

## 시설원예용 태양열 시스템의 효율적 이용과 자동화 장치개발(1)

- 시설재배시 지중가온의 온도변화 연구 -

김진현·김철수\*·명병수·최중섭·구건효\*\*·김태욱  
상주산업대학교 기계공학과, \*토목공학과, \*\*구미전문대학 원예과

## 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 -

Kim, J.H · \*Kim, C.S · Myung, B.S · Choi, J.S · \*\*Koo, G.H · Kim, T.W  
Dept. of Mach. Eng., Sangju National Polytechnic Univ.,  
Sangju, Gyeongbug, Korea  
\*Dept. of Civil Eng., Sangju National Polytechnic Univ.,  
Sangju, Gyeongbug, Korea  
\*\*Dept. of Horticultural science, Kumi College,  
Kumi, Gyeongbug, Korea

### Abstract

The greenhouse temperature controls in general have been managed by the above-ground part environment. But the temperature of root zone was known very important factor for the growth and the yield of vegetables in greenhouse.

The purpose of this study is to develop a good method for cultivation using solar energy which can apply warming soil and to develop the greenhouse soil temperature automatic control system.

Followings are summary of this study:

1. When the greenhouse inner temperature changes were about 24℃ during a day in October, the temperature of non-warmed soil was differed 6℃ in the depth 10 cm and 3℃ in the depth 20 cm.

2. When water supply temperature was kept at 40, 50 and 60℃, the lowest soil temperature in the depth of 10 cm is 20℃ and that of 20 cm was 23℃. and when the water supply temperature was over 40℃, the space heating temperature did not affect the temperature variation of soil.

3. In comparision with conditions of the warmed and non-warmed soil, when the water supply temperature is 28℃, soil temperatures had the high

temperature of 4℃~7℃ in the depth of 10 cm to 20 cm.

4. The line of boundary area was appeared in the depth of 15~20 cm, 13~19 cm and 12~17 cm, when the water supply temperature was 40℃, 50℃ and 60℃.

5. When the inner greenhouse air temperature is maintained over 11℃ and the water supply temperature is supported 28℃, the lowest temperature is kept up over 20℃.

주제어 : 시설재배, 온실, 지중가온, 온도계측, 지온

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

## 서 론

시설재배의 생육은 지상부의 온도에 주로 영향을 받지만, 토양의 온도가 낮을 경우에는 양분의 흡수가 불량하고, 토양미생물의 활동이 떨어진다. 특히 세균의 발달이 억제될 뿐만 아니라 코르크화가 촉진되고, 정식후 묘의 활착이 지연되어 토양수분의 흡수가 불량해지므로 생육이 저하된다<sup>1)</sup>.

일반적으로 시설채소는 근권에 적합한 지온이 18~22℃로 알려져 있고, 시설오이의 경우 최저한계지온이 13℃~15℃이며 최고한계지온은 25℃로 알려져 있다<sup>2) 3) 4)</sup>. 25℃ 이상에서는 뿌리의 호흡에 의한 소모가 촉진되어 생육이 불량하게 된다<sup>5)</sup>.

겨울철 시설내의 난방상태에서 토양의 무가온시 지중의 최저온도는 지중 15 cm에서 약 15℃로 나타나 시설오이의 경우 최저지온에 비하면 약 3℃~7℃가 떨어지므로 묘의 활착 증진과 생장촉진을 위해 지온의 상승이 절실하다고 볼 수 있다.

