



건축물 에너지절약 설계기준 개정에 따른 온돌시스템 기술개발 방향

강재식 / 한국건설기술연구원
건축연구부 건축환경그룹 선임연구원
이승언 / 한국건설기술연구원
건축연구부 건축환경그룹 수석연구원

요지

건축물의 에너지 이용을 효율화하기 위하여 단열 기준 등을 기존보다 20% 이상 강화하는 것을 골자로 하는 건축물의 에너지절약 설계기준(건설교통부 고시 제2001-118호)이 지난해 6월 1일부터 시행되고 있다. 개정 기준의 가장 큰 특징은 단열기준의 적용 부위를 외기에 직접 면한 부위와 간접 면한 부위로 구분하고, 지역을 중부와 남부, 제주도로 구분·설정하여 부하조건과 에너지 소비특성에 따라 건축물의 단열기준을 세분화한 것이다. 특히, 종래에는 최하층 바닥에만 적용하였던 거실 바닥(온돌)의 단열기준을 중간층까지 확대·적용하였고, 여기에 온돌시스템의 열적 특성을 고려하여 단열기준의 적용 부위를 보다 구체적으로 설정하고 있다.

따라서, 종래의 온돌시스템에서 채움층으로 일반적으로 사용하고 있는 현장 타설식 경량기포콘크리

트의 열전도율이 0.13W/mK 내외임을 고려한다면 현행 습식온돌시스템의 열관류율은 1.0W/m²K 이상이 될 것으로 예상됨으로서 앞으로 온돌시스템의 배관층 하부에 1.0m²K/W 이상의 열전도저항을 지닌 단열층이 구성되어야만 개정기준에서 정하는 열관류율 0.81W/m²K(기준층 기준)의 성능과 배관하부의 열전도저항값 적용비율을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

우리 나라에서는 쾌적한 실내 열환경을 확보하기 위한 수단으로 대부분의 주거용 건물에서 바닥복사 난방시스템인 온돌시스템을 사용하고 있다. 그러나 우리 고유의 난방방식인 온돌시스템은 오랜 기간 우리의 주생활과 밀접한 관계를 맺으며 정착되어



왔음에도 설계, 시공, 관리의 단계에서 기술적인 근거에 의해 발전하지 못하고 경험에 의한 판단과 단순 축열위주의 공법에만 의존함으로써 그 보급규모에 비하여 기술수준은 낙후되어 있는 실정이다. 또한 바닥난방시스템과 관련한 각종 설비시스템도 우리의 난방여건에 적합하도록 충분한 검토를 하지 않고 당면한 기능만을 만족시키고 있는 실정이다.

한편, 건물부문(가정 및 상업부문)의 에너지 총 소비량은 2002년도에 60.9백만TOE에 이를 전망이며, 이는 국가 전체 에너지의 25% 이상을 차지하고 있다. 이 가운데 가정용 에너지는 약 18%로써 이를 다시 사용 용도별로 구분하면 난방용 에너지소비량은 전체 에너지의 60% 이상을 점하고 있다. 그러나 이와 같이 막대한 에너지를 소비하는 온돌시스템에 대한 단열기준은 1979년도에 건축물의 단열기준에서 최하층 바닥의 열관류율이 제정된 이래 20여년간 큰 변화 없이 그대로 유지됨으로서 새로운 에너지 절약 기술의 수용력 감소와 함께 현행 단열기준의 구체성 부족으로 인한 에너지 손실 요인의 잠재요소는 물론, 공동주택의 경우 층간 열성능 차이에 의한 주민들간의 갈등 요인까지 유발시키고 있다.

이에 본 고에서는 현행 공동주택 온돌시스템의 구성체계에 대한 현황 및 문제점을 살펴보고, 지난해 개정된 에너지절약 설계기준에 따른 온돌시스템의 기술개발 방향과 개선 방안을 검토한다.

2. 온돌시스템의 현황 및 문제점

현행 온돌시스템은 80년대 이후에 정착된 현장 타설식 경량기포콘크리트 채움층과 배관구성 및 시멘트 모르타르 마감하는 습식공법으로 정형화되어 있으며, 수요자의 요구성능에 따른 성능향상과 재료 개발이 미흡한 상태에서 현재까지 그대로 적용

됨으로써 온돌시스템이 지닌 여러 장점에도 불구하고 많은 문제점을 발생시키고 있다. 특히, 현행 습식공법은 바닥 슬라브 구조체와 일체화된 습식공법을 취함으로써 배관으로부터 바닥 구조체로의 전열 손실을 충분히 방지하기 어려운 구조이며, 또한 현장 품질관리의 어려움, 공정의 복잡성, 양생시 장기간의 공기소요, 과도한 고정 하중 등 재료와 공법이 지닌 근본적인 문제점을 개선하지 못하고 있다.

한편, 1980년대 이후, 온돌은 조립식·건식화 공법으로의 변화를 맞이한다. 그것은 건축을 비롯한 모든 산업분야에 적용된 공업화·산업화가 그 직접적인 계기이다. 특히, 건축생산에서 시공성과 경제성 측면이 부각되면서 자재의 부품화·조립화, 공장 생산 및 공업화 생산이 적극적으로 개발·도입되었고, 이에 대한 적용과 보급이 확산되면서 온돌시스템의 현대화는 필수적인 과제가 되었다. 여기에 습식공법으로 대표되는 종래의 온돌공법이 시공기간에 제한이 따르고, 공정이 복잡하여 품질관리에 어려움이 따를 뿐 만 아니라 건축수요의 급증과 천연자재의 고갈, 기능인력의 감소 등과 같은 건설환경의 변화가 주된 요인으로 작용하였다.

그러나 이들 조립식·건식 온돌시스템들은 대체로 시공성 측면에서 개선 효과를 얻었으나 대부분 경량·비축열형 바닥패널이어서 당시 간헐난방에 의한 축열식 난방운전을 시행하는 국내여건에 적용되기에는 한계가 있었다. 이후, 축열매체를 이용한 조립식 공법이 등장하였으나 습식공법과의 가격경쟁과 패널조립식의 수평시공, 패널간의 단차해소 등 실질적인 시공상의 장애요인에 의하여 본격적으로 보급되지는 않았다. 한편, 개발 초기의 조립식·건식 온돌시스템은 바닥 마감재로서 시멘트 모르타르층을 대체하여 경량화와 함께 일정 강도를 지니고 실내로의 방열량을 증가시키기 위해 아연도(갈바륨) 강판류의 전열판을 대부분 채택하였다. 따라서, 전

열판의 높은 전열성능에 기인하여 조립식·건식 온돌 시스템의 방열 성능은 향상되는 것으로 나타나지만, 국부적으로는 바닥표면온도가 인체의 쾌적범위를 벗어나 오히려 열적으로 불쾌감을 발생시키고, 또한 축열 성능이 습식 온돌공법에 비하여 현저히 낮기 때문에 세대에서 열량 공급제어가 곤란한 중양집중식 공동주택에서는 적용이 어렵다는 문제점이 지적되었다. 여기에 일부 제품의 경우, 장기간 하중에 따른 금속 마감판의 처짐 현상이 발생하였고, 특히 거주자의 촉감에 있어서 금속판의 시공 전설도가 낮은 경우에는 매우 민감한 하자로서 문제가 제기되는 단점을 보이기도 했다.

