

## 태양열을 이용한 시설재배 지중변온가온의 토양 온도특성 연구(2) - 지중변온가온의 단위면적당 소요에너지 -

김진현 김태욱 나규동 김태수 김은태 정석현

### Study on Temperature Variation by Greenhouse Soil Warming System Using Solar Thermal Energy (2) - Required Energy per Unit Area for Soil Warming -

J. H. Kim T. W. Kim K. D. Nah T. S. Kim E. T. Kim S. H. Chung

#### Abstract

The temperature of root zone was known as an important factor for the growth of crops and reduction of energy in greenhouse. The purpose of this study was to design the apposite inflow of calories per the unit area by comparison of temperature in the warmed and non-warmed soil. The energy needed for soil warming about pipe length showed the change of temperature on inflow and outflow as 2°C~3°C(average 2.5°C). Therefore, the inflow per the unit hour was 3,450, 57,5 kcal/h-m<sup>2</sup> on soil heating respectively. The non-warmed soil temperature in greenhouse made a difference by depth and it was partially affected inner temperature under 15 cm, but it was not above 15 cm. The soil temperature would be raised over 5°C than non-warmed soil to increase effect of soil warming. Therefore, the inflow per the unit area that should be provided was about 100 kcal/h-m<sup>2</sup>.

**Keywords :** Solar energy, Soil warming, Soil depth, Soil temperature, Greenhouse

#### 1. 서론

지온은 시설작물의 광합성, 작물의 생육에 영향을 주어 고품질 농산물 및 수량의 증수에 직접적인 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 특히 오이와 같은 과채류는 저온에 비교적 민감한 반응을 나타낸다. 지중의 온도를 적절히 조절하는 것은 토양의 물리적, 화학적 조건과 시설하우스의 형태, 두둑의 형태, 가온방법, 배관의 자재, 에너지 공급방법 등에 따라 크게 달라지고 매우 복잡하므로 토양의 변수와 조건들을 비교적 단순화할 필요가 있다. 시설내의 지온은 가온하지 않는 경우 지중 40 cm에서는 일일 중 온도 변화가 0.5°C 미만으로 나타나 온도의 변화가 매우 둔감하다(Kim and Kim, 2001; Kim

et al., 2009). 또한 근권의 한계 깊이도 일반적으로 10~30 cm로 볼 때, 일반적으로 지중 40 cm를 매설깊이로 주로 설정하고(Kim et al., 1998a; Kim et al., 1998b; Kim et al., 1999; Kim et al., 2009) 그 간격은 1일 가온의 열전파거리가 20~30 cm(Lee et al., 2005)로 알려져 있어 매설관의 간격을 20 cm로 하였다. 근권에 적합한 지중가온 온도의 설정과 에너지의 효과에 대한 해석은 복잡하며, 따라서 지중가온의 토양온도 특성에 대한 정확한 기초 자료도 부족한 실정이다. 때로는 현장에서 40°C~50°C로 간헐적인 공급을 하거나, 높은 가온수를 공급함으로써 에너지의 손실뿐만 아니라 작물의 뿌리에도 과온 장애를 주게 된다. 특히 작물의 뿌리는 정식이후 계속 성장하기 때문에 근권의 지중 영역에 따른 지중가온이

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2009-11-11, reviewed on 2009-12-28, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-01-21. The authors are Jin Hyun Kim, KSAM member, Professor, Tae Wook Kim, KSAM member, Professor, Kyungpook National University, Sangju, Kyu Dong Nah, KSAM member, President, HNL co., Ltd., Tae Soo Kim, KSAM member, Director, Corelogic R&D center, Eun Tae Kim, Kyungpook National University, Sangju, Graduate Student, and Suk Hyun Chung, KSAM member, Patent Examiner, KIPO. Corresponding author: J. H. Kim, Professor, Machinery Engineering, College of Science and Engineering, Kyungpook National University, 386 Gajang-dong, Sangju-shi, 742-170, Korea; Fax: +82-54-530-1278; E-mail: <jinhyun@knu.ac.kr>.

이루어져야 하므로 생육 중반기 이후에는 지중관수의 효과가 거의 나타나지 않으며 오히려 작물에 해가 되기도 한다(Kim et al., 1999; Kim and Kim, 2001).

