

온돌난방시스템에서 복사열전달의 역할

A Role of Radiant Heat Transfer in the Ondol Heating System

최 영 돈
Y. D. Choi
고려대학교 기계공학과



- 1950년생
- 냉난방 시스템 시뮬레이션, 열교환기 최적설계에 관심을 가지고 있음

1. 서 론

우리나라는 고래로부터 아궁이와 구들을 이용한 온돌난방시스템을 사용하여 난방해왔고 최근에는 온수관을 방바닥에 설치하는 개량온돌시스템을 사용하고 있다. 그런데 통상적으로 온돌난방 방식은 복사난방 방식이라고 불리어지고 있다. 그것은 온돌난방방식이 서구의 파넬난방 방식과 가장 상사하고 파넬난방 방식이 복사난방 방식으로 알려져 있기 때문이다. 그러면 과연 온돌난방시스템에서 복사열전달의 역할이 어느 정도인가를 알아보는 것은 흥미로운 일이다.

최근 온돌난방시스템에서 복사난방이 차지하는 비율을 계산하는데 관한 몇몇의 연구 논문이 있었다.^{(1), (2)} 그러나 과연 온돌난방 시스템에서 복사열전달이 어떤 과정을 통해서 실내공기로 열을 전달하는지와 복사열전달의 존재가 에너지 사용율에 어떠한 영향을 미치는지를 상세히 분석한 논문은 아직 없다. 본 해설에서는 먼저 기존의 재래식 전통온돌난방시스템과 개량온돌난방시스템에서 복사열전달의 역할을 분석하고 그에 바탕하여 에너지절약 측면, 거주자의 쾌

적도 측면에서 온돌난방시스템의 개선방향에 대한 제안을 하고자 한다.

2. 온돌난방시스템의 특성

2.1 복사열전달의 역할

재래식 전통 온돌난방시스템이건 개량온돌난방시스템이건 온돌난방시스템이 공통적으로 갖는 특징은 방바닥이 열을 공급하는 공급원이 되고 창문, 문, 벽, 천정등은 열을 방출하는 소비원이 된다는 것이다. 그런데 열은 방바닥으로부터의 대류열전달과 복사열전달에 의해 실내공기로 전달된다고 알려져 있으며 그 공급되는 열량중 복사열전달이 차지하는 비중이 30~50% 정도 된다고 알려져 있다.

온돌난방시스템에서 방바닥은 뜨겁고 방바닥과 마주보는 벽, 천정, 문, 창문등은 차갑기 때문에 실내공기온도도 균일하지 않아서 그 밀도차에 의해서 자연대류가 일어나고 그 자연대류는 방바닥으로부터의 열전달을 촉진시켜 실내공기를 덥히게 된다.

그렇다면 복사열전달은 어떤 과정을 통해서 실내공기로 전달되는 것일까? 하는 문제가 생

긴다. 우리들은 일반적으로 방바닥에서 실내공기로 열이 복사에 의해서 직접 전달된다고 알고 있다. 그러나 그것은 잘못된 관념이다. 복사열이 탄산가스나 프레온가스등을 통과할 때는 그 일부가 가스중에 흡수되지만 공기중을 통과할 때는 거의 흡수되지 않고 맞은편 벽면에 도달되어 그 벽면에 흡수되게 된다.

방바닥과 마주하는 여타의 실내 벽면의 표면온도는 방바닥의 온도보다 낮기 때문에 열은 자연히 복사에 의해 방바닥으로부터 여타 벽면으로 전달되어 그 표면온도를 상승시키게 된다. 만약 복사열전달이 없었다고 가정할 것 같으면 방바닥과 마주하는 벽면의 표면온도는 복사열전달이 있을 경우보다 훨씬 낮았을 것이고 그에 따라 실내공기온도와 벽표면온도와의 온도차가 커져서 벽면을 통한 대류열전달이 증가하여 실외로의 열손실이 증가했을 것이다. 따라서 결국 온돌난방시스템에서 복사열전달은 실내에서 실외로의 대류열전달을 감소시켜주는 역할을 하며 실내공기를 덥히는 열전달은 모두 대류열전달에 의해서 이루어진다. 그렇다면 온돌난방시스템에서 복사열전달은 일종의 간접난방의 역할을 한다고 할 수 있다.

