

# 태양열 온실 설계를 위한 축열자갈층의 모형 실험

## Model Experiment of Rock Bed Storage for Solar-Heated Greenhouse Design

이석건 · 이종원\* · 이현우 · 김길동(경북대)

Lee, Suk Gun · Lee, Jong Won · Lee, Hyun Woo · Kim, Gil Dong

### 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 different outside temperature condition. The results of this study will be used for design of experimental solar-heated greenhouse.

### I. 서 론

최근 환율상승, 유가 상승 등의 국내외 여건으로 말미암아 온실경영의 어려움이 대두되는 한편 소비자들의 요구는 더욱 다양해지고 있는 실정이다. 따라서, 시설원예의 안정적 유지발전을 위해 시설원예에 있어 생에너지화가 제기되고 있다. 시설원예에 있어 생에너지화의 방법으로 생에너지 작물재배기술, 보온력 증대를 위한 피복자재 및 방법의 개발과 에너지 절약형 시설구조 개선 및 난방유류절감 등을 제시하고 있다.

현재 우리나라의 대부분 시설원예 농가에 있어 경유용 온풍난방기를 사용하고 있는 실정이며, 실제로 97년 조사에 의하면 온풍난방이 69%, 온수난방이 20%, 온풍·온수난방이 11%로 대부분의 농가가 경유용 난방기를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 난방에너지원의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내실정을 감안하여 볼 때, 난방연료비의 상승에 대응하여 시설원예의 안정적인 유지 발전과 장기적으로 환경보존이라는 측면에서 난방에너지를 줄이고 대체에너지의 개발 등을 통한 난방비 부담의 감소와 안정된 생산기술을 확립하여야 한다.

온실난방에 사용되고 있는 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지원중에서 환경문제, 경제성 등을 감안할 때 태양에너지의 축열에 의한 방법이 바람직하다고 판단된다. 현재 국내에는 잠열 축열재과 토양축열을 이용한 지중열교환온실에 대한 연구는 다소 수행되고 있으나 이들 시스템은 겨울철 난방에너지의 절감만을 목적으로 하고 있다. 따라서, 여름철 냉방과 겨울철 난방에 필요한 에너지 절감을 목표로 자갈축열층을 이용한 태양열 온실을 개발하고자 한다. 이에 본 연구에서는 자갈축열 태양열 온실 설계에 필요한 자료를 얻고자 모형 자갈축열층을 이용한 공기순환, 축열 및 방열실험을 수행하였다.

## II. 실험장치 및 방법

### 가. 실험장치

축열 자갈층의 공기순환, 축열 및 방열 특성을 구명하기 위한 기초실험으로서 그림 1과 같이 폭(1.2m)×길이(9.0m)×높이(0.9m)인 모형 축열층을 제작하여 실험을 수행하였다. 모형 축열층의 단열을 위해 축열층 내부에 두께 6cm의 폴리스티렌 폼을 부착하였으며 축열층의 제원은 표 1과 같다. 순환팬이 위치하는 곳의 덮개를 이중으로 하여 순환팬의 부착위치를 자유롭게 할 수 있도록 하였으며, 순환팬을 축열층의 중앙에 부착하였을 경우 좌우로 공기가 유출되도록 좌우에 출구를 제작하였다.

