

# 근권환경 개선을 위한 지중가온 효과의 실험적연구

## Experimental study on soil heating effects for the improvement of root environment

장진택\*,손정익\*\*,강금춘\*,유병기\*,장유섭\*,이재욱\*\*\*  
\*농촌진흥청 농업기계화연구소,\*\*서울대학교,\*\*\*원예연구소  
J.T.Chang\*, J.I.Son\*\*, K.C.Kang\*, B.G.You\*, Y.S.Chang\*, J.W.Lee\*\*\*  
\*National Agricultural Mechanization Research Institute  
\*\*Seoul National University  
\*\*\* National Horticultural Research Institute

### 1. 서 론

지온은 작물뿌리의 신장, 양분 및 수분흡수에 직접적인 영향을 미칠 뿐 아니라 토양 미생물의 활동과 토양내 화학작용에 관여하기 때문에 겨울철 시설재배 토양의 온도관리는 기온 관리 못지않게 중요하다. 근래에 전열선을 이용한 지중가온으로 풋고추와 수박의 수량을 향상시켰으나 실용화에는 여러가지 문제점이 있다. 또한 시설내 과채류재배의 경우 온수보일러를 이용한 지중가온효과에 관한 연구와 재배농가의 관심이 높아가고 있으나 적정기준이 없는 실정이다.

본 연구에서는 근권환경 개선을 위한 지중가온용 온수보일러 배관 설치기준의 자료를 얻고자 다음과 같은 실험을 수행 하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### (1) 실험장치

본 연구는 아치형 단동 비닐하우스내에서 Fig 1에서 보는 바와 같이 온수보일러와 순환펌프, 유량계, PE파이프등으로 구성하였고, 실험에 사용된 매설파이프 및 온수보일러는 Table 1에서 보는 바와 같다.

근권부의 설정온도는 20℃, 하우스내 설정기온은 15℃로 하였고, 지중가온용 배관은 직경 15mm의 파이프를 110cm폭의 이랑에 깊이 30cm, 간격 60cm로 매설한 후 45℃ 정도의 온수를 순환시켜 지중온도를 높이도록 설계하였다.

(2) 실험방법

(가) 파이프길이별 지중온도 분포

실험은 1996년 2월 26일에서 3월 15일사이에 실시하였으며, 온수를 공급하여 지중온도가 요구되는 수준까지 완전히 상승한 뒤 일일간의 지중온도의 변화, 지중온도 분포, 파이프의 방열량 등을 조사하였다. 이때 근권부의 온도변화, 지온 분포, 배관내의 수온변화를 측정하기 위하여 배관주위에 10cm간격으로 열전대 (TC) 24점을 8방향으로 배치하였고, 수온은 열전대(TC) 14점을 2.5m 간격으로 설치하여 측정하였다.

(나) 지중가온의 필요열량 산정

지중가온의 필요열량을 구하기 위하여 식(1)과 같이 전도, 대류, 복사열전달로 구성되는 지중가온 부하식을 정립하였으며, 식(1)의 각 항은 식(2)(3)(4)와 같이 쓸 수 있다.

$$Q = Q_{\text{cond}} + Q_{\text{conv}} + Q_R \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{\text{cond}} = F_a k A (T_s - T_{ds})/d_x \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{\text{conv}} = F_a h A (T_s - T_{ai}) \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_R = \frac{\sigma (T_F^4 - T_C^4)}{\frac{1 - \epsilon_F}{\epsilon_F A_F} + \frac{1}{A_F F_{F-C}} + \frac{1 - \epsilon_C}{\epsilon_C A_C}} \dots\dots\dots(4)$$

- 여기서  $F_a$  : 전열면적
- $k$  : 토양의 열전도율(kcal/m · hr · k)
- $h$  : 대류열전달계수(kcal/m<sup>2</sup> · hr · k)
- $A$  : 하우스의 상면적(m<sup>2</sup>)
- $A_F$  : 하우스의 상면적(m<sup>2</sup>)
- $A_C$  : 하우스의 표면적(m<sup>2</sup>)
- $d_x$  : 지하부의 거리(m)
- $T_s$  : 근권부의 온도(k)
- $T_{ds}$  : 지하부의 온도(k)
- $T_{ai}$  : 하우스의 내부온도(k)
- $T_F$  : 하우스지표면의 절대온도(k)
- $T_C$  : 하우스표면의 절대온도(k)
- $\sigma$  : 스테판볼쯔만상수(kcal/m<sup>2</sup> · hr · k<sup>4</sup>)
- $\epsilon_F$  : 하우스지표면의 방사율
- $\epsilon_C$  : 하우스내부표면의 방사율
- $F_{F-C}$  : 하우스지표면과 하우스표면과의 형상계수

### 3. 결과 및 고찰

#### (1) 지중가온의 필요열량 산정

근권부의 설정온도를 20℃, 온실의 설정온도를 15℃, 그리고 온실의 피복재 온도를 8℃로 하고 식(1)을 이용하여 상면적이 1000m<sup>2</sup>인 온실의 지중난방부하를 계산한 결과 시간당 58,824kcal가 필요한 것으로 분석되었으며, 이를 기준으로 온수보일러의 용량을 결정하였다.

#### (2) 길이별 파이프내 온수의 온도변화

파이프내 온수의 온도변화를 온수공급 10분후, 30분후 및 48시간후에 분석한 결과 Fig 2에서 보는바와 같이 온수 순환후 10분이 경과했을 경우에는 파이프 입출구 온도차가 12℃였으나, 48시간후에는 온도차가 5℃로 나타났다.