이에 따라, 최근에 들어서는 조립식·건식 온돌시스템의 마감상판으로써 일정 강도와 열 확산의 기능을 지니는 보드류(세라믹보드, 네오나이트 등)의 제품이 출현하고 있으며, 이 경우 앞에서 기술한 전열 강판 마감 시스템에서의 문제점을 상당부분 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다. 한편, 보드류의 경우 바닥시스템으로서의 요구 강도와 전열효율의 향상이라는 두 가지 성능을 동시에 만족시키는 것이 바람직하나 아직까지 이 부분에 대한 연구나 개발은 미흡한 실정이다.

따라서, 현행 조립식·건식 온

표 1. 현행 온돌시스템의 문제점 및 개선사항

구분	에너지절약 설계기준 개정 이전의 온돌시스템	
	대한주택공사 공법 일례	민간 건설사 공법 일례
단면 구조 일례		
문제점 및 개선 사항	<ol style="list-style-type: none"> 경량기포콘크리트층 <ul style="list-style-type: none"> 단열성능 저하 현장 품질관리의 어려움 충간 충격에 성능 저하 몰탈 마감층 <ul style="list-style-type: none"> 현장 품질관리의 어려움 복잡한 공정(3회 미장 공정) 양생기간 소요(3일 이상, 균열방지용 보양공정 소요) 기타 <ul style="list-style-type: none"> 하중문제 공사기간의 제한성(동계공사), 전체 건설공정의 효율 저하 바닥표면의 불균등 온도분포, 과도한 축열기능-제어효율저하 	
비고	* 단열기준 강화 및 차움성능 향상 요구에 대한 대응성능의 한계성 도출, 공업화 건축의 제한 요소	
	부분 건식 공법 일례	조립식·건식공법 일례
단면 구조 일례		
문제점 및 개선 사항	<ol style="list-style-type: none"> 몰탈 마감층 <ul style="list-style-type: none"> 현장 품질관리의 어려움 균열에 따른 하자발생 복잡한 공정 양생기간 소요(3일 이상) 패널 또는 보드 <ul style="list-style-type: none"> 단열/차움성능 보강 필요 기타 <ul style="list-style-type: none"> 공사기간의 제한성(동계) 바닥표면의 불균등 분포 개보수 및 수선의 어려움 	<ol style="list-style-type: none"> 반사형 단열층(은박에티렌) <ul style="list-style-type: none"> 단열성능 저하 공정 복잡 구조물(공기층 포함) <ul style="list-style-type: none"> 차움성능의 저하 배관으로의 전열성 문제 상판(세라믹보드류) <ul style="list-style-type: none"> 패널간 접합부 하자 전열성 저하 기타 <ul style="list-style-type: none"> 축열성능의 현저한 저하 고가의 공사비 표준화 미적용 현장가공시 부상을 발생 바닥표면의 불균등 분포 기타 디테일, 종합기술력 미흡
비고	* 습식공법의 문제점과 한계성 포함	* 성능과 종합적인 기술력 미흡으로 비주거용 건물을 대상으로 제한적인 시장을 점유하고 있음



돌시시스템의 경우, 대부분이 경량화와 시공성 개선에 초점을 두고 개발됨으로서, 바닥난방시스템으로써 요구되는 종합적인 성능, 즉 열(에너지)성능, 차음성능, 구조성능, 내구성능 등이 미흡하며, 특히 제품 가격의 상승에 대비하여 성능이 현저히 미흡함으로써 사실상 공동주택에서 활용되고 있지 못하고 있으며, 현행 온돌난방에 의한 바닥복사 난방시스템의 장점을 살리면서 기존의 공법과 재료를 혁신적으로 대체하는 재료 및 공법에 대한 기술적인 대안 개발이 시급하다.

3. 건축물 에너지절약 설계기준의 개정 취지

○ 개정 근거와 배경

- 기후변화협약 관련한 건축물 부문의 에너지 절약을 위한 방안 강구 필요

- 현행 기준의 노후화로 인한 건축물 에너지관련 산업의 기술 수용력 낙후
- 건축물 에너지절약 기준의 합리적 강화를 통한 에너지사용의 절감 필요성 증대
- 국가 전 에너지의 25%를 소비하는 건축물 부문 에너지 절약의 중요성 인식

○ 단열기준의 개정 필요성

- 현행 단열기준은 개정 후 11년이 경과하여 새로운 에너지 절약 기술의 수용력 감소
- 현행 단열기준의 구체성 부족으로 일부 부위의 에너지 손실 요인 잠재
- 현행 기준이 지나치게 오랜 기간 방치됨으로서 관련 기술 개발을 저해
- 공동주택의 경우 층간 열성능의 차이에 의한 주민들간의 갈등 요인 잠재

표 2 개정 연도별 부위별 단열기준의 변화

개정연도	지역구분	부위별 단열기준 (열관류율 : kcal/m ² hc)					비고	
		외벽	최하층바닥	최상층민자 또는 지붕	공동주택 축벽	외기에 면하는창		
1979.9	-	1.8(0.9)	1.5(0.9)	0.9(0.9)	-	2.2 또는 이중창	()는 주거용에 해당됨.	
1980.12	-	0.5	1.0	0.5	-	3.0 또는 이중창		
1984.12	제주도 이외	0.5또는 50mm 단열재	0.5 또는 50mm 단열재	0.5또는 50mm 단열재	0.4 또는 70mm 단열재	3.0 또는 이중창		
	제주도	1.0또는 30mm 단열재	1.0또는 30mm 단열재	1.0 또는 30mm 단열재	0.8 또는 40mm 단열재	3.0 또는 이중창		
1987.7	중부	0.5또는 50mm 단열재	0.5 또는 50mm 단열재	0.35 또는 80mm 단열재	0.4또는 70mm 단열재	2.9 또는 이중창		
	남부	0.65 또는 40mm 단열재	0.65 또는 40mm 단열재	0.45또는 60mm 단열재	0.6또는 50mm 단열재	3.1 또는 이중창		
	제주도	1.0 또는 30mm 단열재	1.0 또는 30mm 단열재	0.65 또는 40mm 단열재	0.7 또는 40mm 단열재	5.0 또는 이중창		
1988.12	내용은 개정전과 동일, 단열재 분류 일부 조정							
1992.6	내용은 개정전과 동일 건축물의 설계기준 등에 관한 규칙으로 개편							

