

자갈축열 태양열 온실의 공기유동 및 축열 성능

Air Flow and Heat Storage Performance of Solar-Heated Greenhouse with Rock Bed Storage

이 석 건 · 이 중 원* · 이 현 우(경북대)
Lee, Suk Gun · Lee, Jong Won · Lee, Hyun Woo

Abstract

The purpose of this study was to investigate the air flow characteristics of the rock bed storage for solar-heated greenhouse design. Heat storage material was gravels and experiments were performed under constant inside temperature condition. The experimental parameters were operation method and air flow rate of fan.

It was resulted that the temperature and amount of heat stored in rock-bed increased as the increase of air flow velocity and were more influenced by operation of inlet fan than outlet fan.

I. 서 론

고품질의 농산물을 생산하기 위해 온실에 투여되는 화석에너지는 자원적으로 한정되어 있으며 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 장기적으로 시설재배의 안정적 발전을 위해서는 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지개발이 시급하며 많은 연구들이 수행되고 있다. 화석에너지의 대체에너지로서 경제적, 환경적 측면을 고려할 때 태양에너지의 이용이 가장 바람직한 것으로 알려져 있다. 태양열을 이용한 축열방식은 크게 현열이용형 축열방법과 잠열이용형 축열방법이 있으며 현재 국내에는 잠열축열재과 토양축열을 이용한 지중열교환온실에 대한 연구는 다소 수행되고 있으나 이들 시스템은 겨울철 난방에너지의 절감을 목적으로 하고 있으므로 여름철 냉방시 별도의 시스템을 구비하여야 한다. 또한 현열이용형 축열방식에서 축열재로 자갈을 이용할 경우 가격이 싸고 대량 구입이 가능하며 설비비가 잠열이용형보다 저렴하고 순환유체와의 열교환이 별도의 열교환장치가 없이 직접 이루어지며 단열시공면에서도 다른 축열재에 비해 월등히 우수하고 초기설비비가 저렴한 장점이 있는 것으로 보고된 바 있다.

자갈축열 태양열온실의 기본원리는 주간에 일사로 데워진 온실내부공기를 자갈축열층사이로 순환시켜 이때 자갈층에 에너지를 축열시켜 냉·난방에 이용하는 것이다. 온실내 공기가 축열층을 통과하는 동안의 열전달은 강제대류열전달이며, 이 경우 축열층내의 열이동은 축열층내 공기와 자갈표면온도가 초기에는 열적으로 평형상태로 존재하다가 순환공기의 온도상승에 따라 열전달이 일어나게 된다. 따라서, 유입공기의 온도가 일정할 경우 자갈축열층내로 순환되는 공기의 풍량은 축열층의 축열성능과 밀접한 관계가 있으며 효과적인 공기순환방식을 분석하고자 공기유동성 및 자갈축열성능실험을 수행하였다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

가. 축열온실 및 축열층

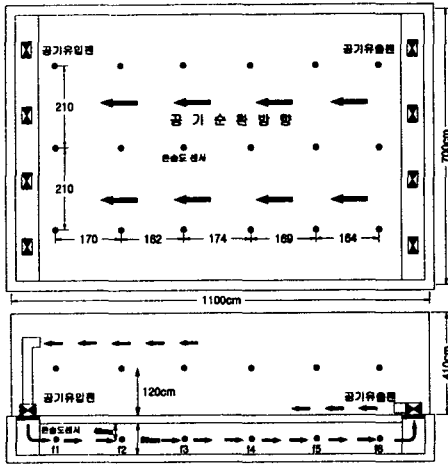


그림 1. 실험온실내 온습도센서 설치도

본 연구에 사용된 자갈축열 태양열 온실은 그림 1에서 보는 바와 같이 폭(7m)×길이(11m)×동고(4.1m)의 양지붕형 유리온실로서 건설방위는 동서동이며 천창과 3-way방식의 축창이 설치되어 있다. 자갈축열층은 폭(6.5m)×길이(9m)×높이(0.8m)의 규모로 온실하부에 설치되어 있으며 축열재는 150~250mm의 강자갈을 사용하였다(표 1, 2 참조). 그리고, 자갈축열 태양열 온실에는 온실내부와 자갈축열층의 원활한 공기순환을 위하여 온실내부에 최대풍량이 53m³/min인 공기순환팬(유출·입팬)이 각각 4대씩 설치되어 있으며 공기순환팬은 풍량을 각각 60단계로 구분하여 작동할 수 있다.

