

# 잠열 축열 - 바이오 세라믹 온돌의 난방 특성

## - 이론적 분석을 중심으로 -

### Floor Heating Characteristics of Latent Heat Storage - Bioceramic Ondol

#### - Focused on Theoretical Analysis -

송 현 갑(충북대학교), 유 영 선(충북대학교)\*

#### Abstract

Korean traditional Ondol with the sensible heat storage medium has been for a long time used as residential heating system, in these days the concrete Ondol without the heat storage medium was realized as the heating system in the private houses and the apartments. This floor heating system is good for our health. But the concrete Ondol is not desirable for the energy saving and for the maintenance of comfortable room temperature because the heat storage medium is not employed in the concrete Ondol. And as the hot water circulating pipes are buried under the the concrete floor, the concrete Ondol system has some kind of problems to be improved. Therefore the new type of Ondol system was developed in this study. And the new Ondol was consisted of latent heat storage material as heat storage medium with a great heat capacity and bioceramics as medium to maintain comfortable room temperature. In this study, the heat transfer characteristics of latent heat storage-bioceramic Ondol was analyzed theoretically.

#### 1. 서 론

현재 이용되고 있는 매설식 시멘트 온돌은 열이용 측면에서 비효율적이며, 시공이 불편하고, 유지 및 보수가 어렵기 때문에 보다 나은 형태의 온돌이 개발·이용되어야 한다는 것은 주지의 사실이다. 그리고 새로운 형태의 온돌은 축열

성, 시공의 간편성, 유지 및 보수의 용이성, 경량화 및 경제성, 인체 공학적 유익성 등의 다양한 기능이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 새로운 형태의 다기능 온돌을 개발할 목적으로 잠열축열재를 이용하여 온돌에 보다 적극적인 축열기능을 부여하였고, 온돌을 판넬형 조립식으로 제작하여 시공 및 유지보수가 용이하도록 하였으며, 또한 바이오세라믹을 온돌판넬에 압착시켜 인체에 유익한 것으로 알려진 원적외선을 방출하도록 하였다.

본 연구에서는 이와 같이 연구개발한 잠열축열 - 바이오세라믹 온돌을 설치한 난방 공간의 열특성을 이론적으로 분석하고자 하였다.

## 2. 잠열축열 - 바이오세라믹 온돌의 열형평

온돌에 공급된 난방열은 잠열 및 현열의 형태로 축열·이용되며, 일부는 외부로 손실된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Q_T = Q_{SHS} + Q_{PCM} + Q_{HL} \text{ ----- (1)}$$

여기서,  $Q_T$  : Total energy supplied in Ondol(kcal/hr)

$Q_{SHS}$  : Sensible heat storage of Ondol pannel(kcal/hr)

$Q_{PCM}$  : Total heat storage of PCM(kcal/hr)

$Q_{HL}$  : Heat loss(kcal/hr)

온돌에 공급된 난방열은 전도열전달에 의하여 온돌표면에 도달하고, 다시 온돌표면으로부터 복사 및 대류열전달에 의하여 벽체와 실내공기로 전달된다. 즉, 온돌표면으로부터 방출된 열은 실내공기에 저장되어 난방에 이용된 후 벽과 창 그리고 문을 통하여 손실된다.

이와 같은 열흐름을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Q_{cod} = Q_{rad} + Q_{cov} = Q_{air} + Q_{cod,w} + Q_{vent} = Q_L \text{ ----- (2)}$$

여기서,  $Q_{cod}$  : Conduction heat transfer of Ondol(kcal/hr)

$Q_{rad}$  : Radiation heat transfer from Ondol surface(kcal/hr)

$Q_{cov}$  : Convection heat transfer from Ondol surface(kcal/hr)

$Q_{air}$  : Enthalpy of room air(kcal/hr)

$Q_{cod,w}$  : Conduction heat transfer from room wall(kcal/hr)

$Q_{vent}$  : Ventilation heat transfer between room space and the exterior(kcal/hr)

$Q_L$  : Heat loss from room(kcal/hr)

(2)식에서 복사열전달항인  $q_{rad}$ 는 그림 1과 같이 열저항 회로망(Thermal resistance network)으로 가시화하여 복사열량을 산정할 수 있으며, 또한 난방 공간을 이루고 있는 실내 각 면들에 대한 온돌표면의 흡수계수를 고려하여 복사열량을 해석할 수 있다. 이를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{Q_{1-2(rad)}}{A_1} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{A_1^2(F_{1-2}F_{2-3} + F_{1-2}F_{2-3})}{A_1^2 F_{1-2}F_{1-3}F_{2-3} + F_{1-3} + F_{2-3}} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2}} \quad (3)$$