표 3. 개칭 이전의 지역별 건축물 부위의 열관류율 (단위:kcal/m²·h·°C)

지역	중 부 ¹⁾	남 부 ²⁾	제 주 도
건축물의 부위			
거실의 외벽, 최하층에 있는 거실의 바닥(외기에 면하는 바닥을 포함한다)	0.50 이하	0.65 이하	1.0 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	0.35 이하	0.45 이하	0.65 이하
공동주택의 축벽	0.40 이하	0.60 이하	0.7 이하
거실의 외기와 접하는 창 (2중창 또는 복층유리로 시공하는 경우 제외)	2.90 이하	3.10 이하	5.0 이하

- 1) 서울특별시, 경기도, 인천광역시, 충청북도, 강원도
 2) 충청남도, 대전광역시, 전라북도, 광주광역시, 전라남도, 경상북도, 경상남도, 대구광역시, 부산광역시

○ 개칭의 기대 효과

- 세계적인 건축물 에너지절약 기준 강화추세에 부응
- 기준의 합리적 강화로 인한 관련 산업계의 기술

력 강화

- 현행 기준 대비, 건축물 용도 별로 7%~26%의 열손실 절감효과

○ 주요 선진국의 건축물 에너지 절약 정책 동향

현재, 주요 선진 38개 국가는 '기후변화협약 당사자 총회(COP)'에서 자국의 지구 온실가스 배출에 대한 감축 목표치를 설정·제시하고 있다. 이는 1차 의무 이행기간으로 설정된 2008년부터 2012년까지 전체 배출 총량을 1990년을 기준으로 하여 최소

5.2%(국가별 차등 인정, -8%~+10%) 감축하는 것을 골자로 한다.

기후변화협약에 대한 구체적인 시행 계획의 필요성을 인식한 선진국들은 이미 90년대 초반부터 전

표 4. 개칭 이전의 단열재 두께 기준표

건축물의 부위	단열재 종류	암면(광석면), 유리면, 난연성발포폴리스티렌폼, 요소발포 보온재(단위:mm)	기타재료 : 열전도저항이 다음 값에 해당하는 재질의 두께일 것(단위: m ² h°C/kcal)
	지역		
거실의 외벽, 최하층 거실의 바닥(외기에 접하는 바닥 포함)	중부	50 이상	1.60 이상
	남부	40 이상	1.25 이상
	제주도	30 이상	1.00 이상
최하층 거실의 반자 또는 지붕	중부	80 이상	2.50 이상
	남부	60 이상	1.90 이상
	제주도	40 이상	1.25 이상
공동주택의 축벽	중부	70 이상	2.20 이상
	남부	50 이상	1.60 이상
	제주도	40 이상	1.25 이상

비고 : 단열재로서 거실의 바닥에 시공하는 것은 내열성(온수온도로 난방하는 경우에 한한다.), 내구성과 상부의 적재하중 및 고정하중에 버틸 수 있는 강도를 가진 것이어야 한다.

* 중간층 바닥은 지방자치단체의 조례 등 기준에 의하여 개별난방을 시행하는 공동주택의 열관류율을 1.0 kcal/m²h°C 이상 또는 단열재 20mm 이상 설치되었음.



산업분야에 걸쳐 온실가스 저감을 위한 대책을 수립하고 있으며, 국가별로 전체 에너지 소비량의 1/3~1/4를 차지하고 있는 건물 부문에 있어서의 에너지 절약이 주요 대안으로 주목받고 있다. 이에 선진 국가에서는 건축물의 에너지 절약을 위한 관련 기준의 정비와 개선 등 각종 정책을 수립하고, 이를 시행하고 있다.

• 미국

미국은 1970년부터 1992년까지 Building codes-Model Energy Code 라는 제도를 이미 시행하였다. 이 제도는 기존 건축물에 비하여 약 40%의 에너지 절감을 목표로 하였다. 또한, NAECA에서 주관한 Appliance Standards 제도는 1997년도에 개정되었는데, 이는 건물부문에 있어 공기조화기에 대하여 30% 이상의 에너지 절감을 목표로 2000년 8월까지 연구가 진행되고 있다. 이외에도 주거용 및 상업용 건물에서 고효율 기술의 상용화를 장려하기 위한 Voluntary Programmes, 조명 장치의 고효율화를 통해 50% 정도 절감 효과를 목표로 하는 Green Light Programme (1991), 건물주와 건축주의 상호 관계로부터 에너지 절약 건물에 대한 초기 투자 효과를 증대시키기 위한 Energy Star Buildings Programme(1995) 등의 정책이 시행되고 있다.

가장 최근에 수립된 정책(1998)으로는 2010년까지 발전된 기술의 보급 촉진과 품질 및 에너지 효율의 향상을 목표로 하는 PATH(Partnership for Advanced Technology in Housing) 정책이 있다. PATH에서는 가정용 에너지의 절감뿐만 아니라 주택 건설비용의 감소, 주택 건설에 따른 환경 파괴 감소 및 자연재해의 위험을 감소부분까지 포함하고 있다. 한편, 1997년에 미국의 에너지성(DOE)은 신축 주거용 건물의 에너지 절약 기준을 개정하였으며, 이는 1992년도 Model Energy Code에 비하여 단독주

택은 11%, 공동주택은 26% 이상의 에너지 성능을 강화한 기준이다.

• 영국

1991년도에 주거환경 개선을 목표로 주택 단열성능 향상과 난방운전 제어 효율 향상 및 고효율 조명기구 사용을 주 내용으로 하는 HEES(Home Energy Efficiency Scheme) 제도를 시행하고 있다. 1992년도에는 에너지 효율적인 제품 및 장치의 채택으로 에너지 효율의 증대를 통하여 총 에너지 소비량을 감소시키는 EST(Energy Saving Trust) 제도를 시행하였다. 1995년도에는 가정 에너지 등급 설정을 통하여 에너지 효율 향상을 도모하는 SAP(standard Assessment Procedure)를 시행하였으며, 여기에는 Green Loans와 일정 성능 이상에 대한 Initiative 제도가 포함되어 있다. 또한, 1995년에 개정된 건축물 에너지 절약 기준 (building Regulation, Approved document L Conservation of Fuel and Power)은 기존 기준에 비하여 20~25% 에너지 성능을 강화한 것으로 현재 시행되고 있다.