시설내의 지온은 가온하지 않는 경우 지중 40 cm에서는 일일 중 온도 변화가 0.5℃ 미만으로 나타나 온도의 변화가 매우 둔감하다. 또한 근군의 한계 깊이도 일반적으로 10~30 cm이므로, 지중가온용 파이프 내경을 100~

120 mm로 사용할 경우, 지중 40 cm를 매설 깊이로 주로 설정한다<sup>6)</sup>. 최근 동절기 시설재배에 지중가온에 의한 증수효과는 약 50% 이상으로 알려져 있어, 지중가온을 위한 전기료나 난방에너지의 고비용에도 불구하고 보일러 등을 사용한 지중가온을 농가에서 많이 시도하고 있다. 그러나 대부분 지중가온의 토양온도 특성에 대한 정확한 자료의 부족으로 40℃~50℃로 간헐적인 공급을 하거나, 드물게는 이보다 높은 가온수를 공급함으로써 에너지의 손실이 외에 식물의 뿌리에도 과온으로 인한 장애를 주게된다.

토양에 전도되는 가온수의 열전달은 공급온도와 더불어 토양의 수분도 중요한 인자로 작용되어 열과 물의 흐름을 동시에 해석하여 수치화하는 것은 매우 복잡하다<sup>7)</sup>. 지중가온의 특성에 관한 이론은 토양에 유입되는 에너지와 유출되는 에너지, 관의 열전달 특성, 내기온의 변화와 유량, 관의 단면적과 길이 등의 자료로부터 근역의 에너지 관계를 구명함으로써 가능하다.

그러나 실용화를 전제로 한 지중가온의 연구와 겨울철 지온변화의 연구는 대단히 미흡한 실정이며, 최근 공해문제와 에너지 절감 측면에서 태양열의 이용은 그 중요성이 강조되고 있다.

일반적으로 단기축열의 경우 온실면적의 20%를 집열판의 면적으로 설계<sup>8)</sup>하고 있으나, 비용이 높아 태양열 에너지의 효과적인 이용방법의 연구개발이 절실한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저밀도의 태양열 에너지의 효율적인 이용을 위하여 근역의 토양을 가온수로 가온할 경우, 파이프의 주변과 지중에 변화하는 온도를 연속 계측하는 시스템의 개발과 얻어진 기초자료로부터 지중온도의 특성을 구명하여, 시설재배의 효과를 극대화 할 수 있는 지중가온 기술을 규명하고 보급하는데 필요한 자료를 얻고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험장치

#### 가. 지중가온 장치

시설내의 지중가온수의 온도 변화에 따른 지중전열효과를 연구하기 위하여 폭과 길이가 15 m × 35 m인 무기둥 온실에 Fig. 1과 같이 장치하였다.

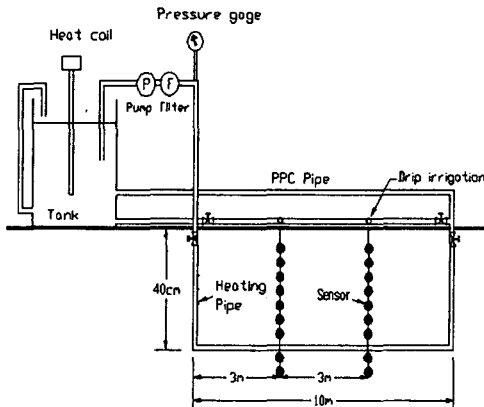


Fig. 3. The experimental device for measurement of the soil heating temperature

그림에서와 같이 토양을 일종의 축열장치로 이용할 목적으로 가온관을 매설하였다. 지중은

도의 변화를 계측하기 위하여 지중 40 cm 하단에 PPC 파이프(지름 15 mm)를 10 m 길이로 매설하고, 파이프의 매설 시작점에서 6 m 위치에 온도센서를 설치하였다. 수조는 100 l 용 플라스틱 용기를 이용하였고, 전열은 1.5 kW의 히터를 사용하여 가온하였다. 온도의 계측은 수조의 온도, 순환수의 유입구 및 유출구 온도, 지온 등 모두 59점을 계측하였다.

