

주거건물의 온돌난방시스템

온돌 난방시스템의 변천과정과 현재 이용되거나 연구되고 있는 각종 온수온돌 시스템에 대하여 기술하고 간단히 평가하였다.

손 장 열

한양대학교 건축공학부 (jysohn@hanyang.ac.kr)

머리말

4계절의 변화가 뚜렷한 우리나라에서는 예로부터 주거 건물의 겨울철 난방수단으로서 온돌이라는 독특한 방식이 고안되어 쾌적한 실내공간을 창출하는데 이용되어 왔다. 온돌은 열을 저장할 수 있을 뿐만 아니라 다른 난방방식과는 달리 열원이 주거공간과 분리되었다는 점, 바닥복사 난방방식을 이용하였기 때문에 실내 상하 온도차도 거의 없고 인체의 피부에 저온복사열선을 방출하여 인체에도 비교적 양호한 감각을 준다는 점에서 우수함이 돋보이며, 한국인 고유의 독특한 생활문화를 형성하는데 큰 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 또한 온돌은 쾌적한 실내 열환경을 조성할 뿐만 아니라 에너지면에서도 유리한 난방방식으로 알려져 있다. 좌식생활에 익숙한 한국인들은 대체적으로 방바닥에 인체를 접촉시켜 따뜻한 바닥에 의한 접촉성 온열감에 친숙해 왔기 때문에 실내온도가 쾌적한 범위에서 유지되더라도 바닥 온도의 고저에 따라 느끼는 온열감은 매우 다르게 될 것이다. 이러한 온돌에 의한 난방방식은 현재에도 한국의 거의 모든 주택에서 널리 이용되고 있으며, 그 방식도 더욱 다양하게 발전되고 있다. 또한 외국에서도 온돌난방과 같은 바닥복사 공간이 지닌 열적 우수성을 인정하고 있으며 그 보급이 확대되고 있는 추세이다.

본 고에서는 온돌난방시스템의 변천과정과 현재

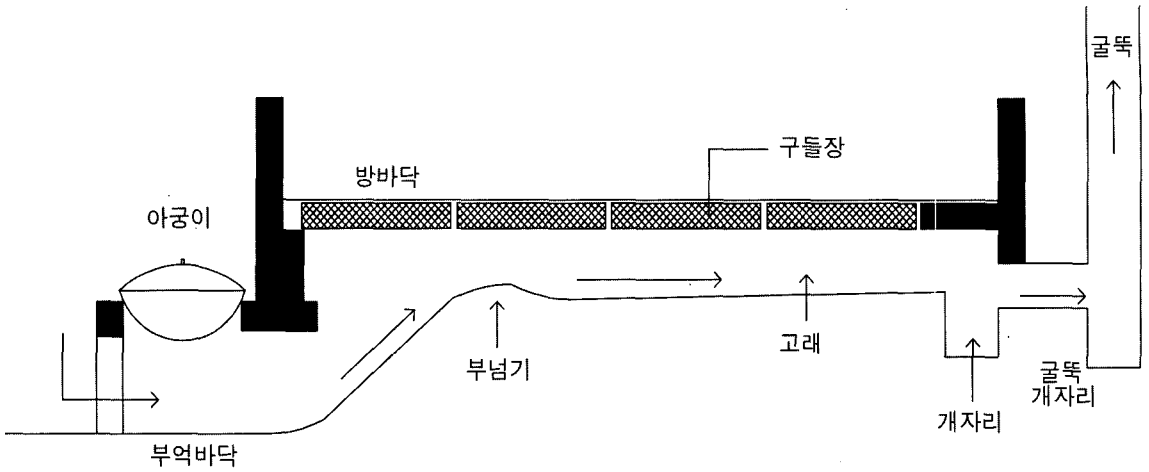
이용되거나 연구되고 있는 각종 온수온돌 시스템에 대하여 기술하고 간단히 평가하였다.

온돌난방시스템의 시대적 변천과정

온돌의 시대적 변천과정은 1950년 이전 시대인 아궁이에서 장작이나 짚 등을 연소시켜 그 연소공기를 바닥 밑으로 보내어 연도와 굴뚝을 통해 외기로 배출시킨 전통(재래식) 온돌방식 시대와 1950년 이후 전통 온돌방식에 연료와 아궁이를 개량한 무연탄 온돌 시대, 그 이후 연탄가스(CO gas)에 의한 피해방지 및 열효율 향상을 위해 개발된 온수보일러를 이용한 파이프 매설방식 시대로 나누어 볼 수 있다.