• 독일

1990년도에 건축물의 단열기준 강화 및 난방기기의 효율 향상을 통하여 건축물의 에너지 성능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였으며, 1995년에 에너지 성능이 강화된 기준이 제정되었다. 이 기준은 기존 기준에 비하여 약 25%~30% 정도 성능이 강화된 것으로서, 종전 기준의 연간 건물 부하가 70~150kWh/m²·year인 것에 비하여 개정된 기준은 54~100kWh/m²·year 정도로 낮추어 설정하고 있다. 또한, 1995년부터는 신축 건물의 에너지 성능 확인 제도(Energy Certificate for building)를 시행하고 있다. 1996년도에는 사용중인 건물에



에너지 소비량을 제측할 수 있는 장치의 설치 의무로 약 15%의 에너지 절감효과를 거둔 Heating Consumption Metering 제도를 시행하였다. 또한, CO₂ 감소장치의 채택시 자금지원과 대체 에너지 지원에 대한 지원을 내용으로 하는 Loans for Modernisation of building in the Old Lander 제도를 시행하고 있다. 이외에도 건물의 현대화, 개선에 대한 저금리 자금 지원 정책과 기존 건물의 개수로 에너지 효율을 향상시킨 경우에 대한 세금 감면 정책 등을 시행하고 있다.

• 캐나다

1997년에 Model National Energy Code of Canada for Building 1997 제도가 4년간의 연구로 제정되었다. 이 기준은 종전의 기준과는 다른 체계를 구축하여 정부의 기본 모델 에너지 코드로 제시되었으며, 현재 각 지역 자치 단체에서 의무기준으로 채택하는 과정이 진행 중에 있다. 이외에도 1995년도에 설정된 Efficiency Standards에서는 에너지소비 장치의 효율 기준을 설정하였으며, Home Energy Retrofit Initiative 정책을 통해 주택의 에너지 효율을 유도하였다.

최근에는 1998년도부터 Enter Guide for Houses 제도를 통해 주택과 장치 구매시 에너지 효율을 고려하도록 하였고, Energy Innovators Plus 제도로써 에너지 효율을 증대시키는 투자의 유도를 도모하였다. 또한, 상업 및 공공건물 설계시 에너지 효율적인 설계가 되도록 도모하기 위하여 National Energy Code 모델보다 일정이상 효과가 예상되는 경우, 설계 비용을 지원하는 Commercial building Incentive Programme 정책을 시행하고 있다.

• 일본의 에너지 절약 정책

일본은 지구 온난화 문제가 국제적으로 부각된

1990년 초반부터 건축물 에너지 절약 기준을 강화하기 시작하여, 1992년도에 기존 기준을 강화한 신에너지 기준을 제정한 바 있다. 그러나 이 기준은 1999년도 3월에 신에너지 기준 대비 30% 정도의 성능 향상을 목표로 하는 차세대 에너지 절약 기준으로 개정되어 현재 시행 중에 있다. 차세대 에너지 절약 기준은 단열성능의 강화, 기밀성능 기준의 강화 및 일사 침입 방지 기준의 강화를 주요 골격으로 하고 있으며, 여기에는 건축물 에너지 절약 정책의 지속적인 강화 및 확충을 명시하고 있다.

○ 주요 선진국가 정책의 추진 전략

- 단순 에너지 절약에서 환경인자를 고려한 에너지 절약으로의 전환
- 에너지 절약 기준의 체계적인 강화
- 건축물 에너지 성능 관련 제도의 지속적인 개발과 시행
- 건축물 에너지 절약 추진을 위한 조직의 확대
- 에너지 절약 기술의 연구·개발

기후변화협약의 발효에 따라 온실가스 저감을 위한 구체적이고 체계적인 대책 마련은 이제 모든 국가에서 당면 과제로 부각되고 있으며, 건축물의 에너지 절약은 지구 환경 보전의 관점에서 검토하여야 하는 중요한 문제로 대두되고 있다.

우리 나라는 90년대 이후 건물의 에너지 절약을 위한 각종 정책을 수립하여 그 동안 많은 실효를 거두었으나, 현재 선진 국가에서 새롭게 시행하고 있는 에너지 절약 정책 및 그 실효성을 고려하고, 또한 OECD 가입 후, 2008년부터 온실가스 저감에 대한 자발적 의무 부담을 요청 받고 있음을 고려할 때, 건축물의 에너지 절약을 보다 효율적으로 추진하기 위한 중장기 대책의 수립이 시급한 실정이다.



표 5. 건축물의 부위별 단열기준의 각국 비교

(열관류율 : W/m²K)

부위	국명	한국			미국 ¹⁾		영국	일본 (신에너지기준) ²⁾						
		지역	중부	남부	제주	ASHRAE		MEC	I	II	III	IV	V	VI
거실의 반자 또는 지붕		0.41	0.52	0.76		0.15 ⁵⁾	0.16	0.20	0.23	0.51	0.66	0.66	0.66	0.66
						0.19 ⁹⁾			-	0.42	0.59	0.59	0.59	0.59
									-	0.33	0.48	0.48	0.48	0.48
거실의 외벽						0.36(0.26)			0.42	0.77	0.77	0.87	1.12	-
		0.58	0.76	1.16		0.45 ⁹⁾	0.39	0.45	-	0.66	0.66	0.78	1.02	-
						0.45(0.32) ⁹⁾			-	0.50	0.50	0.63	0.88	-
바닥	외기에 접하는 경우	0.58	0.76	1.16		0.19	0.16	0.35	0.26	0.45	0.45	0.70	0.86	-
	기타	-	-	-					-	0.40	0.40	0.62	0.79	-
기초 주변 외부	외기에 접하는 경우								-	0.30	0.30	0.50	0.67	-
	기타					0.27	0.28	0.6	0.36	0.64	0.64	0.99	1.23	-
									-	0.56	0.56	0.87	1.13	-
개구부									-	0.43	0.43	0.72	0.97	-
						0.36 ⁶⁾			0.43	0.78	0.78	-	-	-
						0.32 ⁷⁾			-	0.66	0.66	-	-	-
반노출외벽 (예:계단실벽)									-	0.49	0.49	-	-	-
									0.62	-	-	-	-	-
									-	-	-	-	-	-
간막이벽									-	0.70	0.70	-	-	-
		3.37	3.61	5.82		1.08 ⁸⁾			2.3	3.5	4.7	6.5	6.5	6.5
						2.04 ⁸⁾		3.00	-	3.5	4.7	6.5	6.5	6.5
세대간천정 및 바닥									-	3.5	4.7	6.5	6.5	6.5
						0.54 ¹⁰⁾			-	-	-	-	-	-
						0.98 ¹¹⁾			-	-	-	-	-	-
지하층천정 및 바닥									-	-	-	-	-	-
									0.60	-	-	-	-	-
									-	-	-	-	-	-

주) 1) 미국의 경우, ASHRAE 기준으로 한국의 지역구분에 따른 난방도일과 유사한 지역의 단독주택에 적용되는 값을 비교한 것임. ()의 수치는 덕트가 공조공간밖에 설치된 경우에 적용되는 값임.