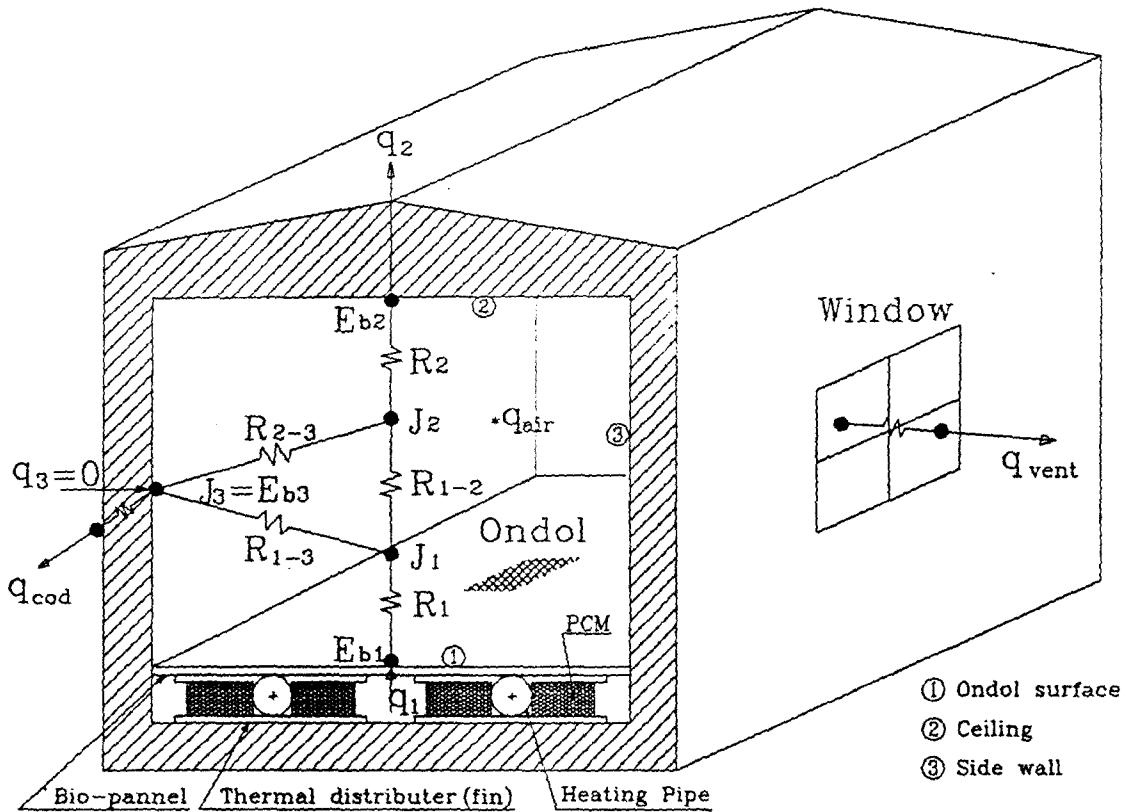


Fig.1 Configuration of latent heat storage type ONDOL system and the radiation resistance network.

6개면으로 구성된 난방공간에서 온돌표면의 순방사 열량은 온돌표면 이외의 다른 면으로부터 되돌아 오는 복사와 반사에너지를 고려하므로써 얻어진다. 이때 여러 면의 방사율과 면과 면사이 상호간의 형태계수(shape factor)에 의하여 이루어지는 계수를 온돌표면의 흡수계수(Absorption factor)라 하며, 이 개념을 도입하여 온돌표면의 복사에너지를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{Q_{(1-2)rad}}{A_1} = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4 - \sum_{i=1}^n B_{1i} \cdot \epsilon_i \cdot \sigma \cdot T_i^4$$

$$= \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - MRT_1^4) \text{ ----- (4)}$$

여기서,  $B_{1i}$  : Absorption factor of Ondol surface on i surface  
 $MRT_1$  : Mean radiation temperature(K) in Ondol room

(2)식에서 대류열전달항인  $q_{cov}$ 는 Newton의 냉각법칙에 의하여 다음과 같이 표시된다. 바닥 난방에서 일어나는 대류열전달은 특수한 경우를 제외하고는 자연 대류로 나타나며, 다음과 같은 식으로 정리할 수 있다.

