적인 냉방방법으로 물의 기화열을 이용하며, 지리적인 여건을 고려하여 고랭지에서 육묘하거나 냉동기기를 이용하는 등 다양한 방법들이 이용되고 있다. 물의 기화열을 증발 냉각방법은 주간에는

효율적으로 온도를 낮출 수 있으나 야간에 습도가 높아지기 때문에 사용하기 곤란하다. 많은 과채류나 화훼작물은 야간온도를 낮추어 주면 화아분화가 촉진되는데, 호접란의 경우 고온기에도 내부온도를 주간에는 27°C이하로 야간에는 15~17°C 조건으로 유지하여야 화아분화가 촉진되기 때문에 야간에도 적극적인 냉방이 요구된다.

한편 우리나라의 경우 다른 선진국에 비해서 냉난방 에너지가 생산비에서 차지하는 비중이 높아서 이를 절감할 수 있는 기술의 개발이 절실히 요구된다. 더구나 국제기후변화 협약 등 화석연료의 사용량을 국가별로 규제하려는 움직임이 가시화되고 있다. 이러한 상황에서 에너지를 절감하고 나아가 화석 연료를 대체할 수 있는 대체에너지는 많은 관심을 가지게 한다. 대체에너지 중 지열은 태양열, 풍력 등 다른 대체에너지에 비하여 초기 투자비가 적게 들고 땅속에 매설되는 열교환 장치는 수명이 40~50년 이상이 된다. 또한 계절에

따라 변화가 적고 어느 시기에도 이용할 수 있는 지속 가능한 에너지이기 때문에 농업분야에서 유망한 자원으로 평가되고 있다. 그동안의 연구결과에 따르면 지열을 이용하기 위한 파이프의 매설위치는 깊이 50cm, 파이프 간격 50~60cm가 좋고, 지열의 재충전시간이 있는 것이 유리하다고 알려져 있다(Puri, 1986, 1987).

본 연구는 지속 이용이 가능하고 환경친화적인 지열을 이용한 열펌프 시스템을 온실의 냉방에 적용하여 고온기 육묘시설 내에서 묘의 안정적인 생산을 위한 효율적인 냉방방법을 개발하고자, 지열을 이용한 냉방 시스템의 온도하강 효과와 묘 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

본 시험은 2004년과 2005년도에 7월~10월까지 원예연구소 시설원예시험장에서 수행하였다. 시험재료로 이용한 오이(‘청화흑진주’, 홍농종묘), 고추(‘녹광’ 홍농종묘) 및 토마토(‘하우스 모모타로’, Takii) 종자를 27~28°C의 온수에 침지한 후 항온발아기에 24시간 최아시켜 72공 플러그 트레이에 육묘용 시판상토(신안정밀(주))를 이용하여 15일 간격으로 3회 파종하였다. 관수는 육묘용 플러그 트레이에 상토가 마르지 않도록 1~3회/일 실시하였다. 지열을 이용한 열펌프 시스템을 육묘시설에 적용하여 내부 온도하강 효과를 구명하고자 주간설정온도는 30°C, 야간설정온도는 16°C로 두었다. 처리는 자동차광을 하면서 주간에 포그를 살포한 것(포그+차광), 자동차광을 하면서 야간에 지열 열펌프 시스템을 이용하여 냉방한 것(지열+차광) 그리고 주간에 자동차광한 것(차광)을 대조구로 두어 비교하였다. 시험온실은 5.0×60m 규모의 단동 플라스틱온실에 3등에서 각각 실시하였다. 처리별 규격 및 용량에 있어 지열 열펌프 시스템은 냉방부하량이 19,278kcal/h, 포그살포구는 분무입자가 20~40 $\mu$ m인 송풍식 연무기(Aircool, 테인테크(주))로 전력용량 0.4Kw, 회전수 3,420rpm, 그리고 차광은 30%정도의 차광망을 사용하였다.