2) 다락이 있는 경우에 해당됨.

3) 다락이 없는 경우에 해당됨.

4) 외단열, 중단열시 콘크리트구조 또는 조적조 외벽에 해당됨.

5) 내단열시 콘크리트구조 또는 조적조 외벽에 해당됨.

6) 외단열, 중단열시의 벽체에 해당됨.

7) 내단열시 벽체에 해당됨.

8) 비공조 출입구에 해당됨.

9) 창틀을 포함한 창문의 열관류율

10) 비공조공간에 접한 벽체의 경우에 해당됨.

11) 비공조공간에 접한 콘크리트구조, 조적조의 경우에 해당됨.

12) 일본의 경우, 부위별 열관류율은 주택의 공법, 기밀성에 따라 달라짐. 제시된 수치는 위로부터 각기 다음의 주택에 해당된다.

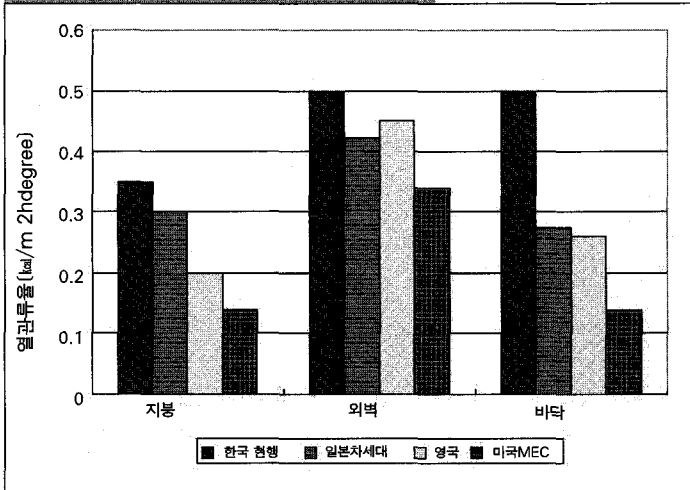
① 철근콘크리트조의 주택 또는 기밀주택

② ①이외의 조적조 주택, 공업화주택

③ ①, ②이외의 주택



그림 1. 건축물 부위별 단열기준 비교



(주거용 건물, 중부지역-난방도일 2,800~3,000)

등 적용하는 것이 일반적이었으나, 최근의 선진국의 단열기준 개정 예를 볼 때 지역별 차등 폭을 축소하거나, 단일화 방안으로 가는 것이 보편적인 정책의 방향임. [그림 2.1]에서 볼 수 있듯이 일본의 차세대 기준(안)은 3지역(난방도일 2800dd 이하는 동일한 단열준을 요구하고 있으며, 영국과 같은 경우는 지역 구분없이 단일 기준을 적용)

▶ 개정 내용

- ⇒ 제주도 예외 조항을 삭제하고 전 지역, 전 건물로 확대
- ⇒ 단, 공장 및 창고 건물 등 난방 및 냉방 설비의 설치되지 않는 건물에 대한 적용 예외 규정을 신설함

4. 단열기준 개정의 필요성 및 요구성능

가. 지역의 확대

▷ 현행 기준

다만, 제주도지방에서 건축하는 건축물로서 냉방설비를 설치하지 아니하는 연면적 1천제곱미터미만인 건축물의 경우에는 그러하지 아니하다. <개정 96.2.9>

▷ 보완 필요성

- 제주도의 예외 규정은 해당 건축물의 열성능을 저하시킬 수 있다는 점에서 바람직 하지 않으며
- 초기 건축시 단열재를 적용하지 않을 경우, 준공후 단열재의 추가 공사는 신축에 비해 더 많은 공사비가 추가되며
- 건축물의 냉방 설비 설치는 일반화되는 추세임에 따라, 건축물의 기본적인 열 성능을 신축 공사시 보유하게 하는 것이 경제적인 측면에서나 건축주의 입장에서 유리한 조치임
- 한편, 과거 단열기준의 설정시 지역별 난방도일에 따라 차

나. 적용 부위의 구체화

▷ 현행 기준

거실의 외벽, 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕, 최하층에 있는 거실의 바닥(외기에 접하는 바닥을 포함한다), 공동주택의 축벽 및 거실의 외기에 접하는 창은 그 열관류율을 별표4에 의한 기준으로 하거나, 별표 5에 의한 단열재로 시공할 것

▷ 보완 필요성

- 외기에 직접 접하지 않는 부위에 대한 언급이 없음에 따라, 외기에 간접적으로 면하는 부위에 대한 단열 처리가 임의 적용되거나 미설치되는 경우가 발생하여 단열처리 부위에 대한 명확한 정의가 필요
- 비난방(비공조)공간을 거쳐 외기에 접하는 경우의 단열재 시공 위치에 대한 불분명(예 공동주택의 계단실에 면한 벽체, 학교 건물의 복도에 면한 벽체 등) 및 적정 단열성능의 미제시로 인하여 건물별 열성능의 차이를 초래하는 원인



이 되고 있음

▶ 개정 내용

⇒ 외피 부위를 “외기에 직접 면하는 부위”와 “외기에 간접적으로 면하는 부위” 로 나누고 해당 부위에 대한 단열 성능의 값을 차등화하여 제시함

다. 열관류율 적용치의 타당성

▷ 보완 필요성

- 현행 기준은 외피와 바닥에 대해 같은 열성능 값을 제시하고 있음
- 창의 열관류율을 창 프레임 제외 창유리만의 값으로 제시하고 있음.
- 전반적인 단열 성능의 요구치가 선진 외국의 유사 기후지역에 비해 낮은 수준임
- 현행 기준은 단열재의 성능에 관계없이 일정 두께의 단열재를 적용하여도 되게끔 되어 있음
- 열관류율 값을 근거로 기준으로 제시하고 있으나, 열관류율 계산을 위한 방법이 제시되고 있지 않고 있음

