

## 태양열온실에서 비정상열과정에 대한 실험적연구

리학명, 은경호

태양열온실에서 열과정은 주기적으로 변하는 태양복사, 대기온도와 같은 외부파라미터와 토양, 박막, 벽체, 식물 등 온실구성요소들의 열물리적특성, 온실내부의 류체력학적특성에 의존한다. 특히 토양이나 벽체의 축열은 온실의 온도파동을 완화시켜 온실의 온도환경을 식물성장에 알맞게 조절하는 역할을 한다.

선행연구들[1-3]에서는 태양열을 리용하는 피동난방건물이나 온실들에서 진행되는 정상 및 비정상열과정을 이론 및 실험적으로 연구하고 요구되는 온도를 유지하기 위한 합리적인 구조적 및 재료적특성들을 밝혔다. 그러나 대부분 지역적특성에 의존하거나 온실이나 건물의 실내온도와 같은 열과정의 결과만을 취급하고 계에서 진행되는 열과정을 정확히 평가하지 못하였다.[4]

론문에서는 북쪽벽체를 보온 및 축열구조로 리용하는 태양열온실에서의 열과정을 실험적으로 측정평가하였다.

## 1. 주기적인 온도마당속에서 무한두께매질의 온도파동과 측정방법

온실의 열과정을 정확히 측정평가하기 위해서는 온실구성요소들의 시간에 따르는 온도분포를 실시간적으로 연속측정해야 한다.

주기적인 온도마당속에서 균일매질의 1차원온도파동은 다음의 식으로 표시된다.[1]

$$T(x, t) = T(0, t)e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}x} \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2a}}x\right) \quad (1)$$

여기서  $a = \lambda / (c_p \rho)$ 는 매질의 온도전도도,  $\omega = 2\pi / \tau$ 는 온도마당의 각진동수,  $\tau$ 는 시간이다.

식 (1)에서 보는바와 같이 온도는 깊이에 따라 감쇠진동한다.

매질결면에서 열흐름밀도는 다음과 같다.

$$q_s(t) = T_0 \sqrt{\lambda c_p \rho \omega} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) \quad (2)$$

축열밀도는

$$q = \int_{t_1}^{t_2} q_s(t) dt = T_0 \sqrt{\lambda c_p \rho \omega} \frac{2}{\omega} = 2T_0 c_p \rho \sqrt{\frac{a}{\omega}} = 2T_0 c_p \rho \delta. \quad (3)$$

여기서  $\delta = \sqrt{a / \omega}$ 는 매질의 유효축열두께이다.

론문에서 고찰한 온실의 구조와 측정점들의 위치는 그림 1과 같다.

온실안에 들어오는 태양복사흐름밀도와 매 측정점들의 온도를 실시간적으로 측정하기 위하여 한소편소자 PIC16F 877A를 리용한 8통로신호처리 및 기록장치를 리용하였다.

태양복사밀도측정에는 응답속도가 빠른 pin2극소자를 리용하였으며 온도수감부로는 DS1820소자를 리용하였다.

또한 256KB의 기억용량을 가진 외부기록기 FM24C256을 리용하여 5min 간격으로 빛수감자료와 7개 통로에 해당하는 온도수감자료를 기록하였다.

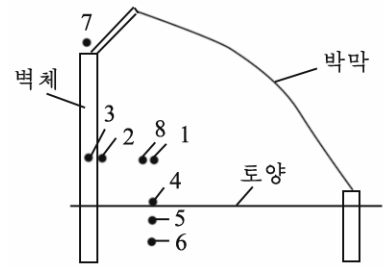


그림 1. 온실의 구조와 태양복사 및 온도측정점들

1-7은 온실공기, 벽체결면, 벽체 깊이(20cm), 토양결면, 토양속(20cm), 토양속(40cm), 대기온도 측정점, 8은 태양복사흐름밀도

## 2. 측정결과와 분석

온실은 보통온실들과는 달리 토양온도를 높이기 위하여 토양속 40cm 깊이에 발열재(버짚과 소석회)를 깔고 벽체결면에는 태양복사흡수를 강화하기 위하여 복사흡수재료를 입혔다. 그리고 야간에 온실온도가 내려가는것을 막기 위하여 박막바깥면에 나래를 씌우는데 겨울철 보통 해가 나는 날에는 아침 9시~9시 30분에 나래를 걷고 오후 4시~4시 30분에 나래를 덮는 방법으로 운영하였다. 온실온도가 지나치게 올라가면 천정에 설치한 환기창을 열어 온실과열을 방지하였다.

시간에 따르는 온실열과정의 변화는 그림 2와 같다.

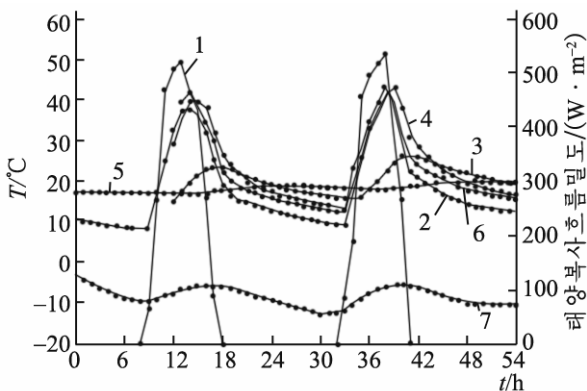


그림 2. 시간에 따르는 온실열과정변화

1은 태양복사흐름밀도, 2-7은 온실공기, 토양속(20cm), 벽체결면, 토양속(40cm), 토양결면, 대기

로서 거의 변하지 않는다는것을 알수 있다.

시간에 따르는 온실벽체의 축열특성은 그림 3과 같다.