따라서 근권의 최적 온도조건을 25°C로 설정(Lee, 1994; Terada et al., 1980; Takahashi, 1983)하기 위해 지표면 깊이 별 온도변화에 대한 기초 연구와 지중의 적정온도를 인위적으로 조절하기 위해 공급에너지의 설계도 함께 이루어져야 한다. 본 연구에서는 시설재배의 무가온구와 변온가온구의 비교분석을 통하여 지중 깊이별 온도변화에 따른 적정 단위 면적당 유입열량을 설계하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시험장치

#### 1) 진공 집열튜브의 구조 및 제원

그림 1은 태양열의 축열 모델을 개발하기 위하여 사용한 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, 외부튜브가 파손되었을 경우에도 계속하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 표 1에 진공관형 집열 튜브 및 축열조의 사양을 나타내었다.

#### 2) 진공관형 태양열 집열기의 구성

진공관형 태양열 집열기는 통상적으로 10~30개의 진공관형 집열 튜브가 한 세트가 되어 구성된다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 경북대학교 상주캠퍼스 시험온실(14 m×10 m)에 진공관 집열튜브 20개를 1세트로 구성하여 2세트를 병렬

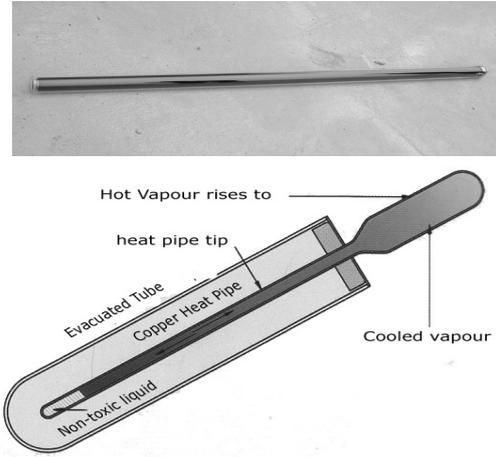


Fig. 1 Structure of the vacuum type collector.

Table 1 Specification of the vacuum type collector and accumulator

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

로 정남향으로 설치하였으며, 단열처리한 축열조와 순환모터 등의 배관작업을 거쳐 집열기의 성능을 시험할 수 있도록 구



Fig. 2 System of the vacuum type collector and accumulator.

Table 2 Energy efficiency of the vacuum type collector

Type	Absorption area (m <sup>2</sup> )	Quantity (kcal/m <sup>2</sup> ·day)	Total quantity (kcal/day)	Real quantity (kcal/day)	Efficiency (%)
TZ58/1800-20R	2.62 (1 sheet)	2,143.55	11,230 (2 sheets)	6,500 (2 sheets)	58

성하였다.

TZ58/1800-20R 진공관식 집열판의 일일 총집열량은 11,230 kcal/day로 나타났으나, 실제 계측된 에너지로부터 환산하면 약 58%의 효율로 나타났다.

**나. 시험방법**

**1) 온도 및 토양수분 장력의 계측**

온도계측은 그림 3 같이 SCADA방식의 Wizcon 7.02(PCSOFT, Israel)를 사용하였다. 또한 시스템 전체의 관리와 온도변화를 측정 및 기록하는 스테이션은 586컴퓨터를 사용하였으며, T-type 열전대로 측정된 자료를 AX5232(AXIOM, Taiwan) 컨버터를 통하여 산업용 컴퓨터(MODICON, IBM, Seoul, Korea)에서 일시 기억후 RS-232C 직열 통신케이블을 통하여 시스템 컨트롤 스테이션에 실시간(Real time) 기록되도록 설계하였다. 그리고 지중가온 시험시 평균 토양함수비는 12.9%

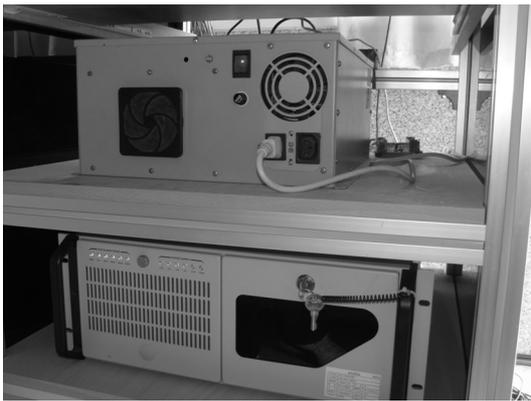


Fig. 3 Measurement system of soil temperature.