#### (3) 시간별 온도변화

Fig 3, 5에서 보는 바와 같이 근권부의 온도는 주간에는 온실내에 입사된 태양에너지에 의하여 15시의 온도가 가장 높게 나타났으며, 24시부터 온수보일러의 가동을 시작하여 약 45℃의 온수를 공급한 결과 온수순환 3시간후부터 근권부의 지중온도가 상승하기 시작하였으며 파이프 주위는 약 38℃까지 상승하였고, 순환파이프로 부터의 거리가 멀어질수록 온도가 낮아져 파이프로부터 10cm 떨어진 곳에서의 지중온도는 약 20℃정도로 유지되는 것으로 나타났다. 이때 하우스의 내부온도는 13시에 가장 높게 나타났으며, 일몰후에는 온풍난방기를 가동시켜 13℃이상을 유지하도록 하였다. 외기의 온도는 15시에 가장 높은 것으로 나타났으며, 이때 근권부의 온도가 온실내 기온보다 높게 나타난 원인은 토양층에 축열된 태양에너지의 영향으로 판단된다.

#### (4) 파이프의 방열량

파이프의 방열량은 Fig 4에서 보는바와 같이 초기 4분간 전체방열량의 40%이상 방열되며, 일정기간이 지나면 같은 비율로 방열되는 것으로 나타났다.

Table 1. 매설파이프 및 온수보일러

파이프 종류	파이프직경 (mm)	매설깊이 (cm)	매설간격 (cm)	파이프길이 (m)	유 량 (l/min)	온수보일러용량 (kcal/hr)	유체입구온도 (℃)
PE	내경:15 외경:19	30	60	120	5	21,000	45

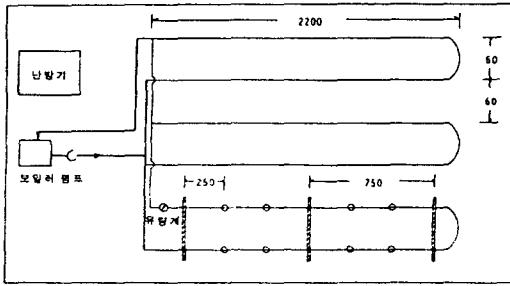


Fig 1. 지중난방장치 설계도

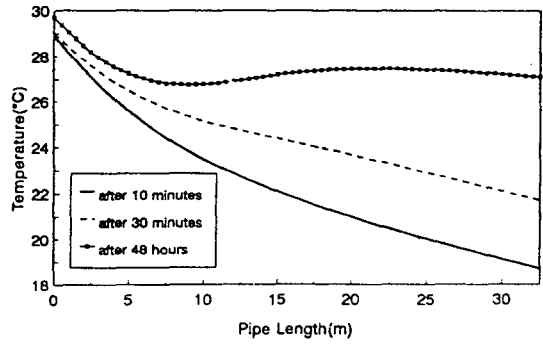


Fig 2. 파이프내 온수온도변화

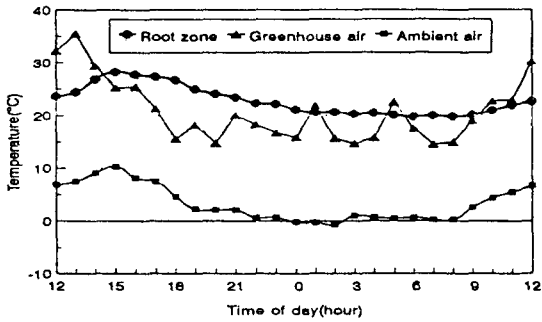


Fig 3. 1일간 온도변화

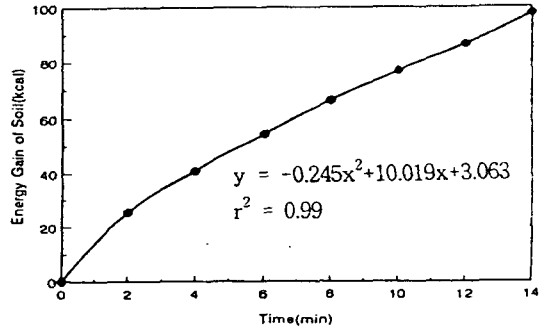


Fig 4. 파이프 방열량

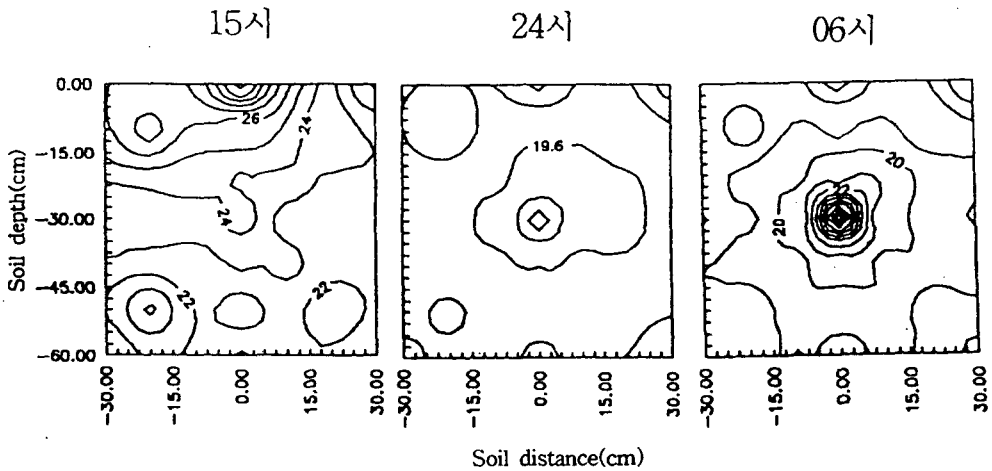


Fig 5. 시간별 지중온도분포