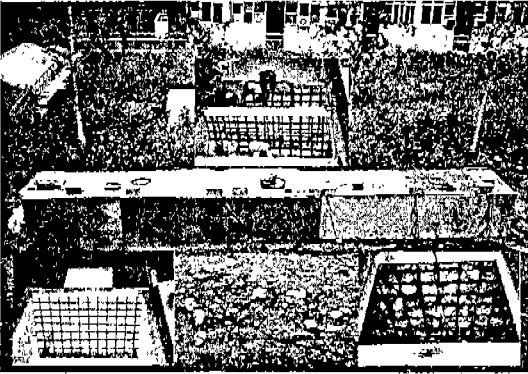


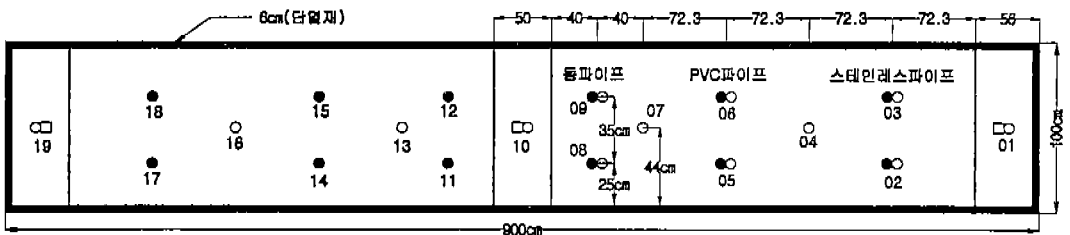
그림 1. 자갈 축열층의 모형

표 1. 축열층 모형의 제원

구분	내용
축열층 크기	폭(1.2m)×길이(9.0m) ×높이(0.9m)
축열자갈 크기	50mm~150mm
자갈층공극율	0.43
단열재	밀도 : 15kg/m <sup>3</sup> 두께 : 6cm
순환팬 용량	1.43m <sup>3</sup> /s

### 나. 실험방법

외기 유입에 따른 축열층내 온도변화를 계속하고자 그림 2와 같이 축열층내에 온습도 센서를 16점, 온도센서 13점을 설치하였으며 축열층 내부 및 유출구의 풍속을 측정하기 위하여 좌우 출구와 축열층 내부에 다점풍속센서를 설치하였다. 또한 축열층내 온습도 계측을 위한 계측시스템의 타당성을 검토하기 위해 온도센서를 축열층내 직접 매설한 경우와 계측용 파이프내에 삽입한 경우를 비교 검토하였다.



□ : 온습도센서, ● : 온습도센서, ○ : 온도센서

그림 2. 축열층내 센서 위치도

축열층내 온습도 변화를 분석하기 위하여 축열층 깊이와 공기유동 방향에 따라 유입 외기온 변화에 따른 축열층 내부의 온습도를 계측하였다. 순환팬 부착위치에 따른 축열층내의 공기유동성을 분석하기 위해 팬을 중앙과 우측에 각각 부착하여 유출구 및 축열층 중앙부위의 풍속을 측정하였다. 또한 축열층내에 자갈의 체적을 최대화시키기 위해서 공기의 유입면적과 관련되어지는 순환팬 하부에 자갈을 채우지 않았을 경우, 1/2정도 채웠을 경우, 완전히 채웠을 경우 등 세가지 경우에 대하여 출구의 풍속을 측정하였다. 이때 사용된 순환팬의 규격은 최대정압이 18mmAq이며, 최대풍량은 75m<sup>3</sup>/min였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 가. 축열 자갈층내의 온·습도 측정시스템

자갈층의 온도 분포를 측정하기 위해서는 자갈층 내에 계측용 센서를 설치하여야 하므로 계측센서의 파손 등을 고려하여야 한다. 따라서 축열층내에서 센서의 보호와 계측의 용이성을 고려하여 축열층내 계측용 파이프를 설치할 필요성이 제기되었다. 센서보호용 파이프는 열전도성을 고려하여 동, 스테인레스 및 PVC 파이프 등 재질이 각각 다르고 내경이 5cm인 파이프에 원활한 공기유동성을 보장하기 위해 1cm 간격으로 직경 10mm의 구멍을 두었다. 모형 축열층내의 파이프 매설 위치는 그림 2와 같으며 파이프내에 축열층 깊이별로 두점의 센서를 설치하여 자갈층에 직접 매설한 센서의 측정값과 비교·분석하였다. 측정된 결과는 그림 3 및 그림 4와 같다. 그림 3 및 그림 4에서 보는 바와 같이 파이프내의 온도와 자갈층의 온도가 파이프 재질에 관계없이 유사하게 나타나 표 2에서 보는 바와 같이 파이프의 가격을 고려하여 축열자갈층의 온습도 계측을 위한 파이프는 저렴한 PVC 파이프를 결정하였으며 은실설계 및 시공시 축열층내 온습도 측정용 파이프 매설을 고려하였다.