Fig. 4 Measurement of soil potential energy.

(깊이 15 cm 기준)로 실제 현장의 상태와 비슷하게 비교적 높은 함수비로 설정하여 시험하였다. 이 때 토양수분장력은 9~20 kPa의 범위로 나타났다.

**2) 온도 계측점 설계**

표 3은 총 계측점의 수를 75 points로 하여 태양열 집열판의 유입구 및 유출구 온도, 잠축열장치의 유입구 및 유출구 온도, 또한 축열조의 유입구 및 유출구 온도를 각각 2반복 계측하는 것으로 설계하였다. 지온의 계측은 25 mm의 배관에 가온수가 공급되는 위치에 깊이 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 cm 의 7지점에서 3반복 계측하였으며, 무가온구의 지온을 같은 방법으로 2반복하여 14 points를 계측하였다. 토양의 열전도 손실에 대한 단위 길이 당 변화를 구하기 위해 전체 배관의 길이별로 11 points를 2반복하도록 설계하였다.

**3) 공급수온 및 공급에너지**

공급수 온도를 25°C로 설정하고, 공급시간을 2008년 12월 6일 12시부터 오후 4시까지 4시간 동안 공급하였다. 4시간 동안 공급된 수량은 총 5,500 L이었다. 따라서 시간 당 1,375 L/h가 공급되었으며, 지중가온 전체면적 60 m<sup>2</sup>에 대한 단위 면적당 공급수량은 약 23 L/h·m<sup>2</sup>가 공급되었다.

**4) 태양열 집열판 부담 용량 산출**

태양열 집열판의 부담용량 산출을 위해 상기와 같이 온도의 계측과 더불어 적산전력량계를 설치하여 잠열축열물질의 온도 제어를 위한 히터의 소모전력을 측정하였다. 태양열 축열시스템의 제어는 별도로 부착된 컨트롤 패널을 통해 축열조의 온도제어와 잠열축열물질의 온도제어, 지중 공급수의 온도제어로 구분되어진다.

축열조의 온도는 설정온도를 기준으로 작동 및 정지를 반복하도록 되어 있으나, 집열판의 효율 산출을 위해 집열용 순환펌프는 지속적으로 작동하도록 하였으며, 잠열축열물질의 온도는 100°C가 유지되도록 히터의 동작과 정지를 반복하도록 하였다.

태양열 에너지는 일중 일사량에 비례하며 동절기의 지중가온을 위한 에너지의 총합은 태양열 시스템의 효율과 일사량에 좌우하므로 동절기 태양열 시스템의 효율분석은 상주지역의 평균온도와 수평면 일사량과 유사한 기후조건을 나타내는 날짜를 선택하여 이를 표본일로 분석하였다.

Table 3 Temperature measurement points

Items	Collector	Ambient Temp.	PCM	Regenerative tank	Soil Temp.		Temp. by pipe length	Total
					Fluctuation	No fluctuation		
Points	2×2=4	3×2=6	2×2=4	2×2=4	7×3=21	7×2=14	11×2=22	75

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 배관의 온도 변화

배관의 총 길이 70 m에 9개의 계측점을 설정하여 약 7 m 당 온도를 계측하였다. 공급수 온도를 25°C로 설정하여 4시간 공급한 결과는 그림 5와 같이 나타났다. 무가온 상태인 12월 7일 2시를 기준으로 할 때 배관의 길이별 온도가 10~12°C이었으며, 가온상태인 12월 6일 오후 2시에는 19~22.5°C로 높게 나타났다. 지중가온을 시작한 후 배관의 온도는 바로 상승하였으며, 길이별 유입구와 유출구의 온도변화는 2~3°C(평균 2.5°C) 차이가 났다. 따라서 지중가온에 소요된 단위시간당 유입열량은 식(1)과 같이 나타나며, 가온구에서 유입열량은 3,450 kcal/h로 산출되었다.

$$Q = c \times q \times \Delta T \quad (1)$$

Where,  $Q$  : Quantity of inlet heat per unit (kcal/h)  
 $c$  : Specific heat (1 kcal/kg·°C)  
 $q$  : Discharge of inlet (L/h)  
 $\Delta T$  : Temperature difference of inlet and outlet position (°C)

따라서 단위면적당 유입열량은 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>가 된다.

