

# 지중축열 온실설계를 위한 자갈의 열적 특성

## Thermal Characteristics of Gravels for Underground Solar-Heated Greenhouse Design

이석건·이종원·이현우·김길동

경북대학교 농업토목공학과

S. G. Lee · J. W. Lee · H. W. Lee · G. D. Kim

Department of Agricultural Engineering, Kyungpook National University

### 1. 서 론

IMF 이후 시설원예분야에 있어 생에너지, 에너지 절약형, 대체에너지 개발 등의 용어들이 자주 등장하고 하고 있다. 이는 시설원예 난방에너지원의 대부분을 수입에 의존함에 따라 지난 2년간에 걸친 유가의 상승으로 인한 온실경영의 어려움을 단적으로 보여주고 있는 것이라 하겠다. 따라서, 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.

태양열을 이용한 축열식 난방방식은 크게 현열이용형 축열방법과 잠열이용형 축열방법이 있다. 현재 국내에는 잠열축열재과 토양축열을 이용한 지중열교환은 실에 대한 연구는 다소 수행되고 있으나 이들 시스템은 겨울철 난방에너지의 절감을 목적으로 하고 있으므로 여름철 냉방시 별도의 시스템을 구비하여야 한다.

이에 여름철 냉방에너지와 겨울철 난방에너지의 절감을 위하여 자갈축열층을 이용한 태양열 온실의 개발과 설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 축열재로 사용되는 자갈의 열적특성을 분석하였다.

### 2. 실험방법 및 장치

#### (1) 축열재의 공극율 실험

태양열 축열온실은 주간 일사에 의해 데워진 온실상부 공기가 자갈축열층을 통과하면서 자갈층에 축열한 후 온실상부로 이동하는 구조체이므로 자갈층 사이로 공기의 유동이 원활하도록 충분한 공극율이 보장되어야 한다. 따라서 자갈의 공극율 분석을 위한 실험은 한국산업규격(KSF 2503, 2505)에 의한 방법과 간이탱크를 이용한 간이실험에 의해 공극율을 측정하였다.

## (2) 열전도율 측정

Fig. 1에서 보는 바와 같이 토양과 자갈의 열전도율을 비교 분석하기 위한 실험에는 열전도계수측정장치인 QTM-500을 이용하였다.



Fig. 1. Thermal conductivity measuring system and sample

## (3) 자갈의 방열 실험

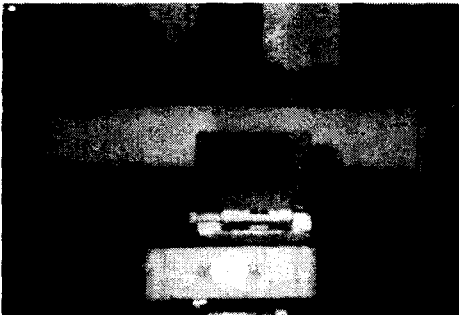


Fig. 2. Temperature measuring system

자갈의 방열 특성을 파악하기 위해 입경이 80~250mm인 강자갈과 쇠석을 항온항습기를 이용하여 온도 40℃, 습도 25%로 24시간동안 가온 및 가습후 외기 온이 16~17℃인 실내에서 자갈 및 쇠석의 온도변화를 측정하였다. 측정시스템은 Fig. 2에서 보는 바와 같고 자갈과 쇠석의 표면에 온도센서를 부착하고 적외선 열화상장치를 이용하여 방열특성을 파악하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### (1) 자갈층의 공극율

Fig. 3은 자갈의 입경별 공극율과 비중을 도시한 것으로 자갈의 크기에 따른 공극율의 차이는 미소한 것으로 나타났으며 쇠석이 다소 높게 나타났다. 쇠석이 강자갈보다 공극율이 5~7%정도 높게 나타난 것은 쇠석의 입도가 고르지 못하기 때문인 것으로 분석된다. Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 자갈층 사이로 공기가 통과할 수 있는 공극율은 자갈의 크기와는 큰 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