묘의 생육은 파종 후 7일 간격으로 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중을 조사하였다. 엽면적은 엽면적 측정계(Li-3100, Li-Cor, USA)를 사용하였고, 건물중은 80±2°C에서 48시간 건조한 후 측정하였다. 광합성 속

도는 08:00~11:00에 완전히 전개한 엽을 2회에 걸쳐 portable photosynthesis system(Li-6400, Li-Cor, USA)를 이용하여 처리당 5주를 3반복하여 평균값을 나타내었다. 엽록소 함량은 생체시료 0.5g을 잘게 섞어 100% 메탄올 20mL의 용매와 같이 삼각플라스크에 넣어 24시간 상온(암상태)에 두면서 2~3시간 마다 추출용매를 첨가하고 흔들여 준 후, UV-visible spectrophotometer(Cary-100, Varian, Australia)를 이용해 665.2 및 652.4nm의 파장대에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. C/N율은 지상부를 절단하여 80±2°C에서 48시간 건조한 후 마쇄하여 비색법으로 질소 및 탄소 화물 함량을 측정된 후 산출하였다. 냉방방법별 온도변화는 datalogger(CR23X, Campbell)에 써머커플을 이용하여 연속 측정하였다. 시험결과는 SAS 프로그램을 이용, Duncan의 다중검정으로 통계 분석하여 처리간 평균값을 비교하였다.

## 결과 및 고찰

지열을 이용한 열펌프 시스템을 육묘시설에 적용하여 처리구별 7월 24일에서 7월 28일까지 5일간의 시설 내 평균온도를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 주간에는 차광구에 비해서 포그+차광구의 평균온도는 3~4°C 낮았고, 야간에는 차광구 및 포그+차광구에 비해서 지열+차광구는 평균온도가 5~7°C 낮았다. 고온기에 환기만을 처리한 것에 비해 차광을 하면 내부온도를 3°C 정도 하강효과가 있고(Kwon 등, 1998), 팬, 팬+차광, 팬+차광+포그구에서 일중 평균온도(08:00~19:00)는 팬 단용구에 비해 팬+차광구는 0.3°C, 팬+차광+포그구는 2.7°C 하강효과가 있어 기화열을 이용한 것이 냉방효과가 높다고 하였다(Choi 등, 2002). 기화열을 이용한 냉방은 물이 증발될 때 증발잠열에 의해 열을 더 빼앗기게 되므로 공기가 건조할수록 증발 현상이 활발하여 냉방효과가 더 커진다. 본 시험에서도 포그+차광구는 차광구에 비해 온도가 낮았다. 그러나 주간에는 시설 내에 유입되는 과도한 일사량으로 인하여 외부기온보다 더 낮추는 것은 많은 비용이 들기 때문에 야간에 하는 것이 효과적이라 하였는데(Kozai 등, 1986; Quan과 Takakura, 1988), 지열을 이용하여 야간에 냉방을 한 지열+차광구는 다른 처리구 및 외부기온보다 평균온도를 5~7°C 더 낮출 수가 있

지열-열펌프 시스템의 온실냉방 및 육묘 효과

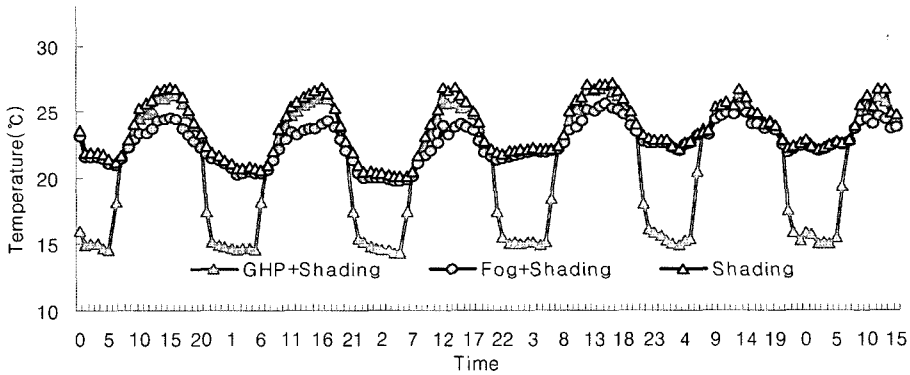


Fig. 1. Changes of temperature according to cooling methods on July 24 to 28, 2005.

