

모형 축열층의 공기유동 및 축열 성능

Air Flow and Heat Storage Performance of Packed Pebble Beds Model

이석건 · 이종원* · 이현우
경북대학교 농업토목공학과

S. G. Lee · J. W. Lee* · H. W. Lee

Department of Agricultural Engineering, Kyungpook National University

서 론

최근 들어 국내 유가의 변화는 정부의 유가 안정책에도 불구하고 국제 원유가의 상승 등으로 인하여 다소 불안정한 실정이다. 이러한 유가변동은 원예시설농가의 경영에 직결되는 문제로서 농가의 수익과 밀접한 관계를 형성하고 있다. 하지만 유가변동은 국내 경제사정과 국제정세에 많은 영향을 받으므로 1차적인 해결책은 기대하기 어려운 실정이므로 원예시설에 있어 유가변동에 따른 경영목표 달성을 위해서는 원예시설의 에너지 절감형 피복재의 개발과 구조개선 및 대체에너지 등을 통한 생에너지화를 고려하여야 한다.

따라서, 원예시설의 해결과제중 시급하고 중요한 에너지 문제의 해결책을 모색하고자 자갈을 축열재로 이용하여 난방기간중 주간에 온실내로 입사된 태양에너지를 자갈축열층에 축열하여 야간에 난방에너지를 사용하는 동시에 고온기인 여름철에는 자갈축열로 인하여 주간에 온실내부 온도의 고다상승을 방지할 목적으로 자갈축열 태양열 온실을 개발하고자 온실의 설계 및 제작에 앞서 모형 자갈축열층과 이론적 해석을 통하여 축열층의 공기유동성 및 자갈축열층의 축열성능을 분석하여 자갈축열 태양열 온실의 설계에 필요한 자료를 얻고자 본 연구를 수행하였다.

실험장치 및 방법

1. 실험장치

가. 모형 축열층

본 연구에 사용된 모형 축열층은 표 1과 같이 모형 축열층을 제작하여 송풍 및 축열 실험을 수행하였다. 모형 축열층의 단열을 위해 축열층 내부에 두께 6cm의 폴리스티렌 폼을 부착하였으며 공기유동을 위해 축열층 좌우에 유입·출구를 설치하였다.

Table 1. 축열층 모형의 제원

축열층의 크기	축열자갈의 크기	자갈층 공극율	단 열 재	순환팬 용량
폭 (1.2m) 길이(9.0m) 높이(0.9m)	50mm~150mm	0.43	밀도 : 15kgf/m ³ 두께 : 6cm 열전도율 : 0.043W/m·K	1.43m ³ /s

나. 자갈축열층의 축열성능 분석을 위한 계산조건
 자갈축열층의 축열량 계산에 이용된 자갈의 물리적 특성 및 축열층의 제원과 가정조건은 표 2 및 표3과 같다.

Table 2. 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

Table 3. 축열층의 제원 및 가정조건

축열층 규모	자갈의 공극율	자갈의 직경	유입공기	초기출구 유체온도	순환팬 용량 (Q, m ³ /min)
폭(5m)×길이(9m) ×높이(1m)	0.30~0.45	8cm	1기압, 30°C(일정)	5.3°C	50, 75, 100

2. 실험방법

가. 순환팬의 송풍실험

축열층내 공기순환용 파이프 매설여부를 검증하기 위해 그림 1과 같이 축열층내에 풍속 센서 6점을 설치하여 자갈축열층내의 공기유동성을 분석하였다. 유입구에 순환팬을 설치하여 압출식으로 자갈축열층내로 송풍한 경우와 유출구에 순환팬을 설치하여 흡인식으로 공기를 유동시켰을 경우에 대하여 각각 풍속을 측정하였다. 또한, 압출식으로 공기를 순환시킬 경우 유출구의 정확한 풍속 측정을 위해 유출구에는 높이별로 센서 3점을 설치하여 풍속을 측정하였다.

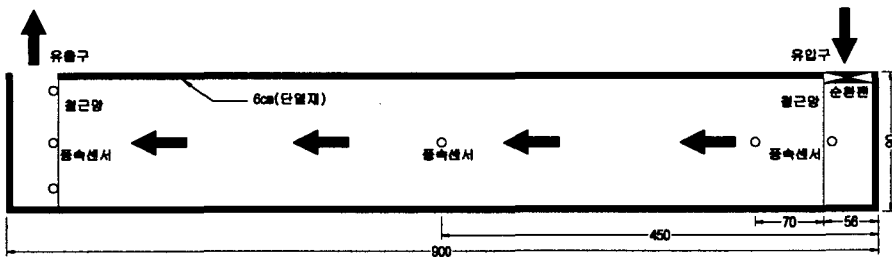


Fig. 1. 모형축열층의 단면

나. 모의 자갈층의 축열성능 계산

자갈층의 축열량을 평가하는데 필요한 이론들은 식 (1)~(2)와 같다. 식 (1)은 축열 자갈층의 유입공기온도와 초기 축열층 온도에 따른 출구온도를 추정하는 식이며, 식 (2)는 자갈층의 축열량을 산정하는 식이다.