▶ 개정 내용

- ⇒ 바닥 부위의 단열 성능을 대폭 강화
- ⇒ 최하층 바닥은 외벽과는 달리 주간 일사의 영향을 받지 못하며, 연중 저온으로 유지되는 특성이 있음에 따라 벽체에 비하여 강화된 단열 성능의 적용이 필요
- ⇒ 특히 국내 대부분의 주거용 건축물에서 적용되는 온돌구조의 경우, 일반 외피에서 적용되는 값을 그대로 적용할 수는 없으며, 열시스템의 보온 차원에서의 단열성능 강화가 필요
- ⇒ 온돌구조의 바닥 단열성능을 비온돌 구조와 차별 적용
 - 온돌구조의 바닥 단열 요구 성능을 강화

• 온돌구조의 단열재 설치 위치를 구체적으로 명시

- ⇒ 창호의 열성능을 창유리와 창틀(프레임)을 포함한 열관류율로 변경하여 제시
- ⇒ 전반적인 각 부위의 요구 열성능을 최근 선진국 수준으로 강화
- ⇒ 열관류율 계산을 위한 계산식의 명기 및 관련 데이터의 제시

라. 적용 단열재 성능별 두께 차등화

▷ 현행 기준

(별표 4)에 의하여 건축물 각 부위의 열관류율 값을 제시하고 있으나, (별표 5)에 의할 경우, 압면, 유리면, 난연성 발포폴리스티렌폼, 요소발포 단열재 등은 사용 단열재의 성능에 관계없이 지역별로 정하는 일정 두께의 단열재 사용이 가능하도록 되어 있음

▷ 보완 필요성

- 단열재 종류별 열성능은 많은 차이를 보임에 따라 현재의 압면, 유리면, 난연 성 발포폴리스티렌, 요소발포보온재 등을 동일한 성능으로 간주하는 것은 문제가 있음
- 또한 동일 종류의 단열재라도 밀도에 따라 성능이 달라지며, 최근에는 저밀도 고단열재가 개발되고 있음에 따라 구체적으로 성능을 구분할 수 있도록 하는 것이 요망됨
- (별표 4)에서 부위별 단열성능에 대한 열관류율 값을 제시하고 있으나, 한편으로는 (별표5)의 규정에 의해 단열재의 수준에 관계없이 일정 두께를 적용하여도 되게끔 되어 있어 사용 단열재의 열전도를 특성에 따라 건축물 전체 열성능은 달라지게 되며, 건축물간 열적 차이를 발생시키는 원인이 될 수 있음

▶ 개정 내용

⇒ 단열재 두께에 의한 조항을 삭제하고, 단열성



능의 기본 판정 기준을 열관류율로 통일 (단, 부위별 요구 열관류율을 만족시키기 위한 단열재 종류별 두께는 참고 자료로 예시함)

⇒ 열관류율에 의한 단열규정의 적용에 의하여 단열재의 성능에 따른 두께 차별화가 가능하도록 함

마. 온수온돌과 관련한 단열 규정의 정비

▷ 현행 기준

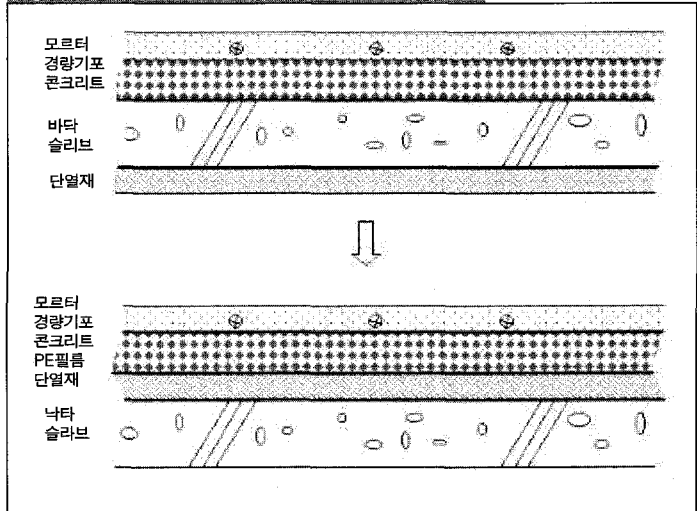
온수온돌로 난방을 하는 공동주택에 세대별

온수보일러를 설치하는 경우에는 거실바닥(최하층에 있는 거실의 바닥 및 외기에 접하는 바닥을 제외한다)의 열관류율을 1.0 이하로 하거나, 별표 5의 비고 1 및 비고 2에 의한 단열재를 20밀리미터이상의 두께로 시공할 것

보완 필요성

- 열관류율 1.0은 하부 열손실의 방지에는 미흡
- 설치 위치가 구체적으로 명시되어져야만 함. (슬라브 상부 또는 온돌구조체 하부로 명시되어져야 함)
- 개별난방 뿐만이 아니라, 지역난방 및 중앙난방 등으로 확대 필요 (전기요금과 같이 각 세대의 사용 열량 만큼 난방비를 징수할 수 있어야 각 세대의 에너지 절약을 위한 노력을 기대할 수 있으며, 현재와 같은 균등 징수로는 에너지 절약을 위한 노력을 기대하기가 어려움. 한편 지역난방은 세대별 징수를 하고 있으나 층간 단열재 설치를 법적으로 요구하고 있

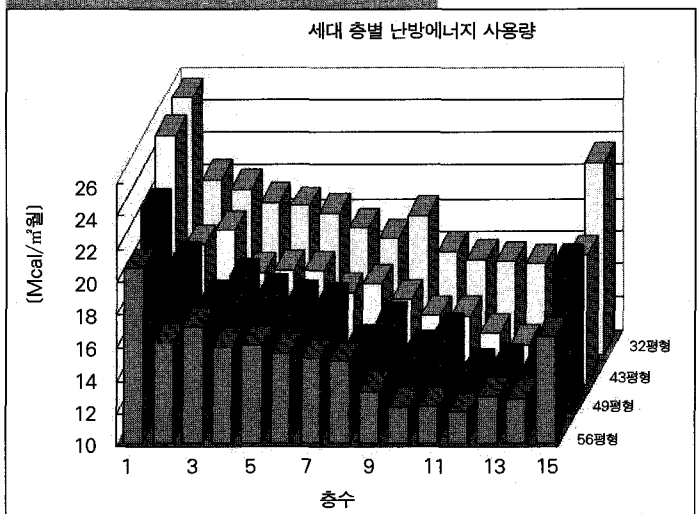
그림 2 온돌시스템의 단열층 설치 위치 예시도



지 않기 때문에 바닥 하부를 통해 아래 층으로의 열손실이 상당한 양에 이르고 있으며, 특히 최 하층인 1층의 하부 열손실은 심각함)