실내에서 벽체를 통해 외부로 유출되는 열량은

$$Q_i = \sum h_i A_i (T_{Ra} - T_{wsi}) \quad (1)$$

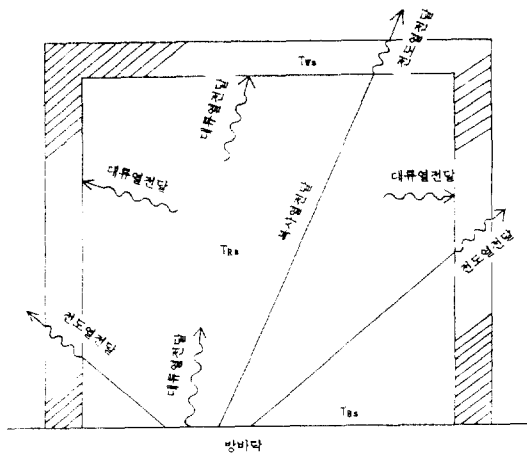


그림 1 온돌난방시스템에서의 열전달 방식

으로 표시할 수 있다. 식 (1)에서 $h_i A_i$ 는 벽 i 의 열전달계수와 면적이며 T_{Ra} 는 실내공기 T_{wa} 는 벽체간의 내표면온도이며 Q_i 은 실외로의 열손실량이다. 온돌난방방식에서 불때 복사 열전달량의 역할은 T_{wa} 를 증가시키므로써 Q_i 을 감축시키는데 있다. 그런데 간접난방방식에는 표면온도가 높아져서 거주자가 벽체로부터 냉감을 덜 느끼게 되어 쾌락도가 증진되지만 벽체의 온도를 상승시키에 따라 벽체의 전도 열손실을 증가시키는 역할도 한다는 것이다. 따라서 복사열전달은 실내거주자의 쾌락도는 증가시키지만 열손실도 증가시키는 장단점을 가지고 있다.

2.2 개량온돌 난방시스템의 특징

방바닥에 온수관을 묻고 온수를 순환시켜 난방하는 개량온돌시스템의 특징은 방바닥 전체를 균일하게 가열하여 난방한다는 것이다. 물론 방바닥 표면온도가 완전히 균일한 것은 아니지만 전체적으로 균일온도를 유지한다. 아랫목이 주 난방원이 있던 재래식 온돌난방시스템에 비하여 개량식 난방시스템은 난방면적이 넓기 때문에 복사열전달이 차지하는 비율이 재래식 온돌 시스템보다 크나 재래식 온돌에서는 아랫목과 윗목의 온도가 달라서 방 전체의 평균온도를 구하면 개량식 온돌 시스템과 비슷하나 방바닥 최고 온도가 높아서 사람의 체온과 비슷해져 거주자의 쾌락도가 좋고 취침시 열이 방바닥으로부터 신체로 전달되어 건강상으로도 좋다. 개량온돌시스템에서 복사열전달이 난방에 기여하는 비율은 어떻게 알아낼 수 있을 것인가? 이 방법을 그림 2, 그림 3, 그림 4를 통해서 설명하기로 한다.

그림 2~그림 4는 온수온돌난방시스템의 성능을 알아보기 위하여 3.6m×3.0m×2.3m의 모형온수온돌난방시스템의 열성능을 시뮬레이션한 결과이다⁽³⁾.