$$T_{b, out} = T_s - (T_s - T_{b, in})e^{-h_c 2\pi RL/mC_p} \quad (1)$$

여기서, $T_{b,out}$: 축열층의 출구온도, T_s : 초기 자갈층의 온도, $T_{b,in}$: 유입공기온도

$$\dot{Q} = Q_i - Q_o = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

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, K), T_{out} : 출구유체온도 (°C, K)
 C_p : 정압비열 (kcal/kgf·°C, J/kgf·K),

결과 및 고찰

1. 축열층의 공기유동

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 경향을 나타냈다. 압출식으로 공기를 유동시켰을 경우 축열층내 풍속은 0.09~1.50m/s(평균 0.60m/s)범위였으며, 흡인식으로 공기를 유동시켰을 경우 축열층내 풍속은 0.15~0.90m/s(평균 0.46m/s)범위로 평균풍속은 압출식이 높게 나타났으나 축열층 가운데에서는 흡인식이 약 0.06m/s 정도 높게 나타났다.

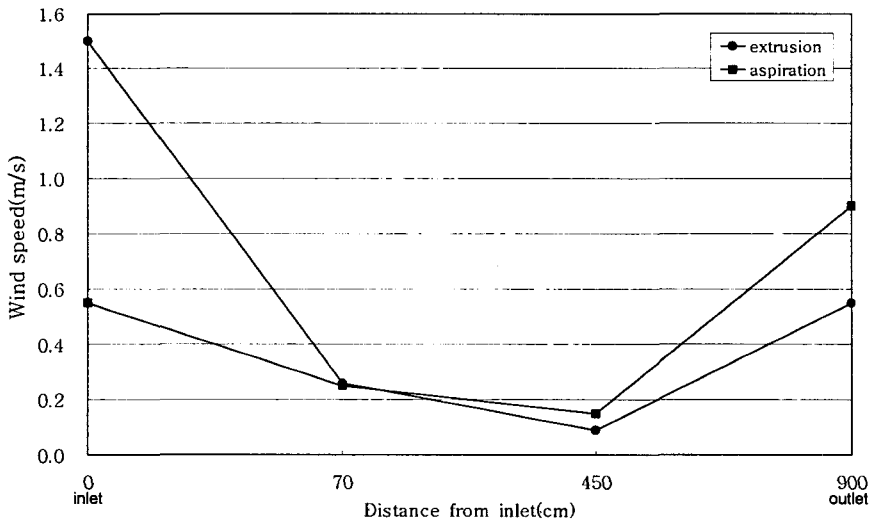


Fig. 2. 축열층내의 풍속변화

2. 자갈축열층의 축열성능

가. 공극율에 따른 축열성능

축열 자갈층은 그 층을 통과하는 뜨거운 유체에 의해 가열되고, 자갈에 저장되는 에너

지는 그 층을 통과하는 차가운 유체가 지나감으로 인해 빼앗기게 된다. 따라서, 축열층의 열전달 면적은 자갈의 크기와 형태, 공극율에 큰 영향을 받을 것으로 판단되어 자갈층의 공극율 변화에 따른 축열량을 산정하였으며 계산된 결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는 바와 같이 자갈축열층의 공극율이 증가할수록 축열량은 감소하였으며 순환팬의 용량에 따라서도 차이가 있는 것으로 분석되었다. 순환팬 용량과 공극율에 따라 평균 2,133kcal/h~3,243kcal/h 정도 축열량 차이가 있는 것으로 나타났으며 이러한 결과는 축열재의 체적이 축열량에 직접적인 영향을 미치지 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 축열층내 자갈의 크기를 결정하는데 있어 공기순환 및 축열용량을 동시에 고려하여야 한다.