전통 온돌은 아궁이 부분에서 체난을 하여 더워진 공기가 고래를 통해 지나가게 되며, 이 때 바닥 부분(구들장)이 고온의 공기에서 열을 받아 이 열을 다시 실내로 방열하는 형식이다. 이러한 재래식 온돌은 바닥의 부위에 따라 바닥온도의 고저가 발생하여, 동일 실내에서도 바닥온도가 찬 '윗목'과 바닥온도가 따뜻한 '아랫목'의 구분이 생기며, 이 때 일반적으로 '아랫목'에 대한 선호도가 훨씬 크다. 그림 1은 전통온돌의 구조를 나타내고 있다.

근세에 들어 온돌은 아궁이의 용도에 따라 취사, 난방 겸용의 부뚜막식과 난방 전용의 함실식으로 대별되며, 그 지방의 생활양식에 따라 구조상 약간의 차이가 생긴다. 구조의 큰 변화없이 전승되어 오던



[그림 1] 전통온돌의 구조

전통온돌은 해방과 6.25를 전후한 시기에 임산연료의 고갈로 인하여 도시지역에서부터 무연탄의 사용이 가능하도록 개조되기 시작하였다. 그 후 1952년부터 상공부에서 운반이나 가정사용이 편리하도록 구멍탄을 만들어 사용하게 됨으로써 재래식 구들에 아궁이만 개조하여 사용하게 되었으나, 구멍탄 사용은 연탄가스의 누출사고와 연소효율상의 문제를 야기시켰다. 이와 같은 구조적 결함에도 불구하고 1970년대 말까지 구멍탄용 온돌은 민간과 공공주택에 계속 지어졌으며, 이 시기에 연소를 촉진하고 가스발생을 적게 하기 위하여 연소통이 개량되었고, 구조도 구들개자리를 없애고 관으로 고래에 직접 열기를 주입할 수 있도록 개량되었다.

중래 연소기체가 통과되면서 수열하던 고래의 역할 대신 온수보일러에서 데워진 온수를 이용한 저온수순환방법이 나타남으로써, 수천년을 이어오던 온돌의 구조와 원리가 크게 바뀌게 된다. 1970년대 두 차례의 석유파동으로 기름값이 대폭 인상되자 기름보일러보다 연탄보일러를 선호하게 되었고, 1980년대 중반까지 연탄보일러 시장 점유율이 온수온돌의 대부분을 차지하였다. 1986년 이후 계속된 유가인하와 경제발전으로 1988년에는 기름보일러가 연탄보일러 판매량을 앞서게 되었고, 1987년부터 액화천연가스(LNG)가 가정용 연료로 본격적으로 보급

되어 가스보일러도 한 부분을 차지하게 되었다. 1990년대부터는 심야전력 이용제도가 보급되어 심야시간대에 값싼 심야전력을 이용하여 축열하였다가 주간에 사용하는 축열식 전기보일러도 등장하게 되었다.

현재 일반적으로 사용하고 있는 온수온돌은 온돌내에 매립된 파이프 내로 온수가 지나가면 파이프 표면에서 방출된 열이 바닥표면의 온도를 높여서 실내를 난방하는 저온 복사난방의 일종으로서 바닥 전체가 난방면이 된다. 또한, 근년에 들어 시공성의 향상 및 각종 신소재의 개발 등에 따라 주거건물에서 단열성과 기밀성이 매우 향상되고, 이에 따라 종전의 주거건물에 비하여 실내에서 손실되는 열량 즉, 난방부하가 감소하고 있는 실정이다. 일반적으로 복사난방의 경우 따뜻한 바닥으로부터 실내로 열이 공급되는데, 실의 난방부하가 줄어들어 따라 온돌바닥의 표면온도를 그다지 높지 않게 되더라도 충분히 실의 부하를 감당할 수 있어, 바닥표면온도의 하강으로 인한 실내재질자의 쾌적감에 불만요소로 작용하게 된다. 즉 예로부터 한국인이 느껴온 온돌의 아랫목과 같은 따스함은 느끼지 못하는 실정이 되었다. 특히 요즘 온돌시공에 있어 일반적인 현상인 인력난, 공기단축의 요구 등을 고려할 때 온돌난방 시공방법이 습식공법보다는 건식공법이 점차 많아