#### 나. 지중온도 계측점

가온관 주위의 토양온도를 계측하기 위하여 수직 5 cm, 수평 5 cm 간격으로 제작된 격자망에 온도센서를 Fig. 2와 같이 부착시켰다. 지중축열의 효과를 지하부로의 열전달을 고려하

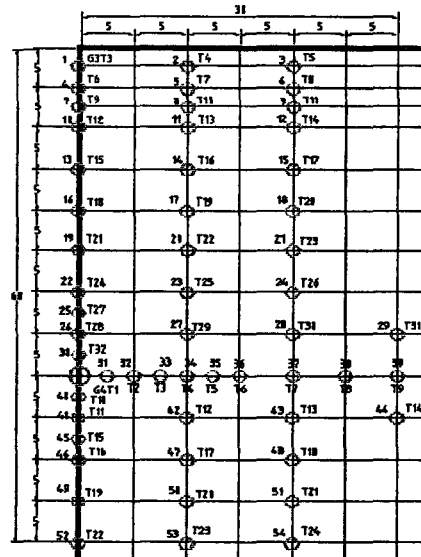


Fig. 2. The sensor positions for the soil temperature measurement.

여 지중 60cm까지 설치하였다. 지온계측센서는 지름 3mm, 길이 30mm의 T-type 보상도선을 이용하였다.

#### 다. 온도계측 시스템

가온관 파이프 주변의 지온계측은 128 Points까지 계측할 수 있으며, 온도계측 시스

템은 Fig. 3과 같다.

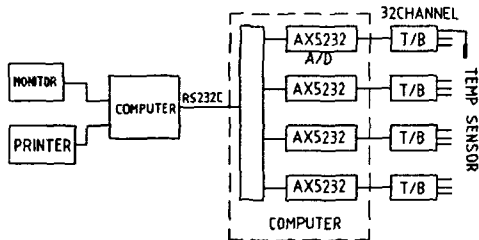


Fig. 3. Computer system for the soil temperature measurement of 128 points.

Fig. 3에서와 같이 온도계측용 인터페이스 (AX5232, AXIOM) 4장을 12-Slot용 산업용 컴퓨터(AX6150A, AXIOM)에 설치하고 RS232C를 통하여 시스템제어 컴퓨터로 연결하였다. AX5232는 32Ch의 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 부터 AX5232 컨버터를 통하여 측정된 데이터는 MODICON 산업용 컴퓨터에서 일시 기억후 RS232C 직렬 통신케이블을 통하여 스테이션에 실시간(Real time) 기록되도록 하였다.

#### 라. 토양조건

지중가온의 온도계측을 위하여 사용된 토양은 삼각좌표분류법상 Silty sand에 해당하며, 토양의 특성은 표 1과 같다. 그리고 지중가온 시험시 토양함수비는 13.2~17.3%(깊이 10~

30 cm)로 비교적 건조한 상태에서 실험하였다.

Table 1. Soil classification used in the experiment.

Depth (cm)	Soil Classification	W <sub>n</sub> (%)	W <sub>L</sub> (%)	I <sub>p</sub>	G <sub>s</sub>	Cu	USCS
10~30	Silty sand	1.32	42.2	5.95	2.63	70.9	SM

## 2. 실험방법

### 가. 지중가온

지중가온 실험은 시설하우스내의 재배용 토양에서 실시하였고, 물의 가온은 전기히터(1.5 kW)를 사용하였으며, 100 l용 수조를 통하여 공급온도를 60℃, 50℃, 40℃로 하였다. 온도는 하우스 내기온과 공급입구온도, 출구온도, 수조의 온도 그리고 가온관의 주변온도를 계속 하였다. 계측점은 55 Points이며 관의 주변에는 변화가 민감할 것으로 보아 2.5 cm 간격으로 센서를 설치하고 주변에는 5 cm 간격으로 하였다.

