

반건식 단열완충재

(사운드제로플러스, Soundzero Plus)

개발 및 적용성 연구

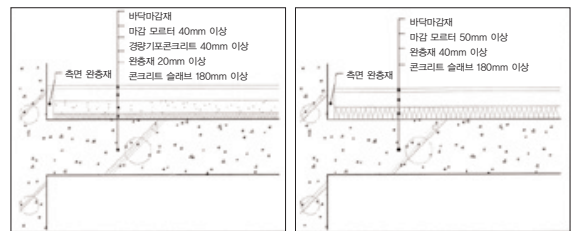
Soundzero Plus

1. 서론

공동주택에서 바닥충격음은 이웃간 분쟁을 야기하여 조정신청 및 소송까지 제기되는 등 최근 심각한 사회적 문제로 부각되었고, 삶의 질이 향상됨에 따라 입주자들의 환경에 대한 욕구가 높아짐에 따라 정부에서는 주택법을 개정하여 바닥충격음 차단성능에 대한 정량적인 기준(경량 58dB, 중량 50dB)을 제시하였으며, 더불어 경량충격음 차단성능에 대한 법적 기준을 만족하는 표준바닥구조 5종을 고시하기에 이르렀다. 이에 각 건설사에서도 바닥충격음 차단성능을 개선하기 위한 노력을 활발히 진행하고 있다.

일반적으로 공동주택의 바닥구조는 천장, 철근콘크리트 슬래브, 단열완충층, 방열관을 포함하는 축열층, 바닥마감재 등으로 구성된다. 지금까지 연구결과 진동특성을 개선하기 위한 가장 효과적인 방법은 슬래브를 두껍게 하거나 강성을 높이는 것으로 알려져 있으며, 충격에 의한 진동량을 개선하고 차음효과까지 얻을 수 있는 뜬바닥구조를 구현하는 방법이 차선의 방법으로 독일이나 프랑스, 일본 등에서 오래전부터 사용되고 있다. 이러한 원리에 근거하여 최근 고시된 표준바닥구조는 우선적으로 슬래브 두께를 180mm로 기존보다 30~50mm 이상 두껍게 하고, 뜬바닥구조를 구현하기 위해 완충재를 의무적으로 사용하도록 규정하고 있다.

〈그림 1〉 표준바닥구조 벽식-2와 벽식-5 단면도



(a) 표준바닥구조 벽식-2

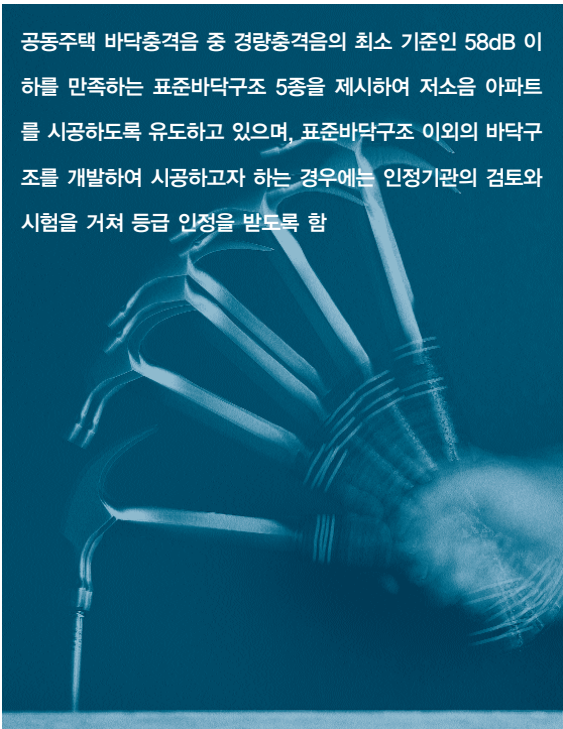
(b) 표준바닥구조 벽식-5

현재 대부분의 건설사에서는 〈그림 1〉(a)와 같은 표준바닥구조 벽식-2에 해당하는 두께 20mm 완충재와 두께 50mm 경량기포콘크리트로 구성된 단열완충층을 주로 사용하고 있다.