그림 2는 외기온도의 변화에 따른 방바닥으로부터의 복사열전달율(Q_r), 대류열전달율(Q_c), 지하로의 열전달율(Q_g)의 변화를 나타낸다. 외기온도가 감소함에 따라 모든 방향의 열전달율이 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 그런데 복

사열전달율이 대류열전달율이나 지하로의 열전달율보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 그러나 그림 2에 나타난 열전달율은 방바닥을 떠나는 열 전달율이 이 것이 곧 실내공기로 흡수되는 열 전달율은 아니다. 그림 3에서 점선은 실내에서 복사열 전달이 전혀 일어나지 않는다고 가정했을 때 방바닥으로부터 떠나는 열전달율을 나타낸다. 복사열 전달이 존재한다고 가정한 경우보다 총 열전달율은 1/2 정도로 감축되었으나 대류열 전달은 2배 이상 증가했음을 알 수 있다. 복사열 전달이 없다고 가정할 때 대류열 전달이 증가한 것은 복사열 전달이 없음에 따라 방바닥과 마주 보는 벽 표면의 온도가 내려가서 실내공기에서 벽체를 통한 대류열 전달율이 증가했기 때문이다. 따라서 복사열 전달이 난방에 기여하는 부분은 이 대류열 전달율을 감축시키는 것이다. 복사열의 형태로 방바닥을 떠난 열량 중 나머지 열은 벽체를 통한 전도열 전달에 의해서 실외로 유출된다. 이와같은 방법으로 계산한 실지난방에 기여한 복사열 전달의 비율을 그림 4에 도시하였다. 그림 4에 의하면 방바닥에서 실내로의 총투입열량 중 복사열로 방바닥을 떠나는 비율과 실지난방에 기여한 비율은 외기온도가 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

2.3 재래식 전통은돌난방시스템

그림 4에 의하면 실지난방에 기여한 복사열 전달의 비율은 약 40~50% 정도 되는 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 온수를 방바닥에 매몰한 개량은돌시스템의 경우이고 재래식 은돌시스템에서와 같이 방바닥을 불균일하게 가열하여 방바닥 표면온도가 불균일할 경우는 복사열 전달이 난방에 기여한 비율은 개량은돌시스템에서보다 훨씬 낮아서 20~30% 정도밖에 되지 않을 것으로 예측된다. 실제 재래식 은돌난방 시스템에서는 아랫목온도와 뒷목온도차에 의해서 그림 5에 나타난 바와 같이 자연대류가 크게 일어나 실내공기의 순환이 활발히 이루어져 방바닥에서의 열이 실내공기로의 열 전달에 큰 기여를 할 것으로 생각된다.