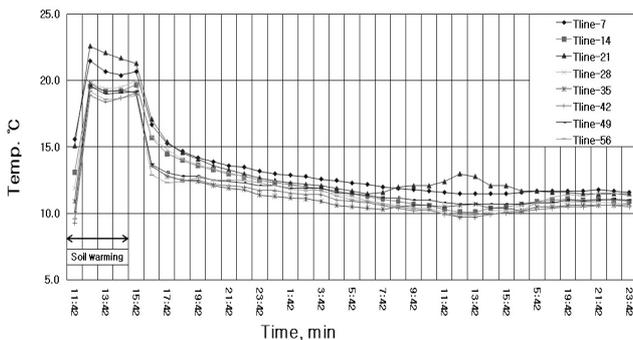


Fig. 5 Variations of soil temperatures in pipe length when soil warming (2008.12.6~7).

#### 나. 지중 깊이별 온도 변화

가온구와 무가온구에서 지표면으로부터 0~15 cm 까지 온도변화는 그림 6과 같이 계측되었다. 그림에서와 같이 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>로 하였을 때, 지표면의 가온 효과는 약 1.5°C로 나타났다. 따라서 지표면의 가온 효과는 크지 않음을 알 수 있었으며, 시설작물의 초기 생육기간인 근권이 15 cm 미만일 경우에는 단위면적당 유입열량을 현재보다 2배 이상 높여야 할 것으로 판단되었다.

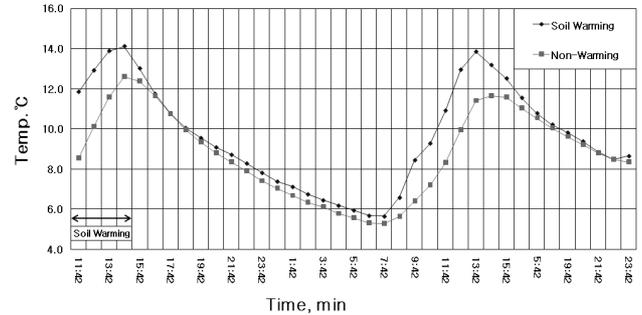


Fig. 6 Variations of soil temperatures in soil depth 0~15 cm when soil warming and non-warming (2008.12.6~7).

가온구와 무가온구에서 지표면으로부터 20~25 cm 까지 온도변화는 그림 7과 같이 계측되었다. 그림에서와 같이 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>로 하였을 때, 20~25 cm 깊이에서의 가온 효과는 지표면 0~15 cm의 가온효과보다 높아 약 2°C 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 지중가온의 효과는 근권의 깊이가 10 cm 깊어질수록 0.5°C 상승하는 효과가 있었다. 그것은 지중가온의 배관이 지표면 40 cm 아래에 설치되어 있으므로 시설작물의 초기 및 중기 생육에 큰 효과가 있을 것으로 보여 진다.

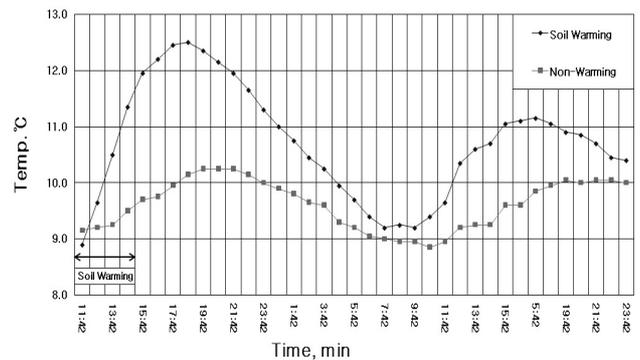


Fig. 7 Variations of soil temperatures in soil depth 20~25 cm when soil warming and non-warming (2008.12.6~7).

가온구와 무가온구에서 지표면으로부터 30~35 cm 까지 온도변화는 그림 8과 같이 계측되었다. 그림에서와 같이 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>로 하였을 때, 가온 효과는 지표면 0~15 cm, 20~25 cm의 가온효과보다 높게 약 3°C 까지 상승하는 것을 알 수 있었다. 따라서 지중가온은 시설작물의 생육시기와 근권 환경에 따라 단위면적당 유입열량을 조절하여 근권의 최적 조건을 설계할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 단위면적당 유입열량을 일정하게 설정한 후 지중의 온도변화를 계측하고 지중의 깊이별 온도 설정을 위한 최적 알고리즘을 개발할 수 있을 것으로 생각되었다.