### 나. 온도계측

Fig. 4는 온도계측을 위하여 WIZCON을 이용하여 개발한 프로그램으로 모니터링의 초기화면을 나타낸다. Fig. 4에서와 같이 현장의 온도 계측점으로부터 인식된 자료는 산업용 컴퓨터의 직렬통신포트를 통하여 시스템제어 컴퓨터로 전달된다. 데이터의 입력을 위하여 프로그램의 PLC를 정의하고 통신프로토콜 등의 설정이 필요하며, 입력된 자료는 각각의 채널를 통하여 시스템제어 컴퓨터에서 Image화 된다. 또한 실험의 관측을 더 세분화하기 위하여 계측영역별로 작업창을 설정하였다. 계측된 모든 자료는 실시간으로 전송 저장되며 데이터분석용 워크시트 및 등온선 분석용 그래픽 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

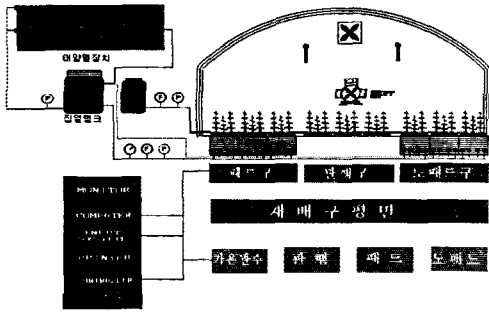


Fig. 4. The monitoring graphics for the soil temperature measurements.

## 결과 및 고찰

### 1. 무가온구의 지중온도변화

Fig. 5는 실험기간중 하우스내부를 난방하지 않은 상태에서 10월중의 하루를 택하여 외기온의 변화에 따른 깊이별 지온변화를 나타내었다.

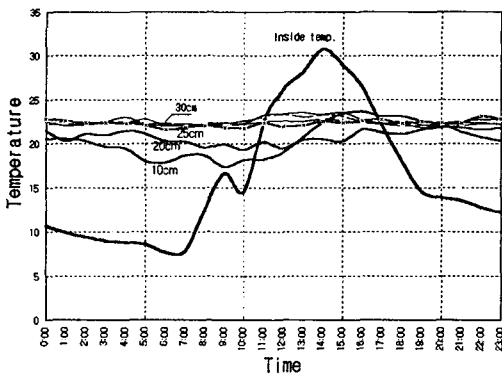


Fig. 5. Relation between soil temperature and elapsed time at inner ambient temperature changes in the greenhouse(1996.10.13).

하우스 내기온의 일일중 온도차이는 야간 최저 7°C에서 주간 최고 31°C로 24°C의 차이를 보이고 있다. 지온변화는 작물의 뿌리 활착에 영향을 미치는 지중 10 cm부근에서 최저 17.5, 최고 23.5°C로 6°C정도의 차이가 낮으며, 20 cm 부근에서는 최저 19°C, 최고 22°C로 3°C의 차이를 나타내었다.

주간에 하우스 내부온도의 상승으로 인하여 지온이 서서히 가열되기 시작하여 오후 8시경에 깊이별 온도차가 가장 작은 것으로 나타났다. 이후 부터 표면온도가 서서히 냉각되기 시작하여 지중 20cm 부근의 온도변화는 하우스 내기온이 최저온도가 되는 오전 7시부터 약 3시간이 경과된 오전 10시에 최저온도를 나타내고 있다.

일반적으로 연료비절감 등의 문제로 야간에 하우스 내기온을 작물 생육적온보다 낮은 생육 최저온도 수준으로 난방을 할 경우 적온이하로 내려간 지온이 주간으로 이어진다.

온도가 현저히 낮은 야간에 토양을 일정온도로 상승시키는 야간뿐만 아니라 주간생육에도 상당한 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

본 실험에서는 야간의 지온변화를 최소화하여 작물생육의 적정온도 공급범위를 결정하기 위해 지온변화가 최소가 되는 오후 8시부터 다음날 오전 8시까지의 지중가온수 온도변화를 측정하여 무가온 상태와 가온상태의 지온변화를 측정하였다.

### 2. 가온수의 온도에 따른 지온의 변화

가온수의 온도변화에 따른 지온의 깊이별 온도변화를 예측하기 위해 온도를 40°C, 50°C, 60°C로 변화시켜 시간별 온도변화를 측정하였다. 또한 예측시점을 무가온일 경우 상하온도차가 거의 없는 오후 8시부터 익일 오전 7시까지로 하였다.