따라서 재래식 전통 은돌난방시스템은 엄밀히

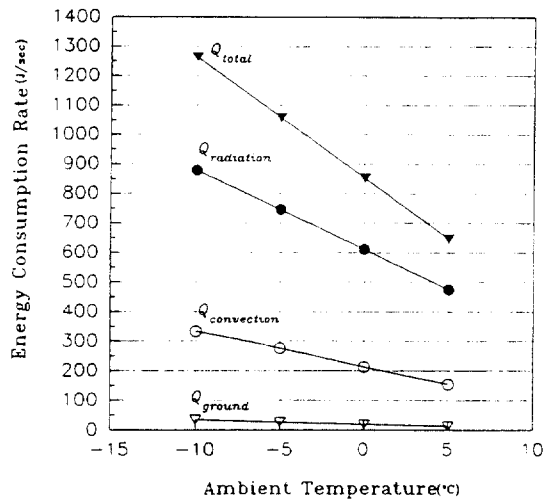


그림 2 외기온도의 변화에 따른 방바닥의 복사열전달율(Q_r) 및 대류 열전달율(Q_c)의 변화

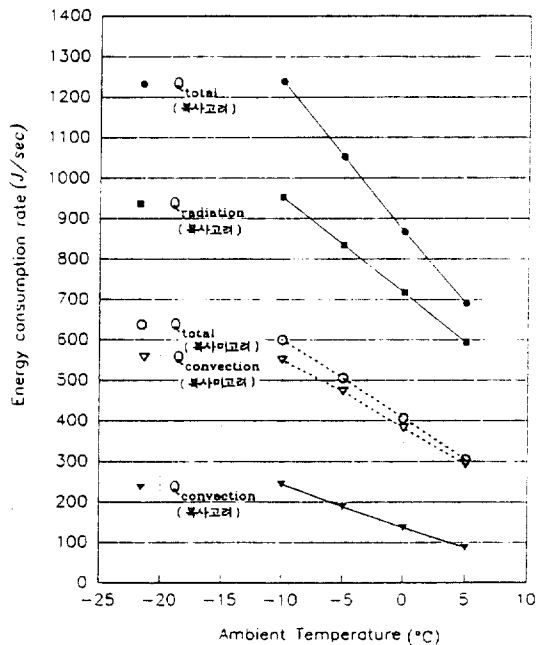


그림 3 실내복사열전달을 고려할 때와 고려하지 않을 때의 총투입열량의 크기변화, 비교

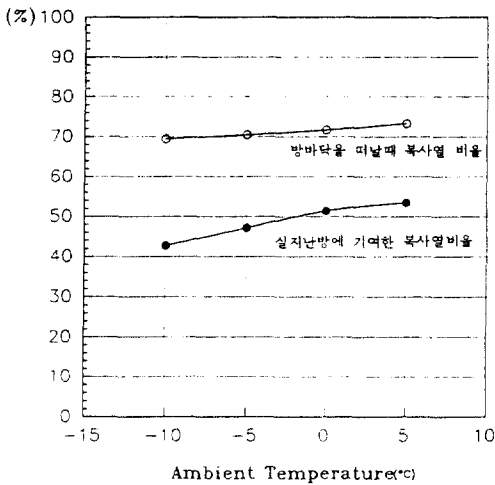


그림 4 방바닥에서 복사열전달율의 실내로의 총투입열량에 대한 비율 및 실지난방에 기여한 복사열전달율의 비교

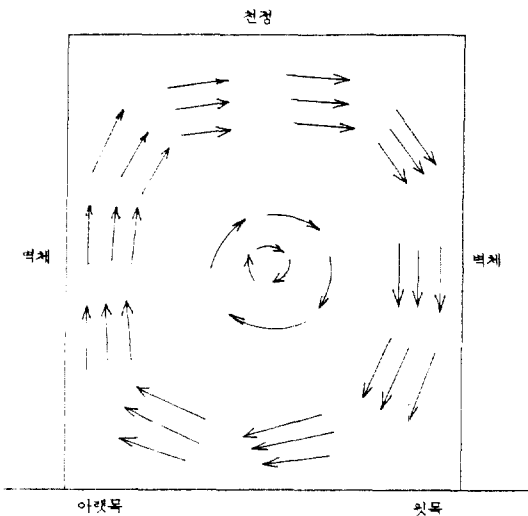


그림 5 재래식 온돌을 갖는 실내에서의 자연 대류

말해서 복사난방시스템이라기 보다는 복사난방과 대류난방이 혼합된 형태의 난방시스템이라고 할 수 있으며 이는 가장 이상적인 난방시스템에 속한다 하겠다. 왜냐하면 간접난방에 속하는 복사난방시스템은 거주자의 쾌락도 면에서는 우수하나 에너지 손실율이 크고 직접난방에 속

하는 대류난방시스템은 에너지절약면에서는 유리하나 거주자의 쾌락도가 떨어지기 때문이며 이 혼합난방은 에너지 절약과 쾌락도의 면을 함께 고려한 난방방식이라고 할 수 있기 때문이다.

2.4 아파트 온돌난방시스템의 특징

아파트의 온돌난방시스템은 온수를 사용하는 개량온돌시스템이다. 아파트온돌난방시스템의 특징은 첫째 상면적에 대한 외기와 직접 접촉하고 있는 벽체 면적의 비가 작다는 것이다. 그에 따라 열손실이 적어져서 방바닥표면의 평균온도가 25℃ 이하로 낮아지게 된다. 방바닥온도가 낮아지면 거주자의 쾌락도가 나빠지고 취침시 건강에 좋지 않은 결과를 주는 문제점이 있다. 한편 아파트 난방시스템에서는 천정위에 열원이 있기 때문에 천정으로부터 열이 투입되어 실내공기의 온도가 대체적으로 균일하여 자연대류가 잘 일어나지 않는 점도 있으나 단독주택에 비해 외기와 직접 접촉하지 않는 간벽이 많은 것도 한 특징이다. 이 간벽은 방바닥으로부터 복사열을 흡수했다가 외기로 누출하지 않고 서서히 실내로 다시 열을 방출하기 때문에 대류열전달을 촉진시키고 에너지절약에 큰 기여를 하게 된다.