그러나 단열성능이 있는 완충재를 사용하게 됨으로써 단열재로 사용되는 경량기포콘크리트의 역할이 모호해졌으며, 공정상 완충재 시공이 추가되어 경량기포콘크리트의 두께가 얇아짐에 따라 〈그림 2〉와 같이 완충재가 들뜨거나 방열관 고정이 제대로 되지 않는 등 경량기포콘크리트의 결합이 발생하여 기존 공법에 대한 개선이 필요한 것으로 나타나 〈그림 1〉(b)와 같이 경량기포콘크리트가 필요없는 표준바닥구조 벽식-5를 고려하게 되었다.

따라서, 여기에 사용되는 두께 40mm 단열완충재인 “사운드제로플러스(Soundzero Plus)”를 개발하게 되었다.

공동주택 바닥충격음 중 경량충격음의 최소 기준인 58dB 이하를 만족하는 표준바닥구조 5종을 제시하여 저소음 아파트를 시공하도록 유도하고 있으며, 표준바닥구조 이외의 바닥구조를 개발하여 시공하고자 하는 경우에는 인정기관의 검토와 시험을 거쳐 등급 인정을 받도록 함



〈그림 2〉 경량기포콘크리트 결합 사진

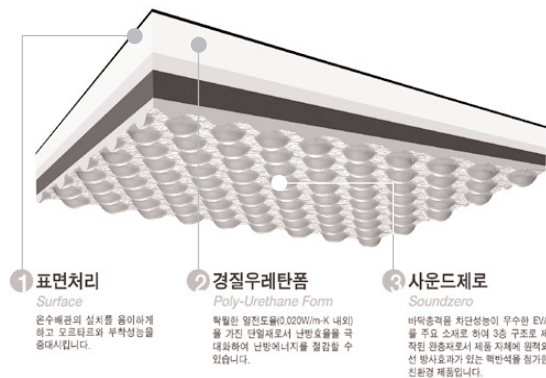


(a) 완충재가 들뜬 상태 (b) 방열관 고정 불량

2. “사운드제로플러스”의 구성 재료 및 제조방법

2-1. 재료 및 특징

〈그림 3〉 사운드제로플러스 형상 및 구성재료

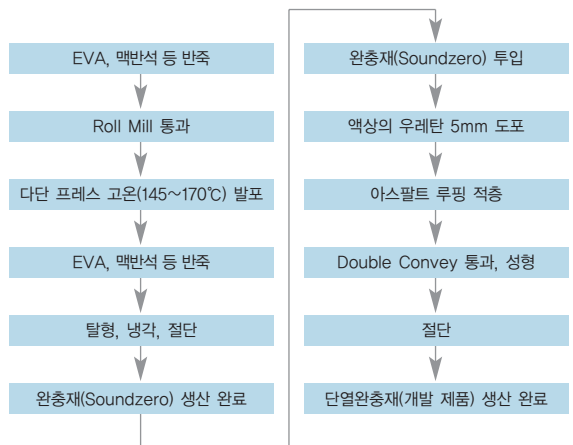


“사운드제로플러스”는 〈그림 3〉과 같이 ①폴리프로필렌 메쉬, 아스팔트 레진, 폴리에스테르 부직포 등으로 구성된 두께 1.0~1.5mm 정도의 아스팔트 루핑, ②열전도율이 0.020W/m·K 정도로 단열성능이 우수한 폴리우레탄폼, ③에틸렌 비닐 아세테이트 공중합체(Ethylene Vinyl Acetate Co-polymer, 이하 EVA), 발포제, 가교제, 맥반석 등으로 구성된 두께 20mm 내외의 완충재(사운드제로, Soundzero)의 총 3개층으로 구성된다. 본 제품의 특징은 상기와 같이 EVA 재료 자체의 우수한 완충성능에 더하여 콘크리트 슬래브와 닿는 부분을 엠보싱 처리하여 완충성능을 극대화시켜 완벽한 뜬바닥구조를 형성하도록 하였으며, 열전도율이 0.020W/m·K 정도로 뛰어난 경질우레탄폼을 적용시켜 단열성능을 획기적으로 향상시켜 난방에너지 절감을 도모할 뿐만 아니라 온수배관의 안정성 확보와 모르타르와의 부착성능 증대를 위하여 아스팔트 루핑을 사용하여 표면처리를 한 것이 특징이다. 특히, 사운드제로를 제작함에 있어서 EVA 자체의 독성을 중화시키고 콘크리트의 독성도 중화시킬 목적으로 EVA를 발포하기 전에 원적외선 방사효과 및 탈취효과가 있는 맥반석을 혼합하여 새집증후군 유발물질로 알려진 포름알데히드와 총휘발성유기화합물이 거의 방출되지 않도록 하였다.