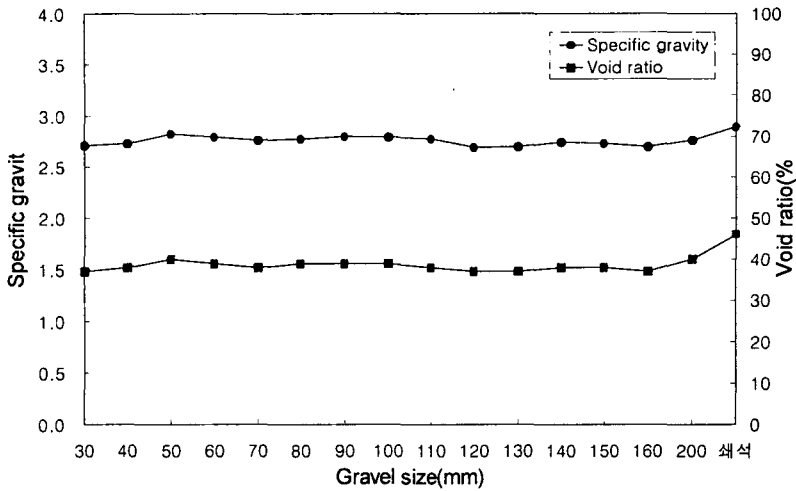


Fig. 3. Specific gravity and Void ratio of Gravels & Crush stone

(2) 토양과 자갈의 열전도율

축열재로 사용되는 자갈의 열적성질을 파악하기 위하여 열전도계수 측정장치인 QTM-500을 이용하여 자갈과 흙의 열전도계수를 측정한 결과는 Table 1에 나타나 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 자갈은 흙에 비하여 열전도계수가 3~4배정도 우수한 것으로 나타났다.

Table 1. Thermal conductivity of soil and gravel

Item	Soil		Gravel		Crushed stone
	Natural cond. ( $\omega=14\%$ )	Dry cond. ( $\omega=0\%$ )	Sample 1	Sample 1	
Thermal conductivity (W/m·K)	0.9398 (35°C)	0.6325 (31°C)	2.557 (30°C)	2.7106 (32°C)	1.6783 (31°C)

(3) 자갈의 방열 특성

온도센서와 적외선열화상장치를 이용하여 자갈 및 쇄석의 방열 특성을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 쇄석이 강자갈보다 방열속도가 빠른 것으로 나타났으며, 강자갈의 경우 방열시간과 속도는 입경에 영향을 받는 것으로 나타났다. 크기별로 다소 차이는 있지만 평균 최대방열지속시간은 8시간 정도로 분석되었다. 그리고 적외선 열화상장치를 이용하여 방열 경과시간에 따라 측정된 열화상 결과를 통해서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