$$\frac{q_{cov}}{A_1} = h_1 (t_1 - t_\infty) = 0.8556 (t_1 - t_\infty)^{\frac{5}{4}} \text{ ----- (5)}$$

이상과 같이 복사열전달식과 대류열전달식을 정리하므로써 (2)식은 구체적으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_L = Q_{rad} + Q_{cov}$$

$$\frac{Q_L}{A_1} = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - MRT_1^4) + \frac{k_{air}}{L} \cdot C \left( \frac{g \cdot \beta (t_1 - t_\infty) L^3}{\nu \alpha} \right)^n$$

$$= \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - MRT_1^4) + 0.8556 (t_1 - t_\infty)^{\frac{5}{4}} \text{ ----- (6)}$$

여기서,  $\sigma = 4.883 \times 10^{-8}$  (kcal/hr m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 온돌표면 판재에 Bioceramic을 처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 복사열전달의 이론 및 실험적 분석결과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 전체적으로 Bioceramic을 처리한 경우의 복사열전달량이 처리하지 않은 경우보다 1~2 kcal/m<sup>2</sup>hr 정도 큰 값을 보였으며, 온돌표면온도  $T_1$ 이 클수록 그 차이가 점

점 커지는 경향을 보였다.

이와 같은 현상은 Biceramic이 방사하는 원적외선의 복사에너지가 온도가 높을수록 그 밀도가 커지기 때문인 것으로 판단된다.

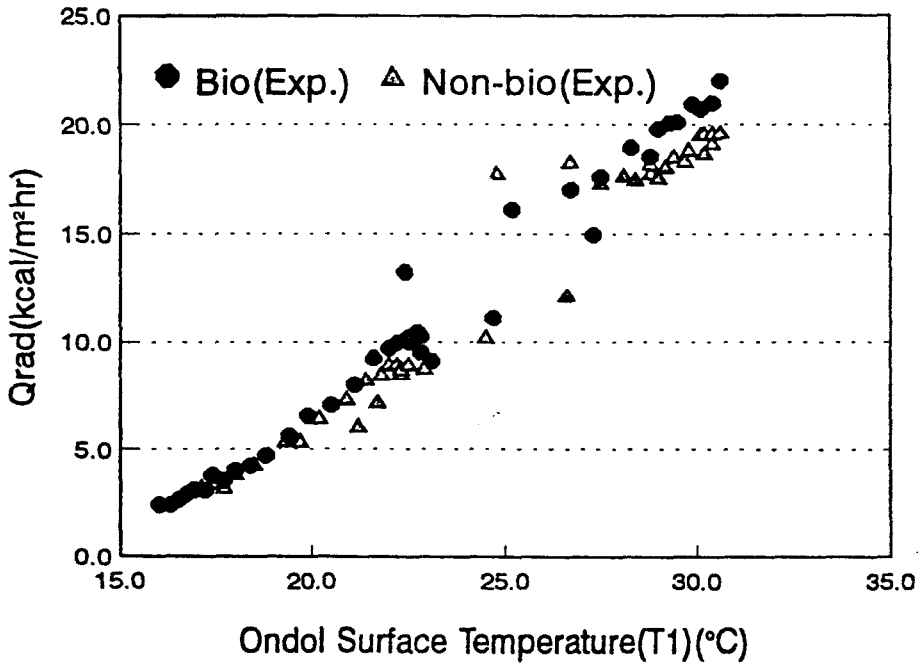


Fig. 2 Bioceramics effect on the radiation heat transfer of Ondol surface( $T_1$  : Ondol surface temperature( $^{\circ}\text{C}$ ))

그림 3에서 실선은 온돌표면과 경계층의 온도차에 따른 대류열전달계수,  $h_1$ 에 대한 이론치를, 흑색원형마크는 실험치를 나타내고 있으며, 점선은 대류열전달량의 이론치를, 삼각형은 대류열전달량의 실험치를 나타내고 있다.