2.5 온돌난방시스템 개선을 위한 제언

우리나라는 고래로 온돌난방시스템을 사용하여 난방하고 있으며 전통적으로 아궁이와 구들을 사용하는 재래식 온돌난방시스템을 사용하여 왔으나 요즘은 온수를 사용하는 개량온돌시스템으로 개조하여 사용하고 있다. 이 개량온돌시스템은 에너지 절약면과 거주자의 쾌락도 면에서 문제점을 발생시키고 있으므로 이의 개선을 위한 연구가 요구된다. 따라서 온돌난방시스템 개량을 위해서 저자의 의견 일단을 제안하고자 한다.

온돌난방에서 복사열전달은 간접난방을 유발하는데 간접난방은 거주자의 쾌락도는 증가시키나 에너지손실을 크게 하기 때문에 복사열전달의 비율을 너무 크게하는 것은 좋지 않다고

생각된다. 따라서 온돌난방시스템에서 복사열 전달이 난방에 기여하는 비율을 낮추고 대류열 전달의 비율을 높이는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 재래식온돌에서와 같이 비균일 방바닥 난방방법을 고려해볼 필요가 있다. 방바닥을 비균일하게 난방하면 자연대류가 증가되고 복사열전달 비율이 감소되어 에너지 손실이 감소한다. 다음으로 고려할 것은 온수관과 아랫층 천정 사이의 단열을 강화시키는 것이다. 아파트 난방에서 온수관과 아랫층 천정 사이의 단열은 필요없다고 생각할 수 있으나 열이 천정으로부터 실내로 투입되면 상대적으로 방바닥온도가 감축되어 쾌락도가 좋지 않고 자연대류도 감소하게 된다.

지금까지의 온돌난방시스템에서의 연구는 주로 방바닥에 집중되어 몰타르 두께, 온수관의 직경, 피치등이 난방성능에 미치는 영향을 조사하는 연구를 하여왔다. 그러나 복사열전달이 온돌난방에서 차지하는 비율이 50% 정도에까지 이르는 것이 판명되고 있는 만큼 복사열전달에 관련된 연구의 필요성이 높아지고 있다. 그중에서 가장 흥미롭게 생각되고 있는것은 방바닥과 벽표면 재료의 복사열 방사율(emissivity), 흡수율(absorbity), 반사율(reflectivity)이 열전달 성능에 미치는 영향에 대한 실험적, 이론적 연구를 하는 것이다. 적합한 벽지나 방바닥 종이재료의 선택이 열손실을 감축시키는데 큰 기여를 할 가능성이 있기 때문이다.

3. 결 론

본 해설에서는 온돌난방시스템에서 복사열전달의 역할을 알아보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복사열전달은 실내공기에서 벽체로의 대류열전달율을 감축시키므로써 간접난방의 역할을 한다.
2. 외기온도가 높아질수록 복사열전달이 난방에 기여하는 비율은 높아진다.
3. 재래식 전통난방시스템은 복사열전달과 대류열전달이 혼합된 혼합난방형태를 이룬다.
4. 개량온돌시스템은 방바닥온도가 낮고 복사열전달의 비율이 높아 에너지손실이 크기 때문에 앞으로 개선의 여지가 많다.
5. 앞으로 온돌난방시스템의 열효율을 증가시키기 위해서 비균일 온돌난방시스템 도입등에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

1. 이태원, "복사난방패널의 비정상 열전달 및 성능해석에 관한 연구", 고려대학교 박사학위논문, 1991.
2. L. F. Schutrurn and C. M. Humphreys, "Effects of Non-Uniformity and Furnishings on Panel Heating Performance", ASHVE Transactions, Vol.60, pp.121-134, 1954.
3. 강대호 외 12, "대규모 아파트 단지의 난방시스템 고효율화 연구", 한국에너지기술연구소 보고서 KE-91047G, 1991.