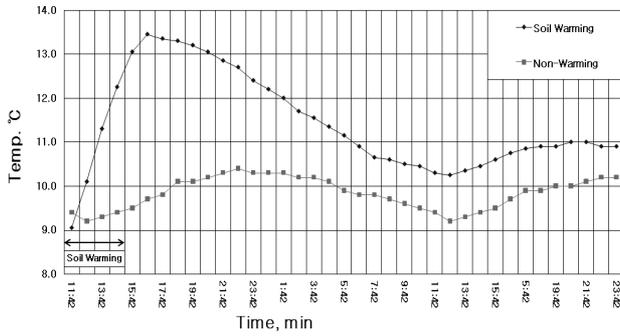


Fig. 8 Variations of soil temperatures in soil depth 30~35 cm when soil warming and non-warming (2008.12.6~7).

다. 지중가온의 유입열량 설계

시설재배의 무가온구의 지중온도는 깊이별 차이는 있으나 15 cm 미만에서는 하우스 내 기온의 영향을 부분적으로 받는 것을 알 수 있으며, 15 cm 이상 깊이에서는 실내기온의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 시설채소 중 오이는 근권에 적합한 지온이 18~22°C로 알려져 있고, 최저한계지온이 13~15°C이므로 최소한 5°C 이상 지온을 상승하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>로 하였을 때, 0~15 cm, 20~25 cm, 30~35 cm로 깊이별 지온의 상승효과를 분석한 결과 각각 1.5°C, 2.0°C, 3.0°C 상승하였다. 따라서 지중가온의 효과를 높이기 위해 지온을 무가온 상태보다 최소한 5°C 이상 높이기 위해 단위면적당 유입열량을 100 kcal/h·m<sup>2</sup> 정도 공급해야 할 것으로 사료되었다.

표 4는 2008년 12월 6일과 7일 15시 42분(가온수 공급 완료시간)을 기준으로 가온구와 무가온구의 온도변화를 깊이별로 나타내었다. 깊이가 35 cm에서는 2°C의 차이를 나타내었고, 25 cm에서는 1°C 정도의 차이를 보여주고 있다. 따라서 가온의 효과는 지중에서 표면으로 멀어질수록 효과가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

라. 시설오이의 근권부 공급에너지 설계

시설오이의 뿌리 성장에 따른 근권부 적정온도 조절을 위한 최적 공급에너지의 설계는 표 5와 같다. 시설오이의 뿌리의 성장은 기후, 토양의 수분, 온도, 영양분 공급 상태 등에 따라 달라지며, 근권부의 범위와 뿌리의 상태도 매우 다양하게 성장한다. 일반적으로 겨울철 시설오이는 20 mm/day 내외로 성장하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 1998). 그러나 수직으로 뿌리가 성장하기보다는 수평면에서 30~45° 각도로 성장하므로 실제 수직 깊이는 10 mm/day 내외로 성장할 것으로 보여진다. 시설하우스의 무가온구는 평균 11°C 내외이며, 가온구의 경우 깊이별로 1.5~3.0°C 까지 상승하였다. 따라서 적정 온도를 18°C로 설계 하면 약 5~6.5°C 더 높여야 할 것으로 판단되었다.

또한 근권이 깊이별 최적 공급에너지는 시설오이의 근권이 깊이 10~20 cm 위치의 적정온도 유지를 위해 약 1,150 kcal/h·m<sup>2</sup>이 공급되어야 하며, 깊이 20~30 cm 인 경우에는 460 kcal/h·m<sup>2</sup>, 깊이 30~40 cm에서는 230 kcal/h·m<sup>2</sup>이 더 필요한 것으로 나타났다.