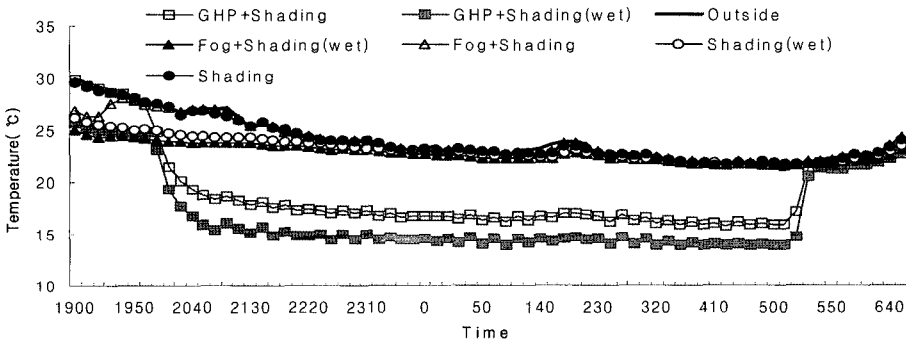


Fig. 2. Changes of dry and wet temperature according to cooling methods on July 19 to 20, 2005.

어 효과적이라고 사료되지만 경제성 등은 추후 검토가 필요할 것으로 판단된다.

냉방처리에 따른 건·습구의 야간 온도변화(7.19~7.20, 22:00~05:00)는 Fig 2와 같다. 차광구 및 포그+차광구의 야간 건·습구 평균온도는 22~23°C로 외기온과 비슷하였다. 그러나 지열을 이용하여 냉방을 한 지열+차광구는 내부 습구온도가 15°C내외로 다른 처리보다 7~8°C 더 낮았고, 건구온도는 17°C 내외로 5~6°C 더 낮게 나타났다.

특히 야간에는 온실을 냉방하는데 있어 고온기에는 상대습도가 높아서 습구와 건구의 온도차이가 작기 때문에 기화열을 이용하여 온도를 하강시키는 것은 곤란하다. 따라서 냉동기기를 이용하거나 지열을 이용하여 온도를 하강시키는 것이 보다 효율적으로 냉방을 할 수 있으리라 사료된다.

Table 1은 냉방방법과 시험작물별로 7월 상, 7월 하순, 8월 상순에 파종하여 오이는 21일, 토마토와 고추는 35일 육묘 후 지상부 생육을 조사한 결과이다. 생

육에 있어 차광구에 비해 포그+차광구, 지열+차광구는 초장이 오이 4%, 26%, 고추 12%, 23%, 토마토 7%, 24% 각각 감소하였고, 엽면적은 오이 5%, 42%, 고추 11%, 34%, 토마토 12%, 37% 각각 감소하였으며, 생체중은 오이 10%, 36%, 고추 15%, 40%, 토마토 15%, 39% 각각 감소하였다. 그리고 건물중 및 경경의 경우에도 같은 경향이었다.