- 온돌층을 가진 바닥의 단열규정을 일반 바닥과 동일하게 단열 조치를 하는 것은 에너지 손실적 요인이 많음, 온돌

그림 3. 층별 난방 에너지 사용량의 차이



(지역난방 공동주택)



층을 가진 바닥의 경우 단열성능을 강화하여야 하며, 설치 위치도 구체적으로 명시할 필요가 있음

⇒ 최하층 거실바닥의 열관류율을 강화하고, 중간층 바닥에 대한 단열기준 확대
⇒ 온돌시스템의 특성을 고려하여 지역구분 항목을 제외하고, 단열층의 위치를 구체적으로 명시

▶ 개정 내용

표 6. 지역별 건축물 부위의 열관류율 표(제21조 개정기준 별표4.)

(단위:W/m²·K, 괄호안은 단위:Kcal/m²·h·°C)

건축물의 부위		지역	중부지역 ¹⁾	남부지역 ²⁾	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.47이하 (0.40)이하	0.58이하 (0.50)이하	0.76이하 (0.65)이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.64이하 (0.55)이하	0.81이하 (0.70)이하	1.10이하 (0.95)이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.35이하 (0.30)이하	0.41이하 (0.35)이하	0.47이하 (0.40)이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.41이하 (0.35)이하	0.47이하 (0.40)이하	0.52이하 (0.45)이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.52이하 (0.45)이하	0.58이하 (0.50)이하	0.64이하 (0.55)이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.58이하 (0.50)이하	0.64이하 (0.55)이하	0.76이하 (0.65)이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.29이하 (0.25)이하	0.35이하 (0.30)이하	0.41이하 (0.35)이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.41이하 (0.35)이하	0.52이하 (0.45)이하	0.58이하 (0.50)이하
공동주택의 축벽			0.35이하 (0.30)이하	0.47이하 (0.40)이하	0.58이하 (0.50)이하
공동주택의 층간 바닥	바닥난방인 경우		0.81이하 (0.70)이하	0.81이하 (0.70)이하	0.81이하 (0.70)이하
	기타		1.16이하 (1.0)이하	1.16이하 (1.0)이하	1.16이하 (1.0)이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우		3.84이하 (3.30)이하	4.19이하 (3.60)이하	5.23이하 (4.50)이하
	외기에 간접 면하는 경우		5.47이하 (4.70)이하	6.05이하 (5.20)이하	7.56이하 (6.50)이하

1) 중부지역 : 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외) 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)

2) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도(영동군), 충청남도(천안시 제외), 전라북도, 전라남도, 경상북도(청송군 제외), 경상남도



5. 개정 기준에 따른 온돌시스템의 요구성능

앞의 표 3은 개정 이전의 기준에서 온돌시스템과 관련된 열관류율 값을 나타낸다. 중부지역을 일례로 하면 종래에는 최하층 거실 바닥의 경우, $0.58W/m^2 \cdot K$ ($0.5Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$) 이하의 열관류율이 기준값이었으나 표 6.의 개정 기준에서는 대부분 공동주택에서 최하층의 하부공간이 기계실과 지하실로 구성되므로 외기에 간접 면하는 부위에 해당하는 $0.52W/m^2 \cdot K$ ($0.45Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$) 이하의 성능을 만족하여야 한다.

또한, 종래에는 개별난방방식의 공동주택에 한하여 지방자치단체의 조례에 따라 층간 단열성능이 $1.16W/m^2K$ ($1.0kcal/m^2h^\circ C$)로 설정되어 있었으나 개정 기준에 따르면, 일정 규모 이상의 모든 공동주택에서 바닥난방(온돌)을 하는 중간층은 중부지역의 경우 $0.81W/m^2 \cdot K$ ($0.70Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$) 이하의 열관류율을 확보하여야 한다.

한편, 표 7.은 표 6.의 열관류율 값을 만족하기 위한 부위별 단열재 두께를 나타낸다. 개정 기준에서는 표 8.에 나타낸 바와 같이 단열재의 등급을 성능(열전도율)에 따라 4등급으로 구분하고 있다.(건설교통부 고시 제2001-118호, 별표1., 참조) 따라서, 가장 일반적으로 사용되는 비드법에 의한 발포폴리스틸렌폼 2호(KS L 9106)는 고시에서 '나' 등급에 해당하며, 이 경우 중간층은 나등급의 단열재를 35mm 이상, 최하층은 65mm 이상 설치하거나, 또는 공인시험성적서 등과 같은 중빙자료로서 동등 이상의 단열성능을 확보하고 있음을 제시하여야 한다.

한편, 공동주택에서 최하층 거실 바닥의 경우에는 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제21조 제2장의 건축부문 설계기준에 따라 "바닥난방 부위에 설치되는 단열재는 바닥난방의 열이 슬래브 하부 및 측벽으로 손실되는 것을 막을 수 있도록 온수배관(전기난방인 경우는 발열선) 하부와 슬래브 사이에 설치하고, 온수배관(전기난방인 경우는 발열선)

표 7. 중부지역의 단열재 두께(건설교통부 고시 제2001-118호, 별표2, 온돌 관련 개정기준)

(단위: mm)

건축물의 부위		단열재의 등급	단열재 등급별 허용 두께			
			가	나	다	라
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		65	75	85	100
	외기에 간접 면하는 경우		45	50	55	65
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	90	105	120	135
		바닥난방이 아닌 경우	75	90	100	115
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	55	65	75	80
		바닥난방이 아닌 경우	50	55	65	70
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		110	125	145	165
	외기에 간접 면하는 경우		75	85	100	110
공동주택의 측벽			90	105	120	135
공동주택의 층간 바닥	바닥난방인 경우		30	35	45	50
		기 타	20	25	25	30

1) 중부지역 : 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)



표 8. 단열재의 등급 분류

(단위: mm)