그림 3에서 보는 바와 같이 대류열전달계수의 이론치와 실험치는 약간의 차이를 보이고 있으나,  $h_1$ 이 1.0에서 1.5 ( $\text{kcal}/\text{m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ ) 사이에 있는 것으로 나타났으며, 대류열전달량은 온도차( $T_1 - T_\infty$ )가 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하였으며, 이론치와 실험치는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

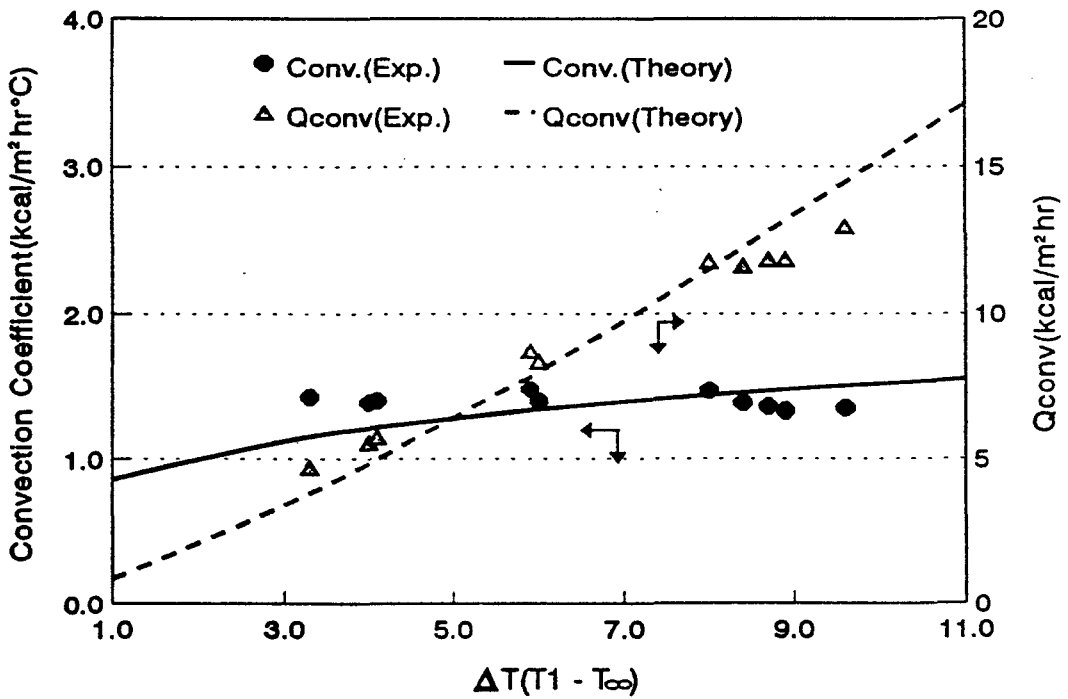


Fig. 3 Convection coefficient and convection heat transfer on Ondol room space.

where,  $T_1$  : Ondol surface temperature( $^\circ\text{C}$ )

$T_\infty$  : Air temperature of thermal boundary layer( $^\circ\text{C}$ )

온돌에 가한 열은 온돌표면까지 전도에 의하여 전달되고, 전달된 열은 다시 대류와 복사에 의하여 난방공간에 공급된다. 그림 4에서 순열전달량에 대한 대류와 복사열전달의 비를 Bioceramic을 처리한 경우와 처리하지 않은 경우를 구별하여 온돌표면온도대별로 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 온돌표면 온도대가 비교적 낮은 14~22℃에서는 Bioceramic을 처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 복사와 대류열전달비는 65:35였고, 표면온도대가 비교적 높은 22~30℃에서는 Bioceramic을 처리한 경우에는 복사와 대류열전달비가 75:25로 복사열전달비가 다른 경우보다 크게 나타났으며, 같은 온도대에서 Bioceramic을 처리하지 않은 경우에는 복사와 대류열전달비가 71:29로 나타나 Bioceramics처리가 복사열전달을 촉진하고 있음을 보여주었다.