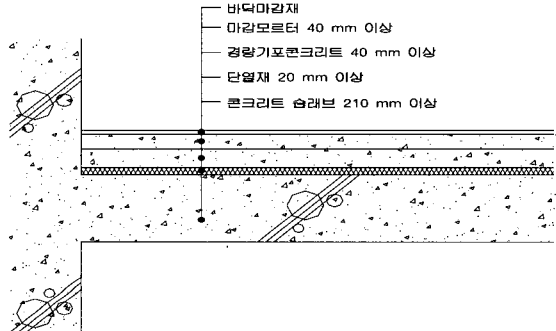


지고 있다. 이러한 건식공법은 온돌바닥 표면온도 및 난방비율 조절이 용이하다. 근년에 들어서는 주거용 건물의 바닥충격음과 실내공기질 문제를 해결하기 위하여 이중바닥구조를 이용한 온돌난방시스템, 환기를 병용한 온돌난방시스템 등 다양한 형태가 개발되고 있다.

온돌난방시스템의 유형

파이프 매립식 온수온돌난방

현재 보편적으로 사용되고 있는 파이프 매립식 온



[그림 2] 파이프 매립식 온수온돌의 단면의 예

수온돌난방시스템은 경량기포콘크리트로 채움층을 만들고, 그 위에 단열재와 배관을 두고, 몰탈로 마감하는 것으로, 양호한 축열 효과를 기대할 수 있고 강도 면에서도 조립식보다 우수하지만, 자체 하중이 크고 양생기간이 길며 하자 보수의 어려움 등이 단점으로 지적되고 있다. 또한 공정이 복잡하고, 동절기 시공이 곤란하다는 점과 점차 심화되고 있는 기능인력의 부족현상 등으로 인한 인건비 상승 등이 문제화되고 있다. 그림 2는 파이프 매립식 온수온돌난방시스템의 단면의 예를 나타낸다.

파이프 매립식 온수온돌은 바탕층, 단열완충층, 축열 및 채움층, 마감층, 배관재로 구성되어 있으며 표 2는 파이프 매립식 온수온돌의 구성층 분류와 기능을 나타낸다.

현재 이용되고 있는 파이프 매립식 온수온돌은 각 건설업체에 따라 그 구조는 모두 다르지만 바닥충격음에 대응하기 위하여 건설교통부에서 제시한 건설교통부고시 제2005-189호 [공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준]에 따라 온돌바닥구조를 유형별로 분류하면 표 1과 같다.

파이프 매립식 온수온돌과 조립식 온수온돌의 예를 나타내면 그림 3과 같다.

<표 1> 파이프 매립식 온수온돌 시스템의 유형 분류(벽식 구조 및 혼합구조의 경우)

구분	표준바닥구조 단면상세
1	콘크리트 슬래브 두께 210 mm 이상 + 단열재 20 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
2	콘크리트 슬래브 두께 210 mm 이상 + 완충재 20 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
3	콘크리트 슬래브 두께 210 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 단열재 20 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
4	콘크리트 슬래브 두께 210 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 완충재 20 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
5	콘크리트 슬래브 두께 210 mm 이상 + 완충재 40 mm 이상 + 마감모르터 50 mm 이상

<표 2> 파이프 매립식 온수온돌의 구성층 분류 및 기능

구분	기능	구 조
마감층	바닥마감	<ul style="list-style-type: none"> • 1:3 비율의 모르터 • 두께 20~50 mm (평균 약 30 mm) • 균열방지를 위해 메탈라스, 와이어 메쉬, 섬유재 등을 사용
축열 및 채움층	축열성능부여	경량기포 콘크리트 38~80 mm
단열완충층	하부로의 열손실 방지	<ul style="list-style-type: none"> • 20 mm 이상의 단열재(폴리스틸렌폼 등) • 30~80 mm의 경량기포 콘크리트
바탕층	수평유지	• 모래, 몰탈 또는 흙