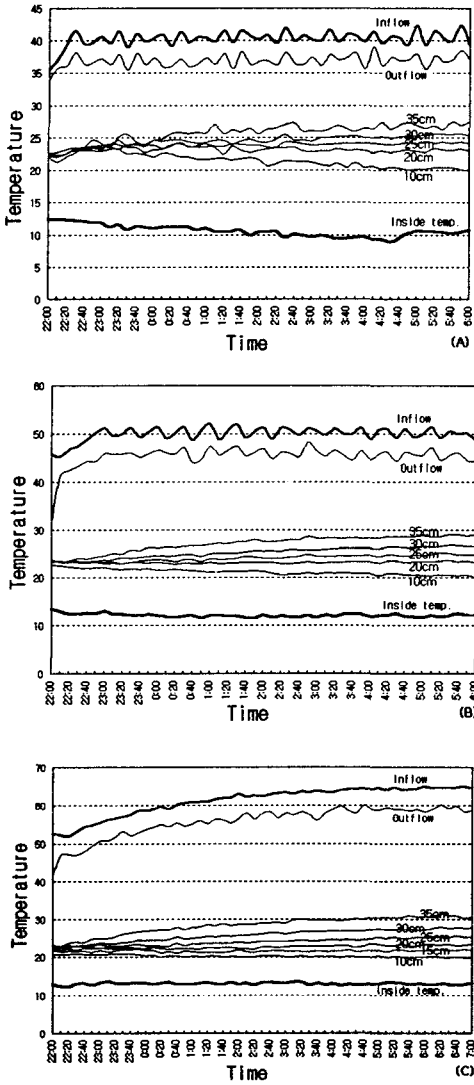


Fig. 6. Relation between soil temperature and elapsed time at the supplied water temperature is 40°C(A), 50°C(B) and 60°C(C).

Fig. 6은 하우스 내기온이 약 10°C~12°C일 때 가온수 온도를 각각 40°C, 50°C, 60°C변화 시켜 야간의 깊이별 지온변화를 나타내었다.

가온온도가 40°C, 50°C, 60°C로 변화하였음에도 불구하고 지중 10 cm의 최저온도는 약 20°C, 지중 20 cm의 최저온도는 약 23°C로 나타났다. 따라서 가온온도가 40°C이상일 경우 가온온도에 따른 지중 10 cm~20 cm사이의 온

도변화는 미세하여 가온온도의 영향이 적었다. 그러나 최저온도를 20°C이상으로 상승시킬 수 있었다.

Fig. 7은 가온온도가 40°C, 50°C, 60°C이고 파이프 매설깊이가 12 m일 경우 유입구와 유출구의 1일 평균온도차를 나타내는 것으로, 40°C일 경우 3.5°C, 50°C일 경우 4.4°C, 60°C일 경우 5.4°C정도로 이 구간에서 거의 선형적으로 변화하였으며, 가온온도에 대한 유출입구의 온도차는 식(1)과 같다. 이것은 파이프직경 15 mm에서 방열되는 열량이 일정 온도구간에서 수온의 상승에 따른 물의 비중 차이가 다른 요소에 비해 상대적으로 작고, 가온수의 유량과 파이프의 길이 및 직경이 같으므로 방열량은 가온수온도와 지중온도차 함수로 나타난다.

$$\Delta T = 0.09591T + 2.5451 \quad (R^2 = 0.9966) \dots (1)$$

여기서,  $\Delta T$  = 유입구와 유출구의 온도차(°C)  
 $T$  = 가온수 온도(°C)

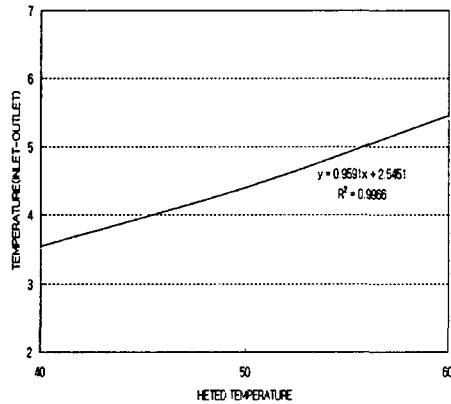


Fig. 7. The average differential temperature between inflow and outflow of heating supplied water during a day.