표 1. 자갈의 물리적 특성

열전도율 (kcal/m·hr·°C)	밀도 (kgf/m ³)	비열 (kcal/kgf·°C)	열용량 (kcal/m ³ ·°C)	열확산율 (m ² /hr×10 ⁻⁴)
0.5263	1,850	0.2	370	14.2

※ 건축설계자료집 -환경계획편-, 대한건축학회, 1994

표 2. 축열시스템의 제원

축열층 규모	자갈의 공극율	자갈의 직경	유입공기	공기순환팬 (Q, m ³ /min)
폭(6.5m)×길이(9m)×높이(0.8m)	0.382	150~250mm	1기압, 30°C(일정)	유입 및 유출구에 53m ³ /min×4대 60단계로 풍량조절 가능

2. 실험방법

가. 풍속 및 온도 계측

공기순환팬의 작동방식에 따른 공기유동성을 분석하기 위해 유출입팬의 속도를 각각 다르게 하여 온실내부 및 축열층내의 풍속변화를 분석하였으며 풍속계측은 온실내부에 지면높이별(30, 100, 170cm)로 24점씩 총 72점과 축열층내 18점에 대하여 다점풍속계를 이용하여 계측하였다. 그리고, 자갈축열 태양열온실 내부온도를 30°C로 일정하게 하고 공기순환시스템의 유출입팬 속도를 각각 다르게 하여 자갈축열층내의 온도변화를 분석하였다.

나. 축열자갈층의 축열량

공기순환방식에 따른 축열자갈층의 축열량은 식 (1)에 의해 산정하였다.

$$\dot{Q} = Q_i - Q_o = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

여기서, \dot{Q} : 축열열량 (kcal/hr), Q_i : 유입열량 (kcal/hr), Q_o : 유출열량 (kcal/hr)
 \dot{m} : 질량유량 (kg/s), T_{in} : 입구유체온도 (°C), T_{out} : 출구유체온도 (°C)
 c_p : 정압비열 (kcal/kgf·°C, J/kgf·K),

III. 결과 및 고찰

1. 공기유동성

공기순환방식에 따른 자갈축열층내의 공기유동성을 분석한 결과는 그림 2와 같으며, 그림 2에서 보는 바와 같이 공기순환방식에 관계없이 유입구에서 멀어질수록 풍속이 감소하다가 축열층 중앙에서 유출구 방향으로 갈수록 다시 풍속이 증가하는 경향으로 나타났다.

풍량을 106m³/min으로 동일하게 유입팬만을 작동한 경우에 축열층내 풍속은 0.07~0.26m/s (평균 0.168m/s)범위였으나 유출팬만을 작동하였을 경우에는 축열층내 풍속은 0.07~0.20m/s (평균 0.134m/s)범위였다. 그리고, 풍량을 212m³/min로 유입팬만을 작동한 경우 축열층내 풍속은 0.18~0.55m/s(평균 0.338m/s)범위였으나 유출팬만을 작동하였을 경우에는 축열층내 풍속은 0.08~0.54m/s(평균 0.252m/s)범위로 나타났다. 또한, 유입 및 유출팬을 각각 212m³/min로 작동하였을 경우에는 축열층내 풍속은 0.26~0.74m/s(평균 0.48m/s)으로 나타나 동일한 풍량으로 유출입팬을 모두 작동하는 것이 유리함을 알 수 있었다.

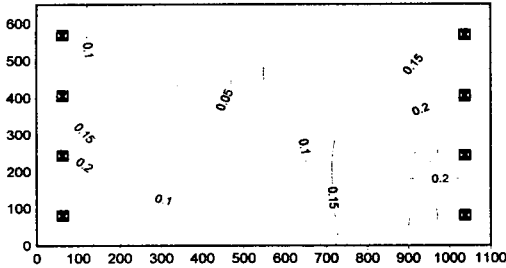
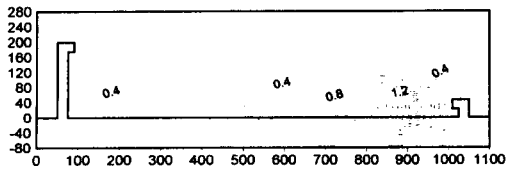
이러한 결과로 볼 때, 축열층내 공기유동성은 유입공기의 풍량과 유입팬의 작동유무에 많은 영향을 받은 것으로 나타났다. 유출팬보다 유입팬의 속도를 증가시키는 것이 유리한 것으로