조립식 온수온돌난방

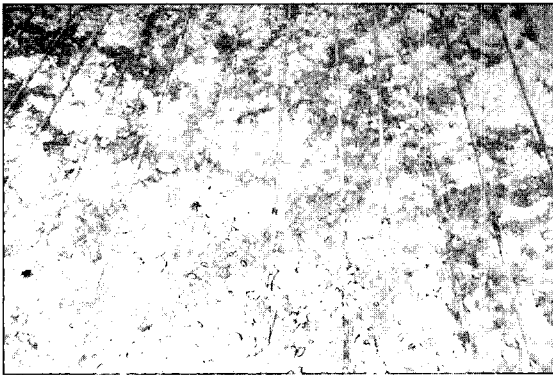
그림 3(b)와 같은 조립식 온수온돌 난방시스템은 매립식 온수온돌의 결점을 보완하여 개발된 공법으로 열원, 시공방법, 용도에 따라 구분하고 있다. 여기서 열원은 전기식과 온수식, 시공방법은 완전건식과 반건식, 용도는 신축용과 개보수용으로 각각 분류되고 있으며, 세부내용은 표 3과 같다.

이중바닥온돌난방

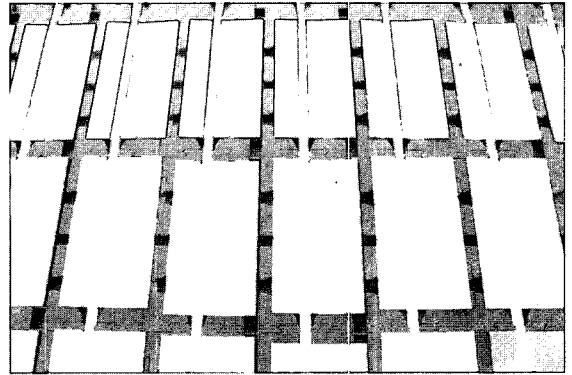
이중바닥은 “주택용 바닥유닛”으로서 일반적으로

철근콘크리트 슬래브 등의 바닥구조체 위에 뜨게 하여 시공된 것으로 높이 조절이 가능한 지지대에 의해 지지되는 패널상태의 바닥구조이다. 바닥하부에 배선·배관기능을 갖게 할 수 있으며, 지지대의 하단에 방진고무 등의 방진재를 부착하여, 방음성을 향상 시킬 수 있다. 이중바닥공간(이중바닥 속 공간의 높이는 배관의 크기와 구배 등에 따른다)에 설비 배관을 설치함으로써 주호내부에서 평면의 가변성을 높여주고 리모델링의 배관교체를 용이하게 하는 등의 장점을 지니기도 한다.

그 밖에 이중바닥구조의 장점은 첫째, 지지대에 의



(a) 파이프 매립식 온수온돌



(b) 조립식 온수온돌

[그림 3] 파이프 매립식 온수온돌과 조립식 온수온돌의 예

<표 3> 건식온돌시스템의 분류

분류방법	항목	내용	비고
열원의 종류	전 기	면상 또는 선상의 전기발열체	축열식/비축열식으로 구분. 온도의 상승이 빠르며, 간헐난방이 필요한 상업용 건축물 및 확장형 발코니 등에 사용하거나 보조난방으로 사용
	온 수	개별난방(가스·경유보일러) 지역난방 등의 온수	일반 온수온돌과 동일함
시공방법	완전건식	패널부터 최종마감재까지 모두 건식으로 시공	시공을 위한 기상조건에 제한이 적다
	반건식	온돌패널의 설치는 건식으로 시공되나 패널의 상부는 습식으로 시공	모르타르 타설로 마감
용 도	신축용	신축건축물에 설치 단열 및 충격음 방지용 완충층이 있음 급수, 급탕 등의 설비배관을 위한 공간 확보	60~75 mm
	개보수용	리모델링 등의 개보수용 완충층이 없거나 상대적으로 얇음 충고 변화를 줄이기 위하여 박형임	두께 25~35 mm



해 바닥높이 조절이 가능하고, 둘째, 적절한 탄력성을 지니고 있어 걷기 편하며, 피로하지 않은 쾌적한 보행감, 셋째, 넘어졌을 때 안전성이 우수하여 어린이나 고령자에게도 친근하며 장애가 없는 점, 넷째, 점검구를 설치할 수 있어 유지관리가 용이하고, 다섯째, 바닥하부의 공기층의 통풍에 의한 곰팡이·진드기 발생이 억제된다는 점이다.