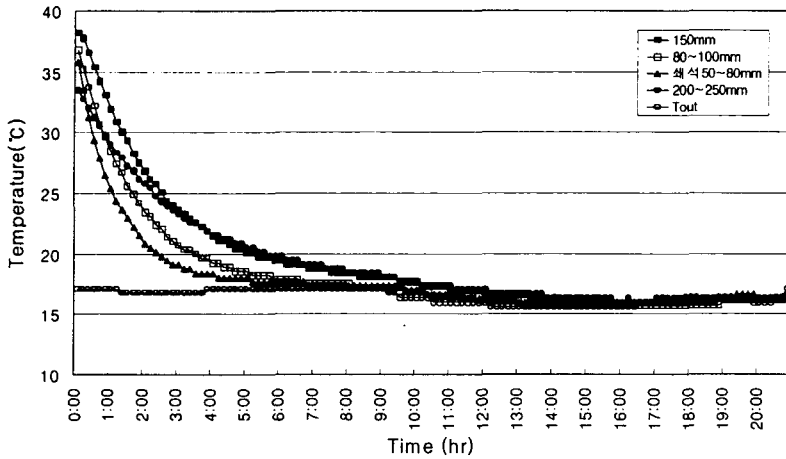


Fig. 4. Thermal emission characteristics for gravel size

#### (4) 온실바닥의 단열

축열층의 주변온도와 온도차로 인한 열손실이 발생되면 축열효율이 떨어지기 때문에 축열효율을 극대화하기 위해서는 축열층의 외벽과 온실바닥에 대한 단열처리가 필요하다. 예상되어지는 온실 바닥에 대한 온도경사도를 작성하여 열의 이동현상을 파악한 예는 Fig. 5와 같다. 콘크리트바닥은 두께 변화에 따른 단열성능이 단열재에 비해 크게 떨어지기 때문에 단열효과를 무시하고 하중에 대한 구조적 안정성과 시공성을 고려하여 산정하여야 한다. 그리고 단열재의 두께를 최소 3cm에서 1cm씩 변화시켜 단열성능을 분석한 결과, 두께 증가에 따른 단열성능의 증가폭은 감소하였다. 이러한 결과를 토대로 단열성능에 따른 난방에너지 절감량과 단열재 시공에 소요되는 공사비를 비교·분석하여 단열재 두께를 산정하여야 할 것으로 판단된다.

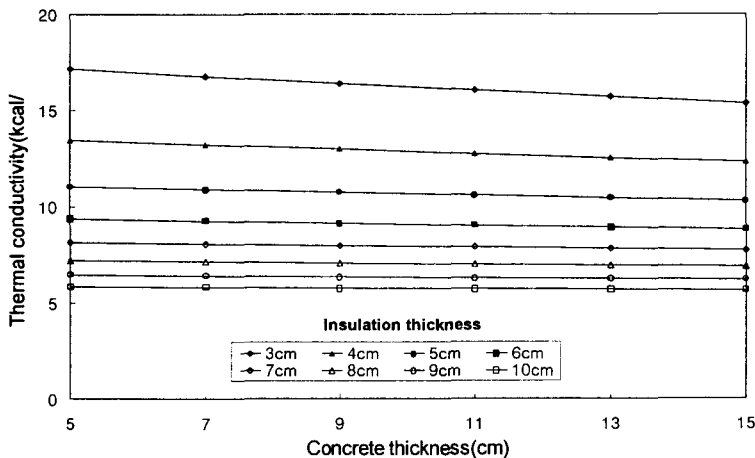


Fig. 5. Relationship between thermal conductivity and floor materials thickness ( $T_{sub} - T_{in} = 25^{\circ}C$ )

#### 4. 요약 및 결론

자갈축열층을 이용한 태양열 온실의 설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 자갈의 열적 특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공기가 통과할 수 있는 자갈층의 공극율은 자갈의 크기와는 큰 상관관계가 없었다.
- (2) 토양과 자갈의 열전도율을 측정한 결과 자갈의 열전도성이 토양에 비해 약 3~4배정도 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 강자갈의 경우 방열시간과 속도는 입경에 영향을 받는 것으로 나타나 크기별로 다소 차이는 있지만 평균 최대방열지속시간은 8시간 정도로 분석되었다.
- (4) 축열층의 단열처리에 있어 콘크리트보다는 단열재의 두께에 많은 영향을 받는 것으로 나타나 단열층의 시공과 난방비의 경제성 분석을 통해 단열층의 두께를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- (1) 김용현, 고학균, 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) 송현갑, 유영선, 김영복. 1993. 온실 보온을 위한 상변화 물질의 축열 특성 연구. 한국태양에너지학회지 Vol. 13(2) : 65-78.
- (5) 이종호, 박승제, 김용현, 김철수, 이종용. 1994. 지중열교환 온실의 축열 및 방열 특성. 한국농업기계학회지 Vol. 19(3) : 222-231.
- (6) 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) : 11-15.
- (7) Kozai, T. 1985. Thermal performance of a solar greenhouse with underground heat storage system, Proc. of the international symposium on thermal application of solar energy : 503-508.
- (8) Kurata, K. and T. Takakura. 1985. Simulation of climate within a solar greenhouses equipped with underground heat storage units, Proc. of the international symposium on thermal application of solar energy : 521-526.