2-2. 제조방법

“사운드제로플러스”의 제조방법은 〈그림 4〉와 같이 사운드제로 생산공정과 폴리우레탄폼 발포 및 아스팔트 루핑 접착공정의 2부분으로 구분된다.

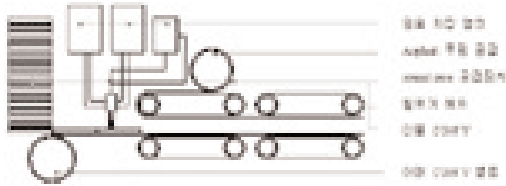
〈그림 4〉 개발 제품 생산 공정도



제조방법상 특징은 기존 다른 다층구조 완충재의 경우 각 층을 접착하는데 있어서 접착제를 이용하여 별도의 공정으로 접착하는데 비하여 사운드제로플러스는 접착제를 사용하지 않는다는

데 있다. 먼저, 서로 다른 밀도로 구성된 3개층의 사운드제로는 고온 발포에 의해 접착시키고, 사운드제로플러스는 <그림 5>와 같이 사운드제로를 더블 컨베이에 통과시키면서 폴리우레탄을 두께 5mm 정도로 도포하고 그 상부에 아스팔트 루핑을 압착시킨 후 상온에서 발포시키게 되면 폴리우레탄폼이 액체상에서 고체상으로 변화할 때 발생하는 자기 접착력을 이용하여 공정 내에서 바로 접착시킴으로써 공정을 단순화하여 제품생산 시간을 단축시켰을 뿐만 아니라 접착제에서 발생하는 유해물질이 전혀 배출되지 않도록 한 것이 특징이다.

<그림 5> 사운드제로플러스 생산 개념도



3. “사운드제로플러스” 성능 시험

사운드제로플러스는 최근 고시된 표준바닥구조 벽식-5에 근거하고 있으므로 표준바닥구조용 완충재의 성능평가기준을 만족하여야 할 뿐만 아니라 「건축물설비기준등에관한규칙」 제21조 (별표 4)에 의거한 열관류율도 만족하여야 하며, 「주택건설기준등에관한규정」 제14조제3항에 명시되어 있는 바닥충격을 차단 성능도 만족하여야 한다. 이 외에도 온돌구성층의 구조적 안정성, 재료 자체의 오염물질 방출강도 등에 대한 시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

3-1. 완충재로서의 성능

표준바닥구조용 완충재의 성능에 대한 평가항목 및 평가기준과 “사운드제로플러스”의 시험결과는 <표 1>에 나타나 있다. 이 중 동탄성계수는 작을수록 바닥충격을 차단성능이 우수한 것으로 알려져 있으며, 개발 제품의 경우 20.6 MN/m³ 정도로 낮은 값일 뿐만 아니라 가열 후 동탄성계수의 변화율은 -16.5% 정도로 가열 전보다 낮아지는 것으로 나타나 바닥충격을 저감성능이 우수할 것으로 예측된다.