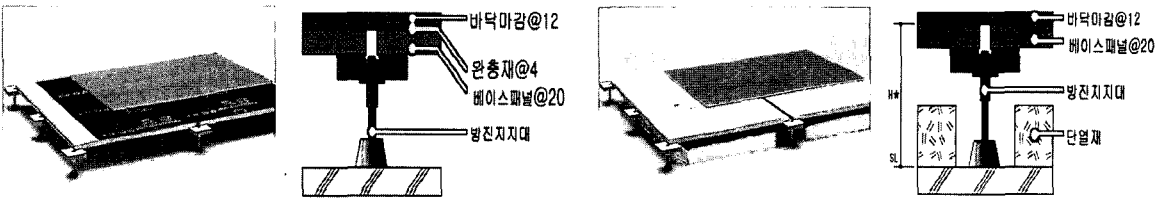
국내에서는 주택의 온돌에 아직 이중바닥구조가 적용되는 예는 거의 없으나 연구 개발이 진행되고 있고, 사무소건물을 대상으로 사무기기의 정보화에 따른 전기배선 등의 활용을 위하여 바닥을 이중으로 한 통칭 '액세스플로어'는 많이 이용되고 있다. 한편 일본에서는 위의 장점과 주택의 바닥충격음 저감을 위하여 바닥난방을 이중 바닥구조로 시공하는 예가 많이 있다.

그림 4는 이중바닥구조를 이용한 온돌의 두가지

유형을 나타낸다.

그림 5는 50℃의 온수를 공급하였을 때, 파이프 매립식 온돌과 이중바닥온돌의 온수 공급 및 환수 온도와 바닥표면의 평균온도를 나타낸다.

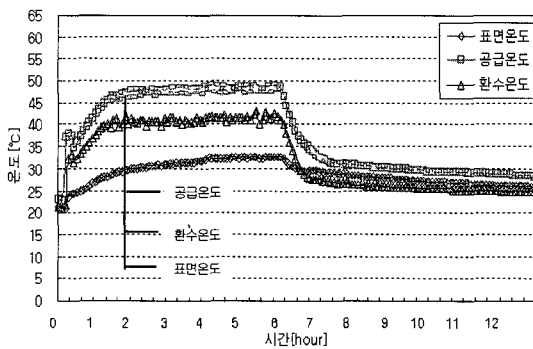
파이프 매립식 온수온돌의 평균바닥표면온도는 온수공급 개시 후 온도상승을 계속하다가 약 5시간 경과 후 일정 온도로 안정되고, 이중바닥온돌에서는 약 1시간 경과 후 안정됨을 알 수 있다. 온수공급 중단 후, 바닥표면온도의 일반적인 쾌적 하한값으로 인정되는 25℃까지의 냉각시간은 파이프 매립식 온수온돌의 경우 약 4시간 이상 소요되는데 비하여, 이중바닥온돌은 약 1시간으로 이중바닥온돌의 냉각시간이 매우 짧다. 현대 도시생활을 하는 독신자 또는 맞벌이 부부 등은 집을 비워두는 시간이 많아 필요시에 신속히 가열되고 신속히 냉각되는 난방방식이 합리적이라 할 수 있는데 위의 결과로 이중바닥온수



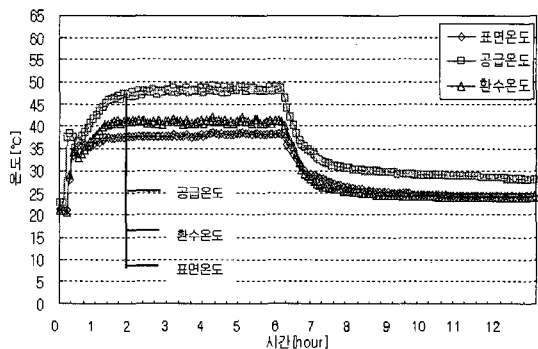
(a) 방진지지대+베이스패널+완충재+바닥마감

(b) 방진지지대+단열재+베이스패널+바닥마감

[그림 4] 이중바닥구조온돌의 유형



(a)파이프 매립식 온돌



(b)이중바닥온돌

[그림 5] 온수 공급 및 환수온도와 평균바닥표면온도

온돌이 기존의 매립식 온수온돌보다 합리적이라는 것을 알 수 있다.