2. 공기순환팬 작동방식에 따른 축열성능

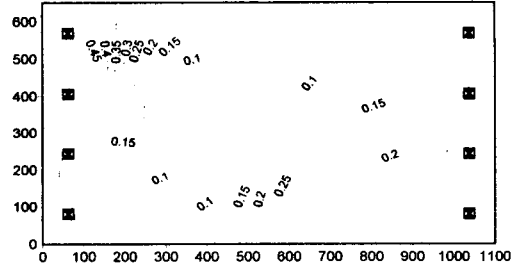
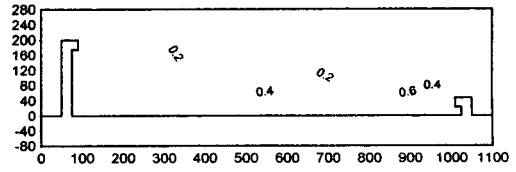
그림 3~4는 순환공기의 속도변화에 따른 축열층내의 온도 및 축열량변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 공기순환방식에 따라 축열층내 온도변화의 양상이 다르게 나타났으며 순환공기의 유동속도가 감소함에 따라 축열층내 온도는 완만하게 상승하였으며, 유입풍량의 증가와 유출팬보다는 유입팬의 작동유무에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

유입팬의 풍량을 106m³/min으로 동일하게 작동한 경우에는 유출팬의 작동여부와는 관계없이 축열시간 735분동안 축열량은 35,290~39,700kcal로 유사하게 나타났으나 유출구의 풍량을 212m³/min으로 하여 유출팬만을 작동하였을 경우에는 축열량이 69,451kcal로 약 1.8배 증가하였으나 유출팬의 작동없이 유입팬의 풍량을 212m³/min로 작동하였을 경우에는 축열량이 95,135kcal로 약 2.4배 증가하는 것으로 나타났다. 그리고, 유입 및 유출팬의 풍량을 각각 212m³/min로 작동하였을 경우에는 107,494kcal로 축열되는 것으로 나타났다.

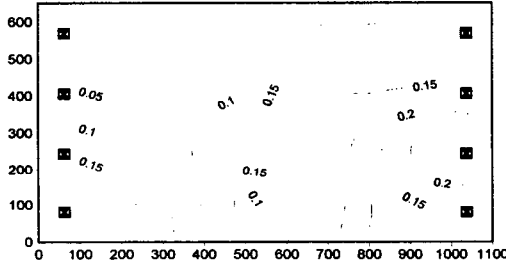
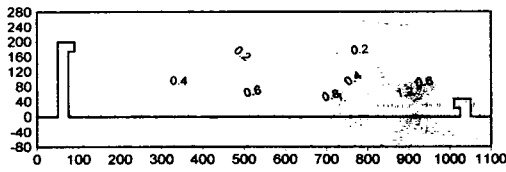
이러한 결과로 볼 때, 축열성능은 유출팬보다 유입팬의 작동유무와 풍량에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.



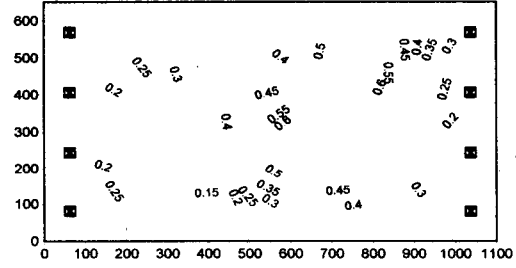
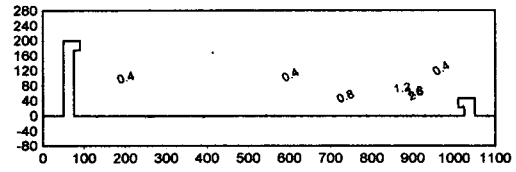
(a) 유입·출입 풍량 0 : 106m³/min