Table 4 Variations of soil temperatures in soil warming and non-warming zone according to the variation of soil depth (unit : °C)

Depth (cm)	Soil Warming				Non-Warming			
	SW-A	SW-B	SW-C	Average	NW-A	NW-B	NW-C	Average
5	10.2	8.9	9.3	9.47	10.6	9.9	10.1	10.25
10	11.1	12.2	11.1	11.47	11.0	12.1	11.0	11.55
15	11.4	11.8	12.0	11.73	11.0	11.7	11.3	11.35
20	11.6	11.8	12.3	11.90	10.9	11.8	11.3	11.35
25	11.9	11.9	12.6	12.13	10.9	11.4	11.0	11.15
30	12.0	12.2	13.2	12.47	10.7	11.1	10.9	10.90
35	12.3	13.0	13.5	12.93	10.7	11.3	10.8	11.00

\* SW : Soil Warming, NW : Non-Warming

Table 5 Optimum energy design of soil warming at the variation of soil depths

Depth (cm)	Temp. of soil warming (°C)	Insufficiented Temp. (°C)	Supplied optimum energy (kcal/h·m <sup>2</sup> )
5~10	10.5	-7.5	-
10~20	11.7	-6.3	1,150
20~30	12.1	-5.9	460
30~40	12.9	-5.3	230

### 마. 단위면적당 태양열 집열판 부담 용량의 설계

그림 9는 동계(2008년 12월 7일) 태양열 집열기를 거쳐 축열조로 공급되는 물의 유입구(T-Solar-IN) 및 유출구(T-Solar-OUT)의 온도차를 나타낸 것이다. 집열판을 거쳐 나온 물의 온도는 지속적으로 상승하여 오후 1~2시를 정점으로 유출구의 온도가 약 55°C로 높은 경향으로 나타났으며 12시에서 15시 사이에 50°C 이상을 유지하였다. 이는 잠열축열물질에 의해 축열조 내의 온도가 지중가온을 위해 순환되어진 물의 온도를 상승시켜 주는 것으로 판단되어진다. 또한 집열판의 유출구 및 유입구의 온도차는 일사량이 가장 좋은 12시에서 15시 사이에 최고 10~12°C로 나타났다.

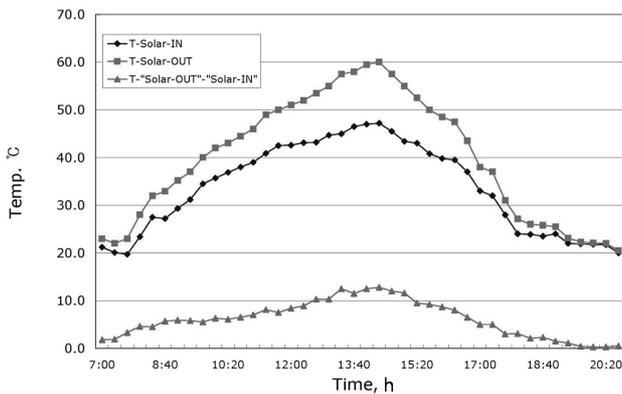


Fig. 9 Variations of water temperatures in solar-in and solar-out (2008.12.7).

이 때 일 총집열량은 집열기로의 유입유량 및 입출구 온도차에 비례하며 식 (1)에 의해 구하여진다.

단위시간을 20분으로 하여 1일 전체 집열량을 계산하여 보면, 작동시간동안 유입된 물의 양은 총 1,254 L로 계측되어 순환펌프가 지속적으로 작동하였으므로 시간당 약 114 L가 정량으로 투입되었다고 가정하면 식 (1)에 따라 약 9,796 kcal로 나타났다. 이는 집열판 단독으로 열교환을 했을 때보다 약 3,296 kcal가 더 얻어지게 된다. 이 때 전력량계로 측정된 소비전력은 약 430 kcal로 나타났으므로 나머지는 잠열축열물질에 의한 보존열량이라고 판단된다. 그림 10에 잠열축열물질의 온도(T-PCM), 축열조의 온도(T-TANK), 지중가온수의 회수구 온도(T-OUT), 지중가온수 유출구(T-IN), 집열판 입출구 온도(T-Solar-IN, T-Solar-OUT), 외기온(Temp.)을 나타내었다.