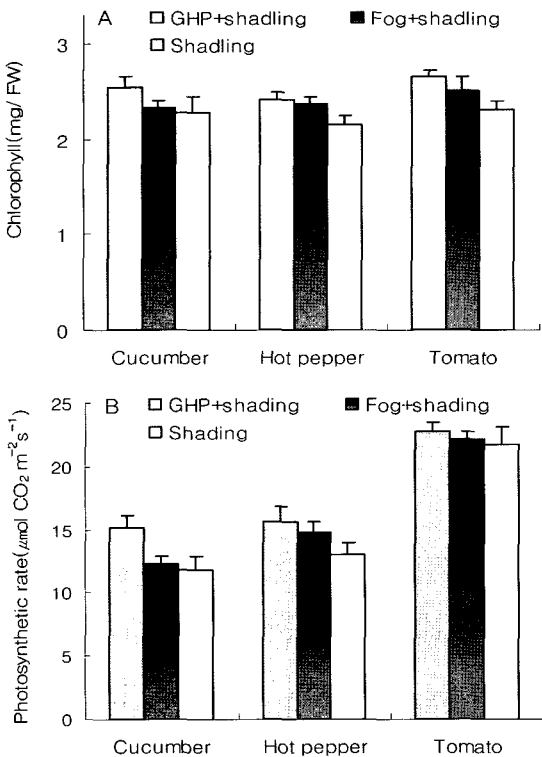
묘의 신장을 조절하기 위해 생장조절물질 (Barrett과 Nell, 1992), UV-B(Kwon 등, 2003), 물리적인 자극 (Choi 등, 2001)등을 이용한 결과 초장 및 엽면적 등은 감소하여 절간신장이 억제된 반면에 잎이 두꺼워지고 줄기가 굵어져서 비대생장은 촉진된다고 하였다. 본 시험에서는 야간냉방을 한 지열+차광구에서 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중 등 감소가 뚜렷하였다. 일반적으로 고온기에 육묘가 이루어지는 억제재배나 축성재배 작형의 육묘시에는 고온·다습한 환경, 밀식 등으로 묘가 연약해지고 도장되는 것이 문제점으로 지적하였는데(Choi 등, 2002), 지열을 이용하여 냉방을 한

**Table 1.** Comparison of growth on cucumber, hot pepper and tomato seedling by cooling methods<sup>2</sup>.

Treatment	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> /plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Stem diameter (mm)
Cucumber					
GHP+shading	18.9 b <sup>1</sup>	126 b	7.5 b	0.53 b	5.4 b
Fog+shading	24.5ab	206 a	10.5 a	0.61ab	5.6 a
Shading	25.4 a	217 a	11.7 a	0.67 a	5.7 a
Hot pepper					
GHP+shading	27.9 b	117 b	4.3 b	0.54 b	3.3 a
Fog+shading	32.2ab	158 a	6.0 a	0.64 a	3.6ab
Shading	36.4 a	177 a	7.1 a	0.72 a	3.9 a
Tomato					
GHP+shading	28.8 b	151 b	8.4 b	0.83 b	4.9 b
Fog+shading	34.9 a	210 a	11.7 a	0.94 a	5.3ab
Shading	37.6 a	239 a	13.7 a	0.98 a	5.6 a

<sup>1</sup>Investigated at 21 days after germination for cucumber and 35 days after germination for hot pepper and tomato.

<sup>2</sup>Mean separation within columns Duncan's multiple range test at P=0.05.



**Fig. 3.** Comparison of the chlorophyll content (A) and photosynthetic rate (B) on cucumber, hot pepper and tomato seedling by cooling methods. Vertical bars indicate standard errors.

지열+차광구는 도장 억제효과가 가장 높게 나타났다.

Fig. 3은 냉방방법에 따른 엽록소 함량 및 광합성 속도( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )를 측정된 결과이다. 엽록소의 함량 및 광합성 속도에서 지열+차광구는 차광만을 처리한 구에 비해 높았는데 이는 엽면적이 작아짐으로써 단위 면적당 엽록소 함량이 증가한 것으로 여겨지며 이러한 것이 광합성 속도에서도 영향을 주었다고 판단된다.

묘의 C/N율에서는 야간에 지열을 이용하여 냉방을 한 지열+차광구는 주간에 냉방을 처리한 포그+차광구 및 차광구에 비해 높았다(Fig. 4). 이 결과는 야간에 지열을 이용하여 온도를 하강시킨 지열+차광구는 다른 처리구에 비해 온도를 효과적으로 낮출 수 있어 상대적으로 동화산물의 소모를 적게 하고 도장을 억제 하였던 결과로 사료된다. 토마토, 고추, 가지 등과 같은 작물에서 화아분화에는 C/N율이 중요하며 극단적인 영양생장 쪽으로 편향되지 않으면 영양생장량이 많은 묘가 화아분화가 촉진되고 화아발육 및 과실비대 등이 빨라지고(Rylski 등, 1993), 잎 내에 많은 량의 탄수화물이 저장되면 측지와 같은 영양생장기관의 유기에 유리하게 작용한다(Reddy 등, 1998). 토마토의 경우 1~2회방의 착과절위는 식물체내의 탄수화물이 많으면서 C/N율의 균형이 적절한 묘 일수록 착과절위가 낮아지고(Scoot와 George, 1984), 고온기에 야간온도를