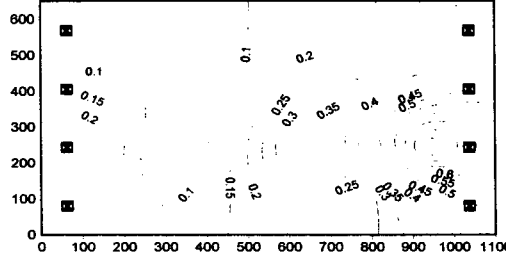
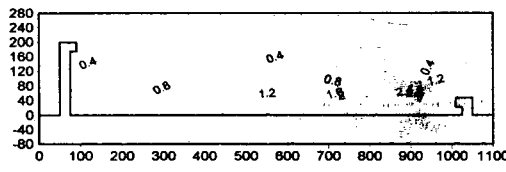
(b) 유입·출입 풍량 106 : 0m³/min



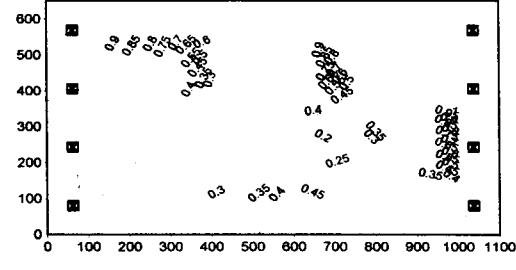
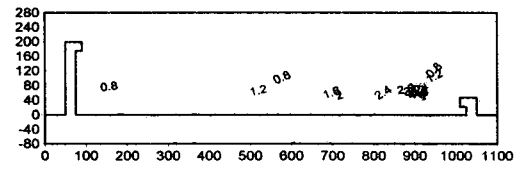
(c) 유입·출입 풍량 106 : 106m³/min