<표 1> 완충재로서의 성능 시험결과(시험기관:한국건설기술연구원)

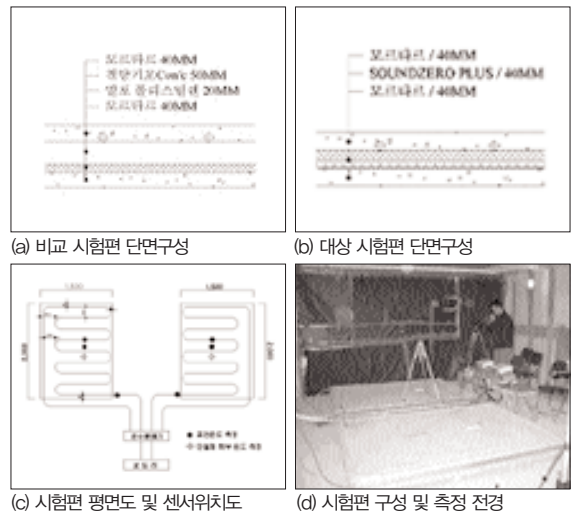
평가항목	평가기준	시험결과
밀도	-	108.0 kg/m ³
동탄성계수(순실계수)	40 MN/m ³ 이하(0.1~0.3)	20.6 MN/m ³ (0.14)
흡수량	4 % (v/v)	1.3 % (v/v)
가열 후 치수안정성	5 % 이내	0.03 %
가열 후 동탄성계수 (순실계수)	가열 전 + 20 % 이내 (0.1~0.3)	17.2 MN/m ³ 변화율 : - 16.5% (0.16)

3-2. 바닥구조 열관류율

온돌구성층에서 단열완충층은 상기 <표 1>에 나타나 있는 것과 같은 완충재로서의 성능기준을 만족해야 함은 물론이거니와 열원으로부터의 열손실을 최소화하여 축열성능을 향상시킴으로서 난방에너지 절감에 기여할 수 있는 우수한 단열성능을 확보해야만 한다.

이를 위해서는 기본적으로 「건축물의설비기준등에관한규칙」 제21조 (별표 4)에 나타나 있는 공동주택의 중간층으로 바닥난방을 하는 경우 열관류율은 0.81 W/m² · K 이하를 만족해야만 한다. 이에 콘크리트 슬래브 150mm + 사운드제로플러스 40mm + 모르타르 50mm 로 구성된 바닥구조에 대하여 한국건설기술연구원에 시험을 의뢰하였으며, 시험결과 열관류율은 0.50 W/m² · K 로 나타나 단열기준을 월등히 만족하는 것으로 확인되었다. 그러나, 이러한 열관류율 시험방법은 실제 공동주택의 바닥난방을 모형화한 것이 아니기 때문에 <그림 6>과 같이 실제 공동주택의 바닥난방을 할 경우를 고려한 시험편을 제작하여 보일러 온도를 70℃로 고정하여 공급 온수온도를 평균 60℃ 정도로 유지한 상태에서 3시간 지속난방 후 6시간 이상 정지하는 간헐난방방식으로 시험을 실시하였다.

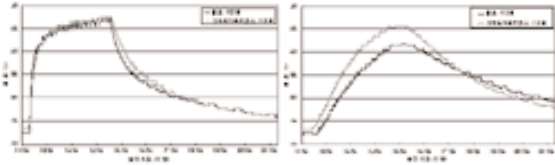
<그림 6> 온수온돌바닥구조의 난방성능 시험편의 구성



시험결과 <그림 7>(a)와 같이 방열관 직상부에서는 지속난방을 하는 3시간 동안은 두 시험편이 최고 36℃ 정도에서 안정화되는 비슷한 온도분포를 보이지만 보일러 가동을 중단한 이후 사운드제로플러스 시험편의 온도하강속도가 완만함을 알 수 있다. 이것은 사운드제로플러스의 우수한 단열성능으로 인하여 방열관 하부로 손실되는 열이 적기 때문에 모르타르의 축열성능을 향상시켜 그만큼 열을 축적하는 시간이 길어진다는 것을 나타내는 것으로, 이것은 <그림 7>(b)에 나타나 있는 방열관과 방열관 사이에서

의 온도측정결과에서도 사운드제로플러스 시험편의 온도상승속도 및 최고온도가 비교 시험편보다 훨씬 높게 나타나는 것과 같은 원리이다. 한편 <그림 7>(b)에서 보일러 가동을 중단하고 3시간 이후부터는 비교 시험편의 온도하강속도가 더 완만해지는데, 이것은 경량기포콘크리트가 단열성능보다는 축열성을 가지므로서 전체 바닥구조의 온도분포에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