그림 3은 2015년 1월 27일부터 1월 30일까지의 연속측정결과이다.

그림 3에서 보는바와 같이 비교적 복사량이 큰 맑은날(27, 28일)들에 벽체의 축열량은 크고 복사량이 작은 날에는 축열량이 매우 작다는것을 알수 있다.

시간에 따르는 온실공기온도변화는 그림 4와 같다.

그림 2는 2015년 1월 27일과 1월 28일의 측정결과이다.

그림 2에서 보는바와 같이 태양복사량은 27일과 28일에 근사하며 대기온도는 28일에 27일보다 최저기온이 3°C 더 낮다.

태양복사흐름밀도의 변화에 따라 온실공기와 토양결면, 벽체결면의 온도가 각각 열용량특성에 의한 일정한 위상차를 가지고 변한다는것을 알수 있다.

한편 토양속 20cm 깊이에서의 온도는 결면에서보다 작은 진폭으로 진동하며 40cm에서는 그 진폭이 매우 작고 온도는약 18°C

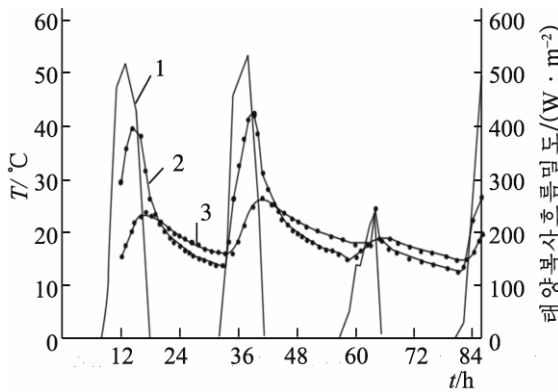


그림 3. 온실벽체의 축방열특성

1-태양복사흐름밀도, 2-벽체깊이(20cm), 3-벽체결면

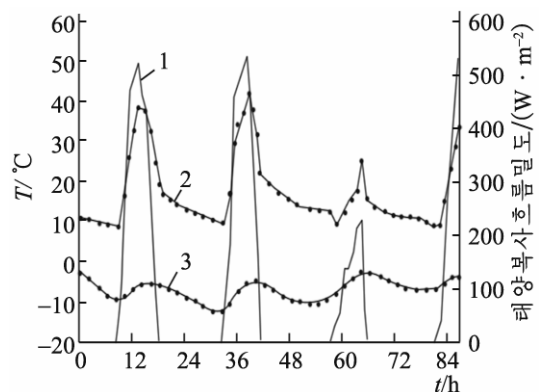


그림 4. 시간에 따르는 온실공기온도변화

1-태양복사흐름밀도, 2-온실공기, 3-대기

그림 4에서 보는바와 같이 29일에 입사태양복사량은 매우 작으며 따라서 벽체나 토양에 의한 축열량도 작다. 한편 온실의 공기온도는 낮동안에는 맑은날보다 10℃이상 낮지만 야간의 최저온도에서는 차이가 거의 없다. 이것은 온실의 전체적인 열손실이 온실온도와 대기온도의 차에 관계되며 겨울철에 하루평균기온이 맑은날보다 흐린날에 더 높게로부터 흐린날의 온실열손실이 맑은날보다 적은데 원인이 있다.

맑은날에 벽체와 토양의 열물리적특성과 축열량은 표와 같다.

표. 축열매질의 열물리적특성과 축열량

매질종류	$C_p$ /(kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	$\rho$ /(kg·m <sup>-3</sup> )	$\lambda$ /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	$\delta$ /m	$T_0$ /℃	$q$ /(kJ·m <sup>-2</sup> )
콩크리트	0.83	2 400	1.73	0.11	20	8 764.8
젖은토양	2.01	1 700	0.658	0.051	20	4 586.7

표에서 매질결면의 온도진폭을 온실의 기준온도 28℃를 고려하여 평가하였다.

맑은날 태양열온실에 들어온 태양복사량에 대한 축열량의 비는 그림 2와 3에서 태양복사량을 고려하여 평가하면 콩크리트벽체에서 ~72%, 토양층에서 ~41%로서 벽체축열효과가 크다는것을 알수 있다.

태양열온실에서 태양복사를 받는 토양과 벽체의 면적비는 계절적으로 변하며 겨울철에 5 : 3으로서 벽체의 축열량은 온실전체의 축열량의 50%이상을 차지한다.

## 맺 는 말

논문에서는 벽체식태양열온실에서의 비정상열과정을 실험적으로 연구하였다. 온실의 매 요소들에서 온도변화와 태양복사밀도 및 대기온도변화를 실시간적으로 측정기록하였다. 벽체식온실에서 겨울철에 벽체축열량은 온실전체축열량의 50%이상 차지한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이정순; 전열학, 김일성종합대학출판사, 21~54, 주체100(2011).
- [2] J. A. Duffie et al.; Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, 560~587, 2006.
- [3] V. P. Sethi et al.; Solar Energy, **82**, 832, 2008.
- [4] A. Jaffrin et al.; Proceedings of ISES Solar World Congress, 3358, 1987.

주체105(2016)년 8월 5일 원고접수

## **Experimental Study of Non-Steady Thermal Processes in Greenhouse by Solar Heat**

*Ri Hak Myong, Un Kyong Ho*

We experimentally studied the non-steady thermal processes in northern wall of greenhouse by solar heat. Solar irradiance, ambient temperature and temperature change in each place of greenhouse was measured by solar data logger. We found that the thermal storage amount of northern wall of greenhouse in winter is large more than 50 percent of total thermal storage in the greenhouse.

Key words: greenhouse, northern wall, thermal storage