Fig. 8은 가온수의 온도가 40°C, 50°C, 60°C일 경우 토양수직단면의 온도분포를 나타내고있다. 여기서 모두 지중 20 cm까지는 등온선 분포가 확연하게 나타나 지중가온의 영향

을 받는 것으로 나타났다.

40℃의 경우 지중 15~20 cm 부근에서 등온선 22℃의 선형상태로 일정한 분포를 나타내고 있다. 이 영역은 지상부의 온도변화와 지하부의 온도변화가 교차되는 경계영역으로 생각된다.

50℃의 경우는 지중 13~19 cm 부근에서 21.2℃로 선형변화를 나타내고 있어, 지상부의 온도변화와 지하부의 온도변화가 교차하는 영역으로 예측되었으며, 60℃의 경우는 지중 12~17 cm 부근에서 22℃로 선형변화를 나타내고 있어 이 부근이 경계영역으로 예측되었다.

이것은 가온수의 온도를 40℃에서 50℃로 10℃ 상승시킴에 따라 지상부와 지하부의 열유동 경계층을 2 cm정도 상승시킬 수 있고, 또한 가온수를 50℃에서 60℃로 10℃ 상승시킴에 따라 경계층을 1 cm정도 상승시킬 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 40℃이상의 가온수의 공급시 지중 15~20 cm이하의 온도를 일정온도 이상으로 유지시킬 수 있었다. 따라서 근군의 깊이가 15~20 cm인 경우에는 지온의 적정온도를 20℃로 가열하기 위해서 본 실험조건에서는 40℃보다 낮은 온도로 가온되어야 할 것으로 사료된다.

### 3. 겨울철 지중가온 및 무가온시의 온도 변화

가온수의 온도를 40, 50, 60℃로 변화시켜 지온을 측정한 결과, 지중 15~20 cm 이하에서 지온을 20℃ 이상으로 유지시킬 수 있었다. 여기서 가온수의 온도가 상승할수록 지상부 온도변화와 지하부의 온도변화 경계영역이 약간 상승하는 경향을 나타내고 있다.

그러나 고온수의 공급에 의한 지중가온은 지하부의 온도를 지나치게 상승시켜 지하부의 미생물 생육을 억제할 수 있어 토양조건을 악화시킬 수도 있다. 또한 지하부 및 지상부의 온도