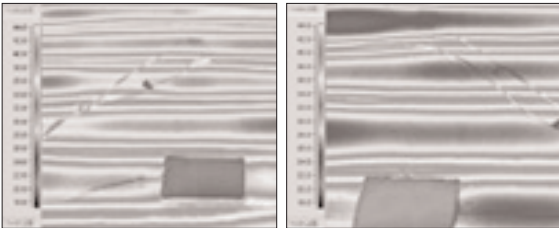
<그림 7> 간헐난방방식에 의한 난방성능 시험결과



(a) 방열관 직상부 (b) 방열관 사이

온도측정과 더불어 적외선카메라를 이용하여 최고온도를 나타내는 시점에 표면의 열분포를 촬영한 결과 <그림 8>에 나타나 있듯이 전체적으로 사운드제로플러스 시험편의 열분포가 비교 시험편보다 훨씬 높은 온도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

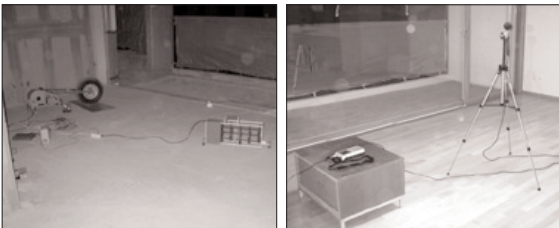
<그림 8> 두 시험편에 대한 최고온도 도달시점에서의 적외선카메라 촬영 결과



(a) 사운드제로플러스 시험편 (b) 비교 시험편

3-3. 바닥충격음 차단성능

<그림 9> 바닥충격음 차단성능 측정용 세대 구성



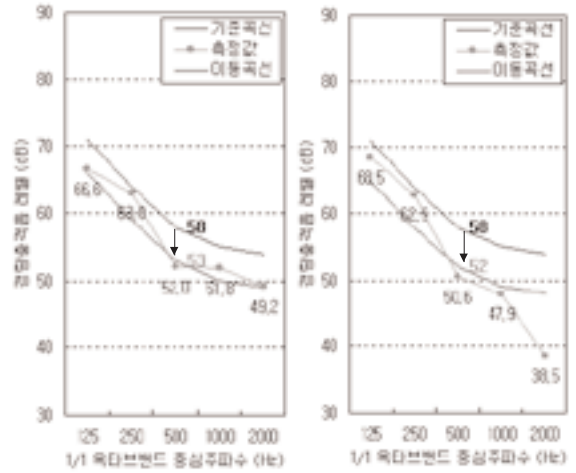
(a) 음원실 및 충격원 설치 전경 (b) 수용실 및 측정전경

바닥충격음 차단성능을 확인하기 위하여 <그림 9>와 같이 음원실 바닥을 사운드제로플러스를 이용한 표준바닥구조 벽식-5로 구성하고, 수용실을 샘플세대로 하여 바닥충격음을 측정

하였다. 단, 음원실은 모르타르까지만 시공된 상태로 마감재가 전혀 없으며, 창호 및 문도 설치되어 있지 않아 밀폐가 되어 있지 않은 상태였다.

바닥충격음의 측정은 KS F 2810-1,2에 따라 이루어졌으며, 평가는 KS F 2863-1,2에 의한 역A특성 곡선을 이용한 평가방법을 이용하였으며, 「주택건설기준등에관한규정」 제14조제3항에서 정하고 있는 경량충격음 58dB 이하를 만족하는 여부를 확인하였다. 측정에 사용된 장비는 경량충격음 발생기(Tapping Machine), 중량충격음 발생기(Bang Machine)와 옥타브 측정이 가능한 정밀소음계(NA-29E) 등이다. 이상과 같은 방법으로 바닥충격음을 측정된 결과는 <그림 10>과 같이 거실에서의 경량충격음 53dB, 침실에서의 경량충격음 52dB 로 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

<그림 10> 경량충격음 측정결과