또한 이중바닥온수온돌은 매립식 온수온돌보다 평균바닥온도가 높은 것으로 나타나 이중바닥온수온돌이 에너지 절약이나 쾌적환경유지의 면에서도 유리할 것으로 판단된다.

부분난방

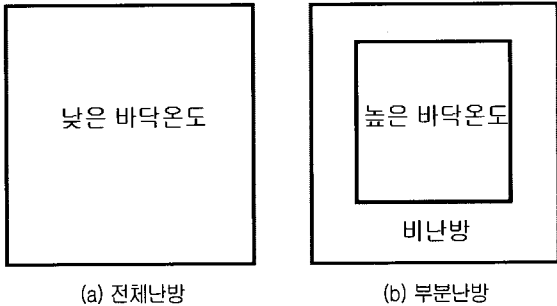
현대 주택에서는 단열성과 기밀성이 매우 향상되어 실내에서의 난방부하가 줄어들게 되며, 따라서 온돌바닥표면 온도는 그다지 높지 않더라도 충분히 실의 난방부하를 감당할 수 있어, 우리나라 사람이 전통적으로 느껴왔던 온돌바닥의 따스함은 느끼지 못하는 실정이 되었다. 그러나, 따뜻한 바닥과의 접촉에 의한 온열감에 익숙한 우리나라 사람들은 비록 실내환경은 쾌적한 범위에 있더라도 바닥 온도가 낮을 경우에는 충분한 만족을 느끼지 못하는 것을 경험적으로 알 수 있다.

이에 대한 대책으로 그림 6과 같이 난방이 되는 바닥의 면적을 줄이고 대신 바닥표면의 온도를 높여 우리의 관습에 알맞은 '따뜻한 온돌바닥'을 만들고자 부분난방(partial heating system)의 개발이 시도되고 있다.

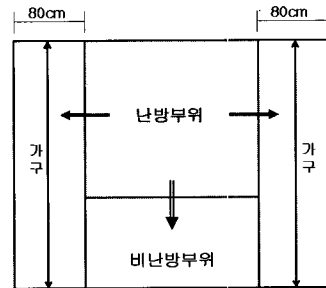
이러한 부분난방방식을 실제 주거용 건물에 적용시킬 경우 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- ① 바닥표면온도의 상승에 의한 실내 열환경의 개선
- ② 난방면적의 축소와 난방용 코일의 감소에 의한 공사비 절감과 시공성 향상
- ③ 부분난방에 의한 난방에너지의 절감

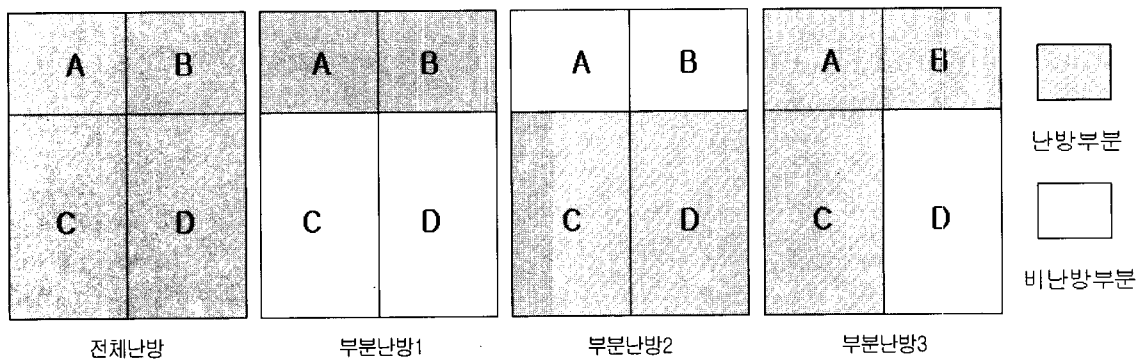
부분난방공간에서는 창문을 통한 난방부하에 대응하기 위하여 난방부위를 창문 가까이의 바닥을 중심으로 하여 배치하는 것이 바람직하리라 생각된다. 즉 난방부하에 대응되는 적정 난방면적이 산출된 후 그림 7과 같이 창문 가까이의 바닥면을 기준으로 하여 난방 바닥면의 면적을 증가시켜야 할 것이다. 또한, 현재의 주택에서는 일반적으로 실의 양쪽 벽