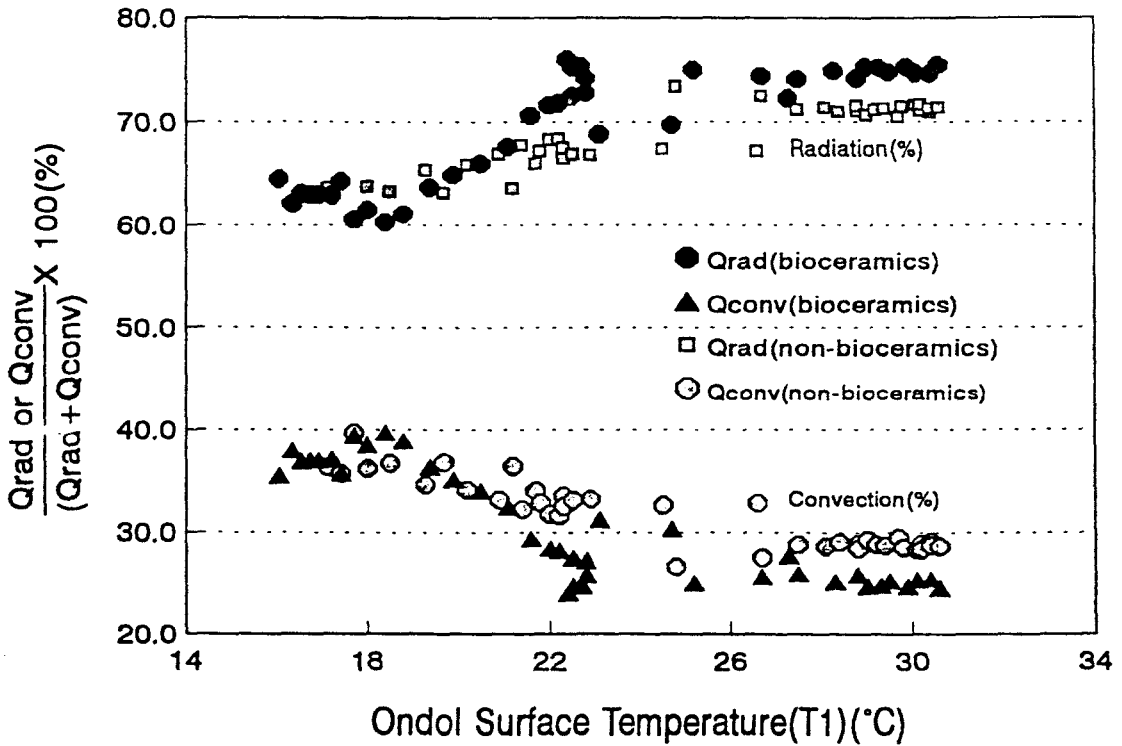


Fig. 4 The ratio of radiation and convection heat transfer to the total heat transfer in the latent heat storage Ondol with and without bioceramic layer.

그림 5에서 보는 바와 같이 바닥 난방의 경우에는 바닥면에서의 공기온도경계층 두께가 5~7cm였으며, 천정면에서의 공기온도경계층은 7~8cm였고, 나머지 수직공간온도는 거의 일정한 온도수준을 유지하였다. 이에 대하여 공간난방의 경우에는 공기온도경계층의 기울기가 바닥 난방의 경우와 반대방향으로 나타났으며, 온도경계층 두께도 40~45cm로 바닥 난방의 경우보다 수직공간온도변화가 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 그림 5에서 보는 바와 같이 바닥 난방의 경우에는 대류열전달보다 복사열전달이 크고, 공간난방의 경우에는 구조적으로 대류열전달이 복사열전달보다 크기 때문인 것으로 판단되었다.