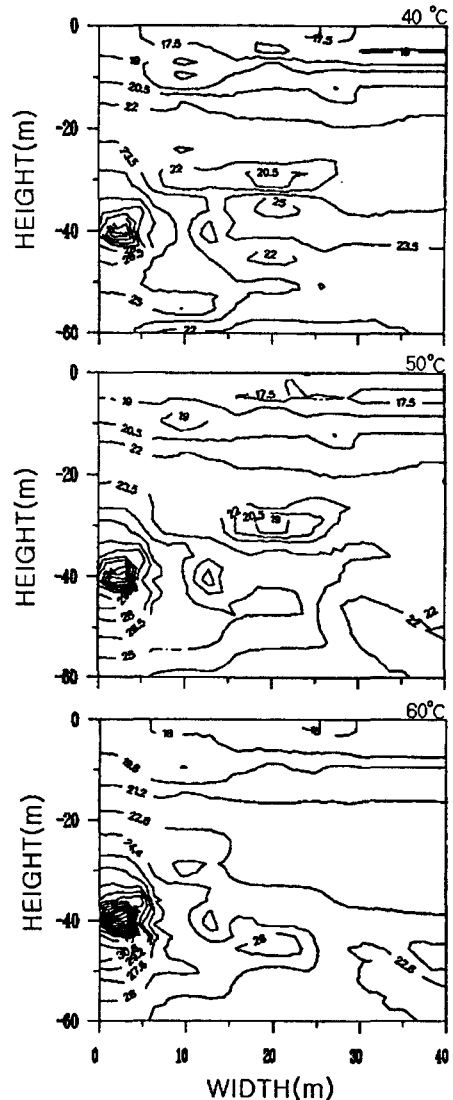


Fig. 8. The vertical section isotherm lines about the depth of soil when the supplied water temperatures are 40℃, 50℃ and 60℃.

차에 의한 작물 뿌리의 스트레스를 초래할 수도 있다.

본 실험에서는 실제 재배기간인 동절기(1996.11.1~1997.2.28)중에 28℃의 저온수 공급에 의한 지중가온 온도를 측정하여 무가온시 지온과 비교하였다.

Fig. 9는 재배기간중 무가온수의 온도변화를 측정한 것으로 하우스 내기온이 11℃~27℃까지 변화할 경우 지중 15 cm의 온도는 13℃~20℃, 지중 20 cm의 온도는 15℃~20℃까지 변화하였다.

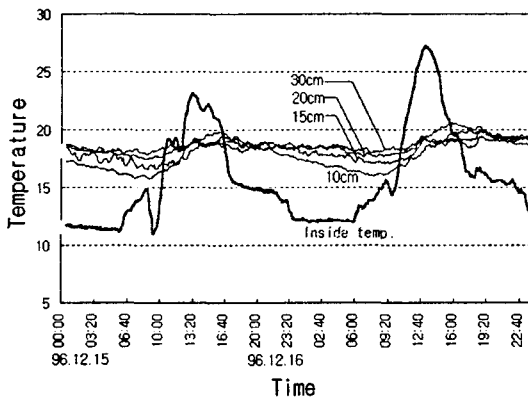


Fig. 9. Relation between soil temperature and elapsed time at unheated soil during the growth period.

Fig. 10은 재배기간 중 28℃의 가온수에 의한 지온을 측정한 것으로, 지중 15 cm 이하에서는 20℃ 이상의 온도를 유지할 수 있어 저온수 공급에 의한 온도상승효과 뚜렷이 나타났으며, 지중 15 cm의 온도변화는 20℃~24℃ 정도로 무가온수에 비하여 4℃~7℃정도의 차이를 보이고 있다.

특히 내기온이 가장 낮은 아침에 가온의 효과가 가장 두드러졌다.

지중 20 cm에서의 온도변화는 22℃~24℃로 무가온수에 비하여 역시 4℃~7℃의 차이를 나타내었으며, 근군의 깊이가 20 cm 부근인 경우에는 안정된 온도를 유지할 수 있었다. 지중 15~20 cm에서 무가온수에 대한 지중가온의 효과로 인한 온도상승이 비슷한 양상을 나타내어 28℃의 가온수를 순환시키는 것이 동절기 시설재배의 효과가 매우 클 것으로 판단되었다.

이것은 하우스 내기온이 11℃이상일 경우 지

중 15 cm 이하의 온도는 지중가온에 의해 토양 온도를 일정온도로 유지할 수 있으나 15 cm 이상의 지상부 온도는 하우스 내기온의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

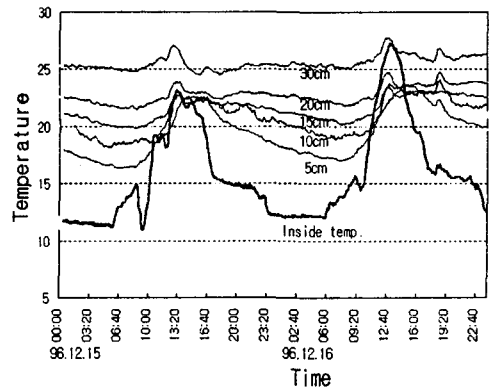


Fig. 10. Relation between soil temperature and elapsed time when the inflow supplied water temperature is 28℃ during the growth period.