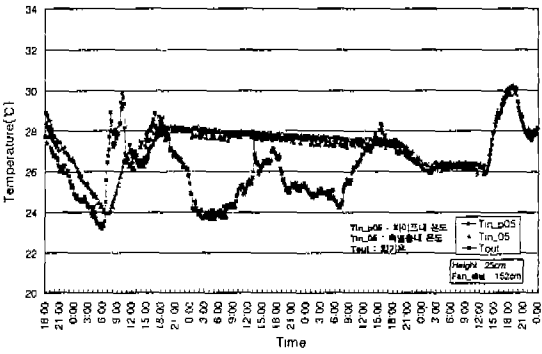


그림 3. PVC 파이프내의 온도 변화

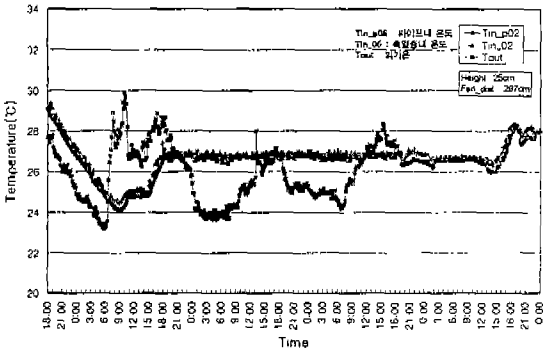


그림 4. 스테인레스 파이프내의 온도 변화

표 2. 파이프 종류별 단가

구 분	동파이프	스테인레스	PVC	비고
단가 (원)	9,800	11,700	2,950	내경 5cm, 길이 100cm

※ 시중단가 기준

나. 자갈층의 공기순환용 파이프 설치 여부

축열층내의 열이동은 초기상태에서는 공기와 축열재 사이에 열적으로 평형상태로 있다가 일사에 의한 더운 공기의 유입으로 인하여 축열층내 순환유체의 온도상승에 따라 열전달이 일어난다. 따라서 축열층내의 공기순환은 매우 중요한 문제이며 축열효율과도 관계가 된다. 원활한 공기순환을 위하여 축열층내 파이프 설치 여부를 검토하기 위해 축열층내 풍속을 측정하였으며 그 결과는 표 3 및 표 4와 같다.

표 3에서 보는 바와 같이 순환팬을 축열층 중앙에 설치하였을 경우 축열층 내부풍속은 축열층 높이에 따라 0.12~1.62m/s 범위였으며 좌우 출구방향의 풍속이 다소 차이가 있었고 높이별로도 풍속의 차이가 있었다. 이러한 것은 축열층내 자갈의 충전율이 균일하지 못하기 때문이며 축열층내 자갈의 채움상태를 조정하여 좌우 출구의 풍속차를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 4는 순환팬을 축열층 우측에 설치하여 축열층 중앙부위와 좌측출구에 풍속센서를 높이별로 설치하여 풍속변화를 측정한 결과로서, 순환팬을 축열층 우측에 설치한 경우에도 평균풍속은 측정점에 따라 0.13~0.96m/s 범위내로 원활한 공기순환이 이루어지는 것으로 나타났다. 따라서, 공기흐름방향의 열전도성에 의한 축열재의 표면과 공기간의 열이동, 공기순환용 파이프 설치로 인한 축열용량의 감소, 시공상의 문제, 축열재인 자갈의 공극율 및 더운 공기와 축열재간의 열교환 효율 등을 감안하여 불 때 축열층내의 파이프 설치가 불필요할 것으로 판단된다.

표 3. 순환팬을 축열층 중앙에 설치하였을 경우 축열층 높이별 평균풍속

구 분		CASE1			CASE2			CASE3		
		축열층 바닥높이 (cm)			축열층 바닥높이 (cm)			축열층 바닥높이 (cm)		
		80	55	25	80	55	25	80	55	25
평균풍속 (m/s)	좌측	0.39	0.12	0.25	0.23	1.62	0.63	0.19	1.20	0.51
	우측	0.76	0.90	0.16	0.90	0.12	0.24	0.64	0.08	0.19

- \* CASE1 : 순환팬 하부에 축열자갈이 없을 경우
- CASE2 : 순환팬 하부에 축열자갈을 1/2 채웠을 경우
- CASE3 : 순환팬 하부에 축열자갈을 완전히 채웠을 경우