(d) 유입·출입 풍량 212 : 0m³/min

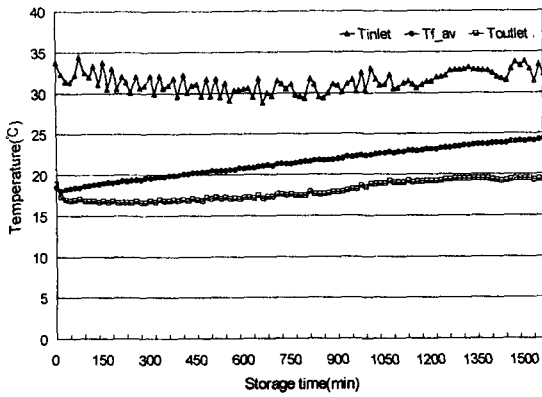


(e) 유입·출입 풍량 0 : 212m³/min

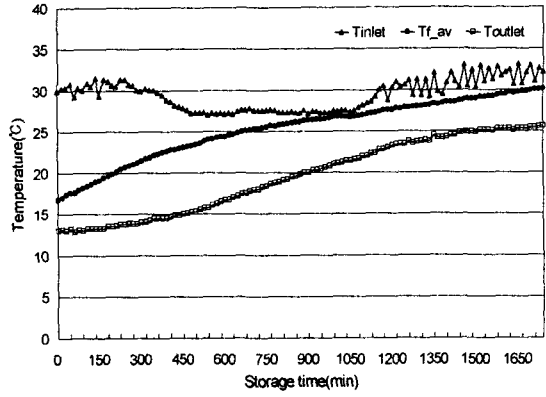


(f) 유입·출입 풍량 212 : 212m³/min

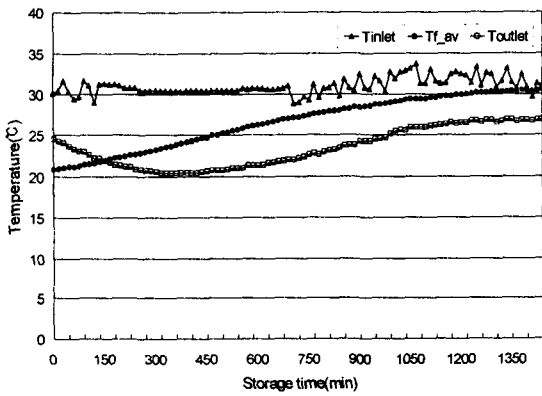
그림 2. 공기순환방식에 따른 축열은실내부 및 축열층의 풍속변화



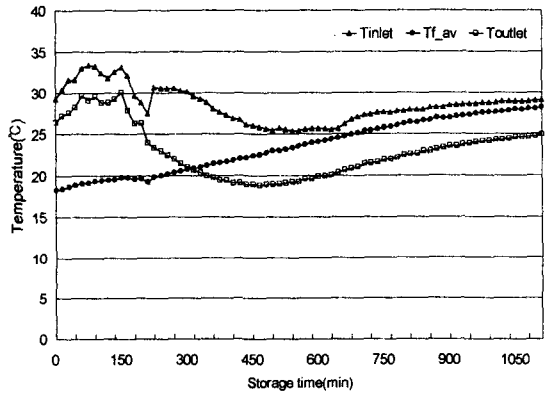
(a) 유입·출입 풍량 106 : 0m³/min



(b) 유입·출입 풍량 0 : 212m³/min



(c) 유입·출입 풍량 212 : 0m³/min



(d) 유입·출입 풍량 212 : 212m³/min

그림 3. 공기순환방식에 따른 축열층의 온도변화

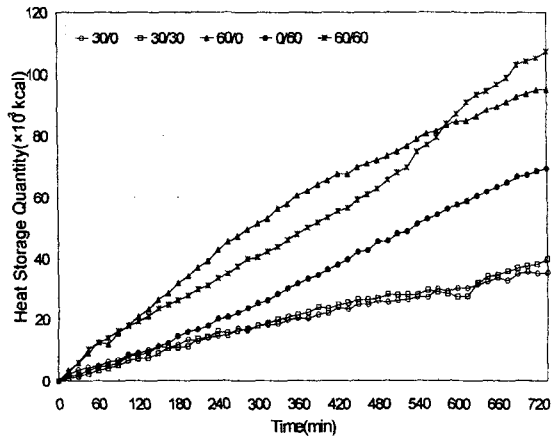
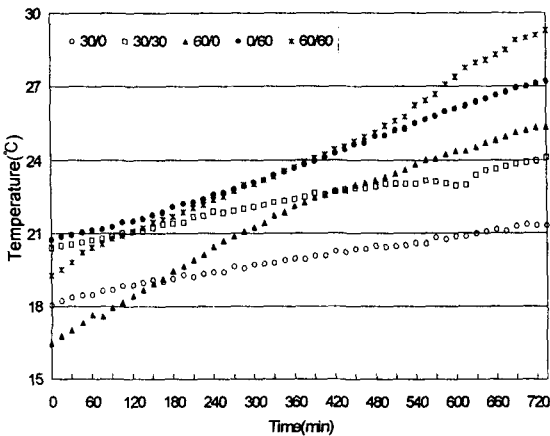


그림 4. 축열시간에 따른 자갈층의 온도 및 축열량 변화

IV. 결 론

자갈축열 태양열 온실에 있어 공기순환팬 작동방식 및 공기유량에 따른 자갈축열층의 공기 유동성과 축열성능을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 축열층내 풍속은 공기순환방식에 상관없이 유입구에서 멀어질수록 풍속이 감소하다가 축열층 중앙에서 유출구 방향으로 갈수록 다시 풍속이 증가하는 경향으로 나타났다.
2. 동일한 풍량으로 순환팬을 작동할 경우에는 유출구 보다 유입구의 풍량을 증가시키는 것이 축열성능을 향상시키는데 유리하였다.
3. 축열층의 온도 및 축열량은 축열층내 풍속이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며 유출구보다는 유입구의 팬 작동유무에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김용현, 고헌균, 김문기, 1990, 플라스틱 온실의 열저장 시스템 개발에 관한 연구 (I), 한국농업기계학회지 15(1), pp. 14-22.
2. 박정원, 박봉규, 안상규, 1992, 자갈식 축열조의 축열특성에 관한 연구. 한국태양에너지학회지 Vol. 12(1), pp. 81-87
3. 山本雄二郎, 1966, 地中-空氣熱交換 하우스の溫度環境および熱特性, 農業氣象 29(1), pp. 11-15.
4. A. F. MILLS. 1999. BASIC HEAT MASS TRANSFER-Second edition-. pp. 323-330.
5. Henning Bredenbeck, ROCK BED STORAGE INSIDE OF GREENHOUSES, Acta Horticulturae 148, 1984, pp. 739~744
6. T.Mori, UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR WINTER CROPPING GREENHOUSE TOMATO, Acta Horticulturae 87, 1978, pp. 321~327
7. Walton, L.R. et al. Storing solar energy in an underground rock bed, Transactions of the ASAE 22, 1979