## 지열-열펌프 시스템의 온실냉방 및 육묘 효과

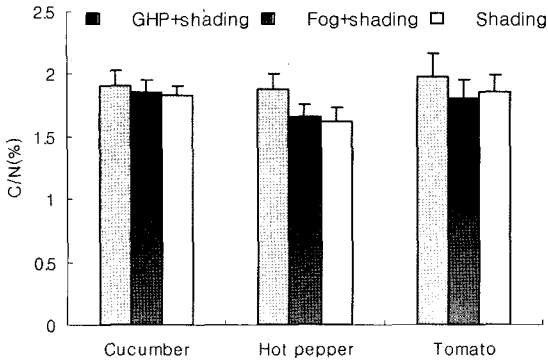


Fig. 4. Comparison of the C/N rate on cucumber, hot pepper and tomato seedling by cooling methods. Vertical bars indicate standard errors.

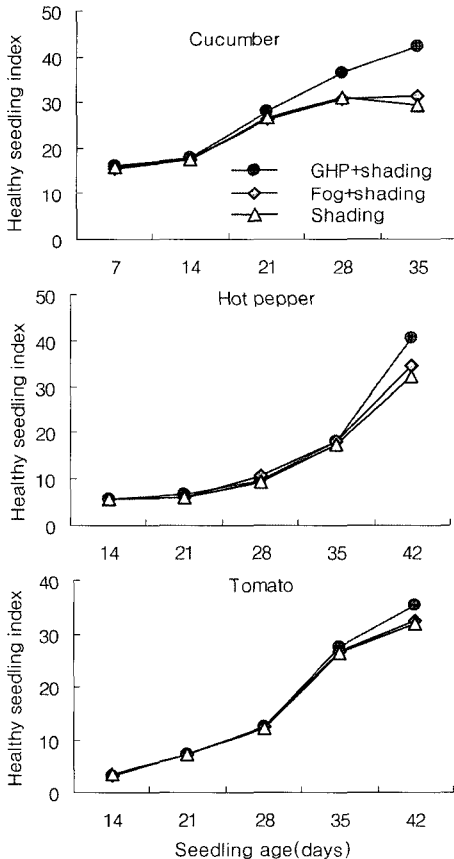


Fig. 5. Comparison of the healthy seedling index on cucumber, hot pepper and tomato seedling by cooling methods.

17~18°C로 관리하면 착과절위를 2~3절 낮출 수 있다고 하였다(Choi 등, 1996). 따라서 정식 후 생육 및 수량을 조사하지는 못하였지만 야간에 온도를 낮게 관

리한 지열+차광구는 화이분회를 촉진하고, 착과절위를 낮추는 효과가 있을 것으로 짐작할 수 있다.

Fig. 5는 냉방방법에 따른 초장/건물중의 값을 지수화하여 건묘지수를 나타낸 결과이다. 오이의 경우에는 파종후 28일 이후, 고추와 토마토에서는 42일 이후에 차이가 나타났다. 냉방방법간에서는 지열+차광구는 다른 처리구보다 건묘지수가 높게 나타났다. 특히 오이의 경우는 건묘지수의 차이를 뚜렷이 볼 수 있었으나 고추 및 토마토의 경우에는 건묘지수의 차이가 적었는데 이는 작물 특성상 오이는 고추 및 토마토에 비하여 적정 육묘일수가 짧고, 온도에 대한 생육반응이 컸기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

이상의 결과로 보아 지열을 이용한 지열+차광구는 야간온도를 차광구보다 5~7°C 낮출 수 있어 고온기 육묘시 묘의 도장을 억제할 수가 있고 양질의 묘 생산에 효과적인 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 지열시스템은 초기 투자비가 비교적 많이 소요되기 때문에 보급하는데 어려운 점이 있겠으나, 대체에너지 중에서 비교적 저렴하게 난방 및 냉방에 이용할 수가 있어 경제성 등을 면밀히 검토할 필요가 있다고 생각된다.