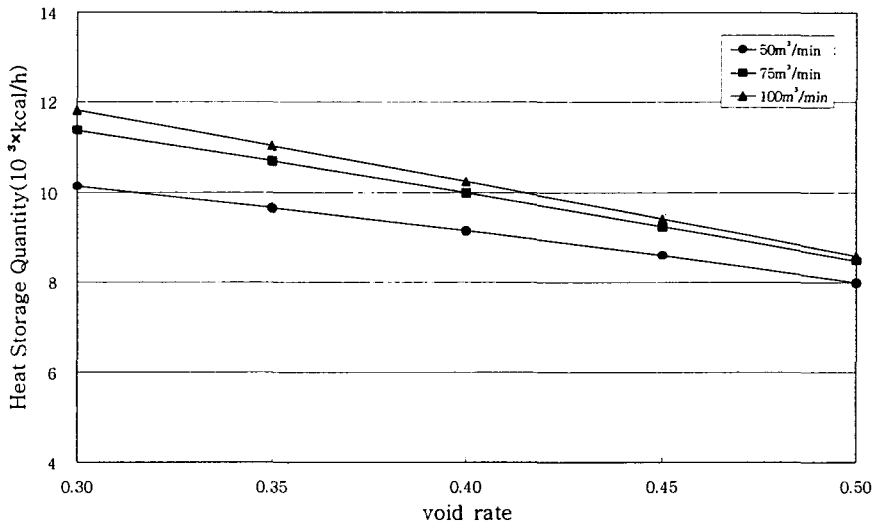
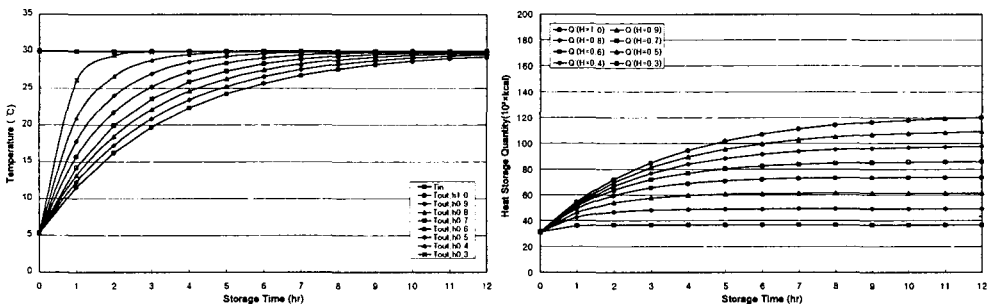


Fig. 3. 축열층내 자갈의 공극율 변화에 따른 축열량

나. 축열시간에 따른 축열성능

축열시간에 따른 축열층내 자갈의 온도변화 및 자갈층의 축열량을 산정한 결과는 그림 4에 나타나 있다.



(a) 축열층내 자갈의 온도변화

(b) 축열시간에 따른 자갈층의 축열량

Fig. 4. 축열시간에 따른 자갈층의 온도 및 축열량 변화 ($\epsilon_v=0.45$, 풍량 $75\text{m}^3/\text{min}$)

그림 4는 자갈축열층의 공극율이 0.45인 경우 축열시간에 따른 자갈층의 온도 및 축열량을 계산에 의해 구한 결과로서, 동일한 온실바닥(축열적 바닥)면적에 대한 깊이별로 축열시간에 따른 자갈층의 온도와 축열량 변화를 나타낸 것이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 축열층의 높이가 높을수록 자갈축열층의 온도는 서서히 증가하였으며, 축열층 높이가 60cm이하에서는 축열 7시간이후부터는 축열량 변화를 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 이용하여 온실에 필요한 기간난방부하량에 따른 적정 축열층의 제원을 결정할 수 있다. 향후 이러한 계산 결과를 모형축열층에 있어 실험적으로 구해지는 축열 자갈층의 온도와 축열량을 비교·검증하여 온실규모에 필요한 적정 축열시스템을 산정할 수 있는 시뮬레이션 프로그램의 기초자료로 활용하고자 한다.

적 요

겨울철 난방에너지와 여름철 냉방에너지 절감을 위한 자갈축열 태양열 온실의 설계자료를 얻고자 모형 자갈축열층과 이론적 해석을 통하여 축열층의 공기유동성 및 자갈축열층의 축열성능을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압출식으로 공기를 유동시켰을 경우 축열층내 풍속은 0.09~1.50m/s(평균 0.60m/s)범위였으며, 흡인식으로 공기를 유동시켰을 경우 축열층내 풍속은 0.15~0.90m/s(평균 0.46m/s)범위로 평균풍속은 압출식이 높게 나타났으나 축열층 가운데에서는 흡인식이 약 0.06m/s정도 높게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 자갈축열층내 공기순환을 위한 별도의 파이프 매설은 불필요한 것으로 판단된다.
2. 자갈축열층의 공극율이 증가할수록 축열량은 감소하였으며 순환팬 용량과 공극율에 따라 평균 2,133kcal/h~3,243kcal/h 정도 축열량 차이가 있는 것으로 나타났다.
3. 공극율이 0.45인 경우 축열층의 높이가 높을수록 자갈축열층의 온도는 서서히 증가하였으며, 축열층 높이가 60cm이하에서는 축열 7시간이후부터는 축열량 변화를 거의 없는 것으로 나타났다.
4. 이러한 결과를 모형축열층에 있어 실험적으로 구해지는 축열 자갈층의 온도 및 축열량과의 비교·검증단계를 거쳐 온실규모에 필요한 적정 축열시스템을 산정할 수 있는 시뮬레이션 프로그램의 기초자료로 활용하고자 한다.

참고문헌

1. 김용현, 고태균, 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 하우스의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. T.Mori, UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR WINTER CROPPING GREENHOUSE TOMATO, Acta Horticulturae 87, 1978, pp. 321~327