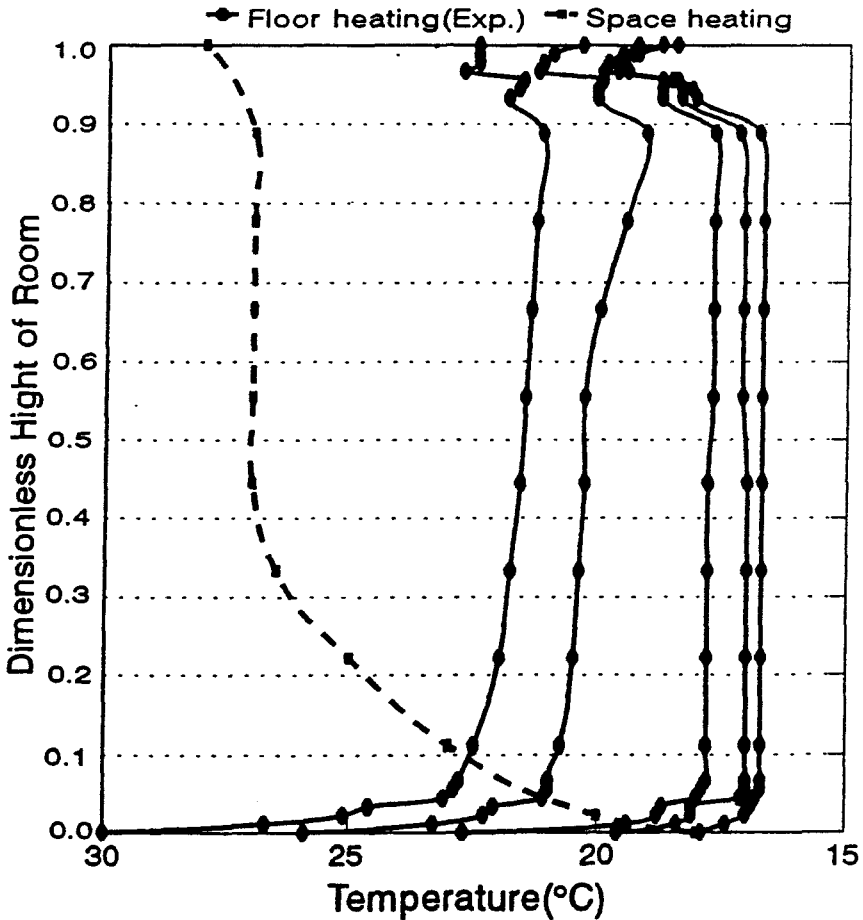


Fig. 5 Vertical room air temperature distribution profile in case of floor and space heating system.



#### 4. 결 론

현재 이용되고 있는 매설식 온수 순환 온돌의 단점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 잠열축열재와 바이오세라믹을 이용한 조립식 온돌을 설계·제작하였으며, 온돌을 설치한 난방공간의 열전달 특성을 열평형 이론을 적용하여 해석하였다. 또한, 잠열축열 - 바이오세라믹 온돌의 열특성을 이론적으로 해석한 결과를 검증하기 위하여 실험결과와 비교분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 잠열축열 - 바이오세라믹 온돌의 복사 및 대류열전달, 그리고 열평형식을 정리하면 다음과 같다.

· 복사열전달 : 
$$\frac{q_{1-2}(rad)}{A_1} = \frac{\sigma(T_i^4 - T_o^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{0.6A_i}{0.128A_i + 1.6} + 0.43}$$

· 대류열전달 : 
$$\frac{q_{conv}}{A_1} = 0.8556(t_1 - t_\infty)^{\frac{1}{4}}$$

· 흡수계수의 도입에 의한 열형평식 : 
$$\frac{q_1}{A_1} = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_i^4 - MRT_i^4) + 0.8556(t_1 - t_\infty)^{\frac{1}{4}}$$

2. 복사 및 대류열전달의 이론해석 결과는 실험결과와 잘 일치하였으며, 복사 열전달량은 바이오세라믹 온돌이 일반온돌보다 1.0~2.0 kcal/m<sup>2</sup>hr 크게 나타났다, 대류열전달계수는 1.0~1.5 kcal/m<sup>2</sup>hr°C로 분석되었다.
3. 바이오세라믹 온돌과 일반온돌의 복사와 대류열전달비는 각각 75:25(%), 71:29(%),로서 바이오세라믹에서 방출되는 장파원적외선의 효과가 입증되었다.
4. 잠열축열 - 바이오세라믹 온돌을 이용한 바닥 난방(Floor heating)과 공간 난방(Space Heating)의 실내 공기온도 분포를 분석한 결과 바닥 난방에서는 온도경계층의 두께가 얇고, 온도경계층을 제외한 난방공간의 수직온도 분포가 거의 일정하였으나, 공간난방에서는 온도경계층의 두께가 바닥 난방보다 7배이상 컸으며, 수직온도분포의 변화도 크게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. R.H.Tull, "ASHARE Program on Energy Requirements for Heating and Cooling", ASHARE JOURNAL, pp.44-46, April 1968.
2. D.Y.S.Lou, "Solidification Process in a Glauber Salt Mixture",

pp.115-122.

3. George A. Lane, Ph.D., "Solar Heat Storage : Latent Heat Materials", Vol. I, pp7-8, 1983.
4. T.CUSUDA, "Thermal Response Factors for Multi-Layer Structures of Various Heat Conduction Systems", pp.247-266, 1969.
5. W.M.Suh, "Modeling of Greenhouse Equipped with a Solar Rocked System and with Carbon Dioxide Enrichment", A Dissertation, pp.113-128, 1986.
6. A.A. Ghoneim, S.A.Klein, J.A.Duffie, "Analysis of collector-storage building wall using phase-change materials", Solar Energy, Vol.47(3), 1991.
7. 안병욱 외 2인, "溫突바닥面の 對流熱傳達率에 관한 研究", 大韓建築學會, 學術發表論文集, Vol. 8(2), 1988.
8. 김철주 외 1인 역, 熱傳達, 희중당, pp.271-304, 1992.
9. F.Kreith, "Transmission de la chaleur et thermodynamique", masson et Cie, pp.266-328, 1967.