표 4. 순환팬을 우측에 설치하였을 경우 축열층 높이별 평균풍속

구 분	축열층 유출구			축열층 중앙부위	
	80cm	55cm	25cm	55cm	25cm
평균풍속 (m/s)	0.61	0.13	0.53	0.27	0.96

다. 모형 축열층내 온도변화

모형 축열층을 이용하여 축열성능을 분석한 결과는 그림 3과 같다. 그림 3은 순환팬을 축열층 중앙부위에 설치하여 유입공기에 따른 좌우 출구 및 축열층 깊이가 44cm되는 내부의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 외기온이 30℃ 이상되는 주간(8월 1일 13:00~18:00)동안 순환팬을 작동시켰을 때 축열층 내부온도는 외기온이 29.4℃~31.0℃(평균 외기온 30.4℃) 범위에서 변화할 때 내부온도는 순환팬 좌측은 25.8℃~30.8℃(평균온도 26.2℃)범위

였으며 순환팬 우측은 26.2℃~31.1℃(평균온도 26.3℃)범위였다. 또한 좌우 유출구의 온도는 25.6℃~27.9℃범위로 유입되는 외기보다 약 3.1℃~3.8℃정도 낮게 나타났다. 그리고, 축열층의 온도변화는 유입구에서 가장 가까운 곳부터 축열층 내부의 온도가 증가하여 축열후 약 2시간 30분부터 외기온까지 상승하였다. 그리고, 유입구에서 195cm 떨어진 축열층 내부온도는 축열 후 5시간 20분동안 약 2℃정도 온도상승효과가 있었다. 또한 순환팬의 좌우 온도의 변화가 거의 유사함을 알 수 있었으며 유입되는 공기온도에 상당한 영향을 받음을 알 수가 있었다. 따라서 실제 축열온실에 있어서는 낮동안 온실내로 투과되는 일사량을 최대한 활용할 수 있도록 유입구의 설치가 요망되어졌다.

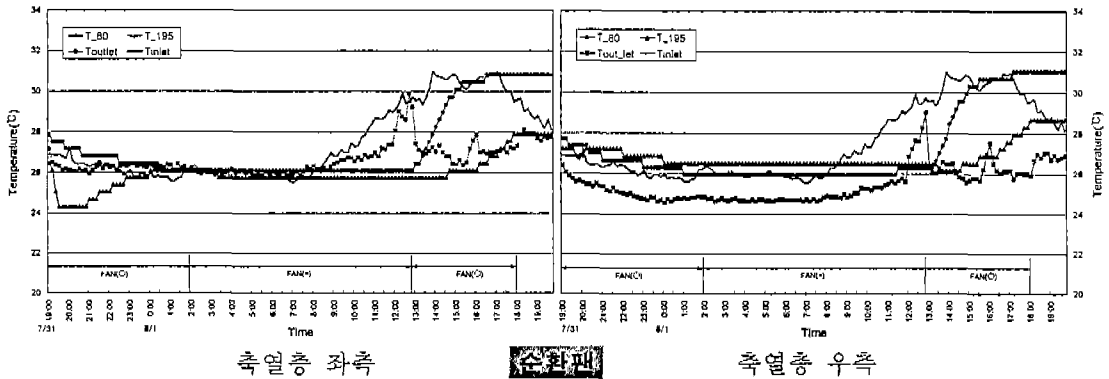


그림 3. 축열자갈층의 온도 변화(축열층 증상에 순환팬 설치;축열자갈층 깊이 40cm)

#### 라. 모형 축열층내 습도변화

그림 4는 축열층 깊이 55cm에서의 유입되는 공기의 습도에 따른 좌우 축열층내부 및 유출구의 습도 변화를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 축점위치에 관계없이 축열층내의 습도는 유입공기의 습도에 많은 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 여름철에 온실의 고온다습한 온실내부 공기를 축열층내로 유입시키면 축열층내 습도가 과다하게 상승하게 된다. 따라서 실험온실 제작시 이 점을 고려하여 축열층을 시공하여야 할 것으로 판단되며 축열층과 온실외부로 통하는 통풍구가 필요할 것으로 판단되었다.