## 적 요

지열을 이용한 열펌프 시스템이 온실의 냉방과 과채류의 묘소질에 미치는 영향을 구명하였다. 온실 내 기온은 주간에는 차광구에 비해서 포그+차광구가 3~4°C 낮았고, 야간에는 지열-열펌프+차광구가 차광 및 포그+차광구에 비해 5~7°C 낮았다. 오이, 고추 및 토마토 묘의 초장은 차광이나 차광+포그구에 비해 지열-열펌프+차광구가 가장 짧았고, 엽면적과 건물중은 지열-열펌프+차광구가 다른 처리에 비해 약간 작았다. 결과적으로 건묘지수는 지열을 이용하여 냉방을 한 지열+차광구는 포그+차광구 및 차광구에 비해 모두 높게 나타났다.

주제어 : 지열, 열펌프, 열교환, 포그

## 인용 문헌

1. Ahmadi, A.B. and M.A. Stevens. 1979. Reproductive

- responses of heat-tolerant tomatoes to high temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104:692-694.
2. Barrett, H.E. and T.A. Nell. 1992. Efficacy of paclobutrazol and uniconazole on bedding plant species. *HortScience* 27:896-897.
  3. Choi Y.H., J.W. Cheong, G.B. Kwon, and K.Y. Kwang. 1996. Effects of low night time temperature in the nursery on growth of seedlings, field-grown plants and yield of tomatoes in late raising. *RDA J. Agri. Sci.* 38(2):421-426.
  4. Choi Y.H., J.L. Cho, H.C. Rhee, D.K. Park, J.K. Kwon, and J.H. Lee. 2002. Effects of summer grown seedling quality on growth and yield of tomato. *J. Kor Soc. Hort. Sci.* 43:395-398.
  5. Choi Y.H., H.C. Rhee, D.K. Park, J.K. Kwon, and J.H. Lee. 2001. Effects of mechanical stimulation and chemical treatments on growth of seedlings and yield of tomato. *J. Kor Hort. Sci. and Tech.* 19:320-324.
  6. Kozai, T., Z. Quan, M. Hayashi, I. Watanabe, T. Shinko, and H. Higuchi. 1986. Cooling load of a greenhouse (2). Reduction of the cooling load in night time. *J. Agr. Met.* 41:351-357.
  7. Kwon, J.K., J.C. Park, J.H. Lee, D.K. Park, and Y.H. Choi. 2003. Effect of UV-B irradiation on overgrowth retardation of plug-grown fruit vegetable transplants. *J. Kor Soc. Hort. Sci.* 44:458-463.
  8. Kwon, J.K., Y.C. Um, D.K. Park, J.H. Lee, and K.W. Kang. 1998. Effect of automatic shading during summer season on growth and yield of fruit vegetables in plastic film house. *RDA J. Hort. Sci.* 40:1-7.
  9. Puri, V.M. 1986. Feasibility and performance curves for intermittent earth-tube heat exchangers. *Trans. of the ASAE.* 29:525-532.
  10. Puri, V.M. 1987. Earth-tube heat exchanger performance correlation using boundary element method. *Trans. of the ASAE.* 30:514-520.
  11. Reddy, K.R., R.R. Robana, H.F. Hodges, X.J. Liu, and J.M. Mckinion. 1998. Interactions of CO<sub>2</sub> enrichment and temperature on cotton growth and leaf characteristics. *Environ. Exp. Bot.* 39:117-129.
  12. Rylski, I., B. Aloni, L. Karni, and Z. Zaidman. 1993. Flowering, fruit set, fruit development and fruit quality under different environmental conditions in tomato and pepper crops. *International Soc. Hort. Sci.* 32:45-55.
  13. Quan, Z. and T. Takakura. 1988. Estimation of the seasonal cooling or heating load using a simulation model. *J. Agr. Met.* 44:187-194.
  14. Scott, J.W. and W.L. George. 1984. Influence of pollination treatments on fruit set and development in parthenocarpic tomato. *HortScience* 19:874-876.