여기서, 시험온실(60 m<sup>2</sup>)에 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>로 공급한 결과 태양열 집열판의 부담용량은 다음과 같다.

$$57.5(\text{kcal/h} \cdot \text{m}^2) \times 60(\text{m}^2) = 3,450(\text{kcal/h})$$

$$3,450(\text{kcal/h}) \times 4\text{h} = 13,800(\text{kcal})$$

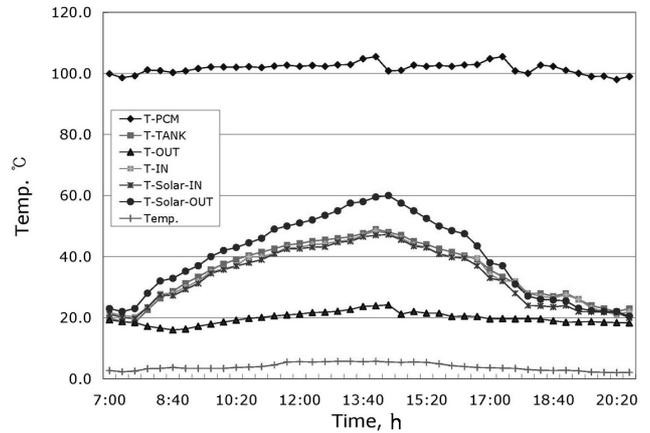


Fig. 10 Variations of water temperatures in heat storage (2008.12.7).

따라서 잠열축열물질 및 전기히터를 포함한 태양열 집열판의 총집열량은 9,796 kcal/day으로 나타나 태양열 집열판은 시험온실에서 약 4세트가 필요할 것으로 판단되며, 축열조의 용량 및 잠열축열물질 용량 구성에 따라 집열판의 갯수는 달라질 수 있다.

### 4. 요약 및 결론

지중의 온도를 적절히 조절하는 것은 토양의 물리적, 화학적 조건과 시설하우스의 형태, 두둑의 형태, 가온방법, 배관의 자재, 에너지 공급방법 등에 따라 크게 달라지며 매우 복잡하다. 따라서 토양의 변수와 조건들을 비교적 단순화할 필요가 있으며 에너지에 따른 온도의 변화도 비교적 전체적인 공급량과 지온의 분석 결과로 해석하는 것이 적합할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 배관의 총 길이 에 따른 공급에너지와 지온의 상승효과를 토양 깊이별로 산출하는 방법을 제시하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 배관의 길이에 대한 소요에너지는 유입구와 유출구의 온도변화로 나타나며, 2~3°C(평균 2.5°C) 차이가 났다. 따라서 지중가온에 소요된 단위시간당 유입열량은 3,450 kcal/h이었으며 단위면적당 유입열량은 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>가 되었다.
- (2) 시설재배 무가온구의 지중온도는 깊이별 차이는 있으나, 15 cm 미만에서는 하우스 내 기온의 영향을 부분적으로 받고, 15 cm 이상 깊이에서는 지온이 큰 차이를 나타내고 있지 않았다. 시설채소 중 오이는 무가온 상태에서 최소한 5°C 이상 지온을 상승하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.
- (3) 단위면적당 유입열량을 57.5 kcal/h·m<sup>2</sup>로 하였을 때, 0~15 cm, 20~25 cm, 30~35 cm로 깊이별 지온 효과를 분석한 결과 각각 1.5°C, 2.0°C, 3.0°C 상승하였으므로

지중가온의 효과를 높이기 위해 지온을 무가온 상태보다 최소한 5°C 이상 높여야 하고, 따라서 단위면적당 유입열량을 100 kcal/h·m<sup>2</sup> 정도 공급해야 할 것으로 판단된다.

- (4) 잠열축열물질 및 전기히터를 포함한 태양열 집열판의 총집열량은 9,796 kcal/day으로 나타나, 태양열 집열판은 시험온실(10 m×14 m)에서 약 4세트가 필요할 것으로 판단되며, 축열조의 용량 및 잠열축열물질 용량 구성에 따라 집열판의 갯수는 달라질 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 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)
2. 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)
3. 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)
4. 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)
5. 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.
6. 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. pp. 7-8. Kyung Buk National University, Daegu, Korea. (In Korean)
7. Lee, Y. B., S. I. Cho, C. H. Kang, I. K. Jung, C. G. Lee, J. H. Sung, S. O. Chung and Y. B. Kim. 2005. Analysis of heat transfer characteristics in soil for development of a geothermal heat exchange system. Journal of Biosystems Engineering 30(3):185-191. (In Korean)
8. Takahashi, K. 1983. Temperature Circumstance and Vegetable(1): Vegetable Greenhouse Horticulture. pp. 128-129. Jochang-Bookstore, Tokyo, Japan.
9. Terada, T., Y. Shigehido and H. Shigehido. 1980. System of Solar Energy in Greenhouse Horticulture. pp. 4-5. Greenhouse Agriculture Production Technical Society, Japan.