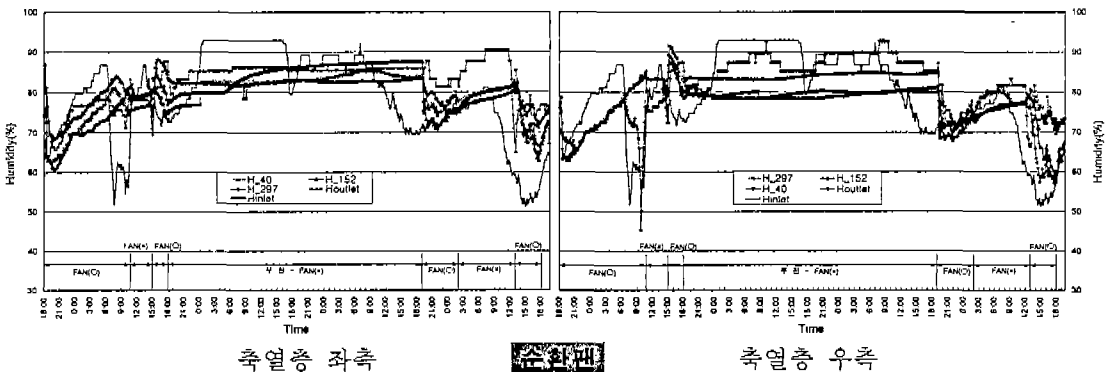


그림 8. 축열자갈층의 습도 변화 (축열층 증상에 순환팬 설치;축열자갈층 깊이 55cm)

#### IV. 결 론

자갈축열층을 이용한 지중축열 태양열 온실을 개발하기 위한 기초실험으로서 모형 자갈축열층을 이용하여 자갈축열층내 공기유동성, 축열층 내부의 온습도 환경을 계측하기 위한 계측용 파이프 매설여부 및 축열층 내부의 온습도 변화를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 계측센서 보호용 파이프설치 여부를 검토한 결과, 파이프내의 온도와 자갈층의 온도가 재질에 관계없이 유사하게 나타나 파이프의 가격을 고려하여 축열자갈층의 온습도 계측을 위한 센서보호용 파이프는 저렴한 PVC 파이프로 결정하였다.
2. 축열층내 공기순환 실험 결과, 공기흐름방향의 열전도성에 의한 축열재 표면과 공기간의 열이동, 공기순환용 파이프 설치로 인한 축열용량의 감소, 시공상의 문제, 축열재인 자갈의 공극을 및 더운 공기와 축열재간의 열교환 효율 등을 감안하여 볼 때 축열층내의 파이프 설치가 불필요할 것으로 판단된다.
3. 평균 외기온이 30.4℃일 때 약 5시간 20분 동안 공기순환을 시켰을 경우 좌우 유출구의 온도는 외기온보다 약 3.1℃~3.8℃정도 낮게 나타났으며 유입구에서 가장 가까운 곳부터 축열층 내부의 온도가 증가하여 축열 약 2시간 30분만에 외기온까지 상승하였다. 그리고, 유입구에서 195cm 떨어진 축열층 내부온도는 축열 5시간 20분동안 약 2℃정도 온도상승효과가 있었다.
4. 축열층 내부의 습도는 측정위치에 관계없이 유입공기의 영향을 많이 받는 것으로 나타나 여름철 고온다습한 온실내부 공기를 축열층내로 유입시키면 축열층내 습도가 과다하게 상승하게 되어 습도제거를 위한 통풍구가 필요할 것으로 판단되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 김용현, 고헌균, 김문기. 1990. 플라스틱 온실의 열저장 시스템 개발에 관한 연구 (I). 한국농업기계학회지 15(1) : 14-22.
2. 권영삼. 1997. 난방에너지 절감기술과 대응방안. 시설원예연구회 세미나 자료 : 1-22.
3. 박정원, 박봉규, 안상규. 1992. 자갈식 축열조의 축열특성에 관한 연구. 한국태양에너지학회지 Vol. 12(1) : 81-87
4. 이종호, 박승제, 김용현, 김철수, 이종용. 1994. 지중열교환 온실의 축열 및 방열 특성. 한국농업기계학회지 Vol. 19(3) : 222-231.
5. 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) : 11-15.
6. T.Mori, UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR WINTER CROPPING GREENHOUSE TOMATO, Acta Horticulturae 87, 1978, pp. 321~327