등급분류	열전도율의 범위 (KS L 9106 또는 KS F 2277에 의한 20±5°C 시험조건에 의한 열전도율)		KS M 3808, 3809 및 KS L 91020에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재
	W/mK	㎉/m·h·°C	
가	0.0340이하	0.0290이하	- 압출법보온판 특호, 1호, 2호, 3호 - 경질우레탄폼보온판 1종 1호, 2호, 3호 및 2종 1호, 2호, 3호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.034W/mK(0.029 ㎉/m·h·°C)이하인 경우
나	0.035~0.040	0.030~0.034	- 비드법보온판 1호, 2호, 3호 - 압면보온판 1호, 2호, 3호 - 유리면보온판 2호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.035~0.040 W/mK (0.030~0.034 ㎉/m·h·°C)이하인 경우
다	0.041~0.046	0.035~0.039	- 비드법보온판 4호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.041~0.046 W/mK (0.035~0.039 ㎉/m·h·°C)이하인 경우
라	0.047~0.051	0.040~0.044	- 기타 단열재로서 열전도율이 0.047~0.051 W/mK (0.040~0.044 ㎉/m·h·°C)이하인 경우

하부와 슬래브 사이에 설치되는 구성 재료의 열저항의 합계는 층간 바닥인 경우에는 해당 바닥에 요구되는 총열관류저항(규칙 제21조 [별표 4]에서 제시되는 열관류율의 역수)의 60% 이상, 최하층 바닥인 경우에는 70% 이상*이 의무화 기준으로 설정되어 있다.

· 이와 같이 단열재의 위치를 구체화 한 것은 기존 공동주택에서 최하층의 경우, 단열재층이 지하층의 천장면에 설치되는 경우가 일반적이므로 온도에 공급된 열이 슬래브를 통해 하부로 손실되어 불필요한 난방에너지 손실을 증대시키는 주요 원인이 되기 때문이다.

한편, 기존 중앙난방에 의한 공동주택은 각 세대의 사용열량이나 온도조건에 관계없이 일률적인 난방비를 부과함으로써 난방에너지 절약을 위한 거주민의 자발적인 노력을 구하기 어려웠다. 개별난방

및 지역난방이 증가하고 중앙난방인 경우에는 난방계량기의 설치가 의무화되어 각 세대는 사용한 만큼의 난방비를 부담할 수 있게 됨에 따라 에너지절약을 위한 거주민의 노력을 기대할 수 있다. 이에 각 세대의 난방효율을 높이고, 난방열이 하부 세대로 손실되는 것을 방지하기 위한 조치로서 중간층의 바닥에 대해서도 단열성능을 강화하였다.

6. 개정 기준에 따른 온돌시스템의 기술개발 방향

온돌시스템에 있어 에너지이용의 효율성 부문은 그 동안 많은 연구를 통하여 문제점과 개선방안에 대한 검토가 이루어져 왔다. 그러나, 실제 현장에서는 습식공법 즉, 슬래브 상부에 두께 70mm 내외의 현장 타설용 기포콘크리트를 구성하고 50mm 내외



의 모르토로 마감하는 온돌공법이 정형화되어 있으며, 최하층의 거실 바닥은 지하실 상부에 압면 뿔칠 등과 같은 공법이 적용되어 왔다.

슬라브 위에 채움층의 기능과 일부 단열성능을 지닌 현장 타설용 기포콘크리트는 2000년도에 한국산업규격(KS F 4099)이 제정되었으나, 기능과 소재의 물리적 특성에 기인하여 열전도율이 0.13W/mK(0.112kcal/mh²C) 내외이므로 종래와 같이 70mm 내외의 경량기포콘크리트만으로는 개정 기준에서 요구하는 열저항을 확보하기가 곤란하며, 결국 개정 기준에 따른 온돌시스템의 요구 성능을 만족하기 위해서는 별도의 열저항을 지닌 단열층이 필요하다. 또한, 최하층은 개정 기준에 따라 총열관류저항의 70% 이상인 열저항 재료를 배관과 슬라브 사이에 구성하여야 하므로 사실상 종래의 공법은 적용할 수 없다.

이에, 대한주택공사에서는 중간층의 경우, 종래의 습식공법을 취하되 20mm 내외의 단열재(발포 폴리스틸렌폼 류)를 슬라브 상부에 설치하여 기포 콘크리트의 열저항과 함께 개정 기준에서 요구하는 온돌시스템의 단열기준을 충족시키는 공법으로 온돌시스템을 개선하고 있다. 한편, 최근 보급이 활성화

되고 있는 바닥 충격음 저감재의 경우에는 그 재료가 발포 고무나 유리섬유, 폴리에스테르, 페타이어 칩 등과 같은 방음재를 사용하고 있는데, 이러한 바닥 충격음 저감재는 흡음성 외에 다른 소재에 비하여 상대적으로 우수한 단열성능을 지니므로 차음 효과와 함께 단열효과를 얻을 수 있는 제품으로 부각되고 있다.

또한, 모르터 마감층 하부를 건식·조립식공법으로 하는 제품에 있어서도 기포콘크리트층을 대체하여 50mm 내외의 발포 폴리스틸렌폼을 구성하는 제품은 당초 개발목적이 방음이었으나 방음재의 단열성능에 기인하여 개정 기준에서 요구하는 단열성능을 만족할 수 있는 것으로 조사되고 있다.

결국, 120mm 내외의 두께를 지닌 온돌시스템에서 단열기준을 만족시키기 위해서는 발포 폴리스틸렌폼, 유리섬유, 폴리에스테르, 발포고무 등과 같은 단열재를 일정 두께 이상 설치하는 공법으로 현행 온돌시스템이 개선되어야 하며, 여기에 부가기능으로서 최근 들어 거주자 측면에서 가장 큰 민원 대상인 차음성능을 향상시키는 방향으로 제품 및 기술 개발이 이루어질 것으로 전망된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 건축물 에너지절약 설계기준 설명회 자료, 2001. 7.
2. 한국건설기술연구원, 공동주택의 장수명화 및 재생기술을 위한 IHCS 표준모델 개발연구, 연구보고서, 2001. 12.
3. 건설교통부, 한국건설기술연구원, 기후변화협약 대응 건축물 에너지절약 중장기 대책연구, 1999. 12.
4. 산업자원부, 한국건설기술연구원, 건물 에너지절약을 위한 제도 개선 연구, 2000. 5.
5. 한국건설기술연구원, 차세대 온돌시스템 개발연구, 연구보고서, 1999. 11.
6. 한국건설기술연구원, 연구보고서, 온돌패널 에어보드 열성능 평가, 1999.
7. 한국건설기술연구원, 연구보고서, 조립식 온수온돌패널의 열성능 평가, 1999.
8. 한국건설기술연구원, 연구보고서, 공동주택 바닥난방 시스템의 열성능 평가, 1996. 12.
9. 한국건설기술연구원, 공동주택의 열성능 향상방안에 관한 연구, 연구보고서, 1994. 12.