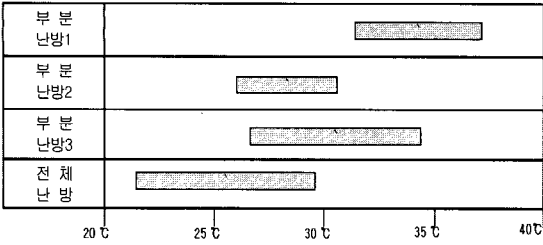
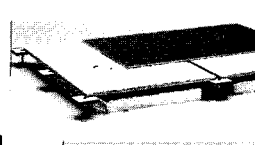
[그림 6] 부분난방의 개념



[그림 7] 부분난방시 난방바닥면적의 적용 예



[그림 8] 부분난방 조건



[그림 9] 바닥온도의 쾌적범위

체 근접하여 가구류를 배치하므로 난방이 불필요하게 된다. 이러한 면을 고려하여 난방부위는 창문에 근접하고 양쪽 벽면으로부터 일정거리를 띄워 실제 재실자가 거주하고 있는 공간인 중앙부위를 난방함이 바람직할 것이다.

부분난방의 효과를 알기위하여 그림 8과 같은 바닥난방공간에서 전체난방과 40%, 60%, 70% 부분난방에 대하여 바닥온도를 변화시키면서 인체의 쾌적범위를 조사하였다.

그림 9는 각각의 조건에 대한 쾌적범위를 나타낸 것으로 부분난방1(40%)에서는 난방부위의 평균바닥표면온도 34°C에서 쾌적을 느낄 수 있으며 부분난방2(60%)에서는 28°C, 부분난방3(70%)에서는 30.5°C에서 쾌적을 느낄 수 있었다. 이에 비하여 전체난방은 26°C의 낮은 온도에서 쾌적을 느낄 수 있었다. 부분난방의 경우가 전체난방의 경우보다 상당히 높은 온도에서 쾌적을 얻을 수 있다는 것은 전통적으로 우리나라 사람이 선호하는 '따뜻한 바닥온도'를 부분난방에서 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

맺음말

주택의 온돌난방시스템의 변천 과정과 유형에 대하여 살펴보고, 파이프 매립식 온수온돌, 조립식 온수온돌난방, 이중바닥온돌난방, 부분난방 등에 대하여 기술하였다.

주택온돌 난방시스템은 아궁이를 이용한 전통온돌

에서 시작하여 시대에 따라 많이 변천되어 왔으며 현재에는 파이프 매립식 온수온돌이 보편적으로 이용되고 있으며, 파이프 매립식 온수온돌의 단점을 보완하여 조립식 온수온돌난방, 이중바닥 온돌난방, 부분난방 등이 개발·보급되고 있다.

앞으로 주거환경의 질적 향상이라는 관점에서 온돌연구에 보다 체계적이고 과학적인 접근이 필요하고 한국인의 생활환경 및 기술수준을 고려한 온돌난방시스템의 개발과 보급이 요구된다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 장경호, 1996, 우리 나라 온돌의 발달, 공기조화 냉동공학회 25주년기념 학술대회 논문집, pp. 49~70
2. 박병일, 석호태, 김광우, 1995, 온돌의 시대적 변천과 현황, 공기조화 냉동공학, 제24권 제 16호, pp. 613~627
3. 백용규, 손장열, 송장복, 1995, 부분온돌난방공간의 열환경 특성 및 평가에 관한 연구(I), 대한건축학회논문집, 제11권 제4호, pp. 161~167
4. 여한승, 김난행, 손장열, 2004, 이중바닥온돌시스템 개발을 위하여 열적 특성의 비교에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집, 제20권 제10호, pp. 271~278
5. 박성홍, 김난행, 손장열, 2001, 충효당내 전통온돌 난방공간의 실내 열환경 특성, 대한건축학회 논문집, 제21권 제1호, pp. 561~564
6. 김태원, 2003, 조립식과 습식온돌의 구조 및 바닥감재별 방열 특성 비교 연구, 대한건축학회 논문집, 제 23권 제2호, pp. 845~848
7. 박성홍, 김종엽, 박병운, 손장열, 2002, 유리바닥을 이용한 경량 건식 온돌시스템의 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제21권 제2호. ㉓