## 적 요

태양열 에너지의 효율적인 이용과 자동화 장치의 개발을 목표로 지중가온의 온도변화 특성을 실험, 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 10월 13일의 1일 하우스 내기온이 주야간에 24℃의 차이가 있으며, 무가온시 지온변화는 지중 10 cm 부근에서 6℃, 지중 20 cm 부근에서는 3℃정도의 차이를 보이고 있다.

2) 20시경에 내기온과 지온차가 가장 작은 것으로 나타났으며, 지중 20 cm 부근의 온도변화는 내기온이 가장 낮은 오전 7시부터 약 3시간이 경과된 오전 10시에 최저가 되었다.

3) 가온수의 온도를 40℃, 50℃, 60℃로 변화하였을 때 지중 10 cm의 최저온도는 약 20℃, 지중 20 cm의 최저온도는 약 23℃로 나타나 가온온도가 40℃ 이상일 경우 가온온도에 따른 지중 10~20 cm사이의 온도차는 매우 작았다.



4) 지중 15~20 cm의 지온이 20℃가 되기 위해서는 가온수의 온도를 40℃이하가 되도록 설정하여야한다

5) 가온수의 온도가 40℃, 50℃, 60℃이고 파이프 매설 깊이가 12 m일 경우 유입구와 유출구의 1일 평균온도차는 40℃일 경우 3.5℃, 50℃일 경우 4.4℃, 60℃일 경우 5.4℃정도로 이 구간에서 온도변화식은  $\Delta T = 0.09591T + 2.5451 (R^2 = 0.9966)$ 로 거의 선형적으로 변화하였다.

6) 가온수 온도가 40℃의 경우 지중 15~20 cm, 50℃의 경우는 지중 13~19 cm, 60℃의 경우는 12~17 cm 부근이 경계영역으로 판단되었다.

7) 재배기간중 하우스 내기온을 11℃ 이상으로 유지하고, 가온수의 온도를 28℃로 순환한 결과 지중 15 cm 이하에서 최저지온을 20℃ 이상의 온도를 유지할 수 있어 저온수공급에 의한 온도상승효과가 뚜렷이 나타났다.

8) 가온수의 온도를 28℃로 하여 지중가온한 결과 지중 15~20 cm사이에 온도변화는 무가온구에 비하여 공히 4℃~7℃가 상승되었다.

## 인용문헌

1. 엄기태 외14인. 1991. 우리나라 주요토양의 지온과 동결심도 예측모델 개발 연구. 과학기술처연구보고서. pp. 11-12.
2. 이재욱. 1994. 온수 지중가온이 동계 시설오이의 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향. 박사학위논문. pp. 7-8.
3. 高橋和彦. 1983. 溫度環境と作物(1). 野菜, 施設園藝學. 朝倉書店. pp. 128-129.
4. 김문기의 외 13인. 1993. 新制施設園藝學. 향문사. pp. 90-96
5. 古在豊樹外 9人. 1995. 新施設園藝學. 朝倉書店. pp. 88-89.
6. 한국태양에너지학회. 1991. 태양에너지핸드북. 태림문화사. pp. 691.
7. 정상욱. 1987. 토양 속의 물과 열의 흐름에 대한 모델링. 한국농공학회지 29(3). 96-104.
8. 寺田俊郎, 吉野蕃人. 1980. 施設園藝の太陽熱利用システム. 施設農業生産技術協會. pp. 4-5.
9. 吉野蕃人, 寺田俊郎, 青木宣明, 帶刀奈律子. 1980. 施設園藝に對する太陽熱利用に關する研究(1)(短期蓄熱システムについて). 施設農業生産技術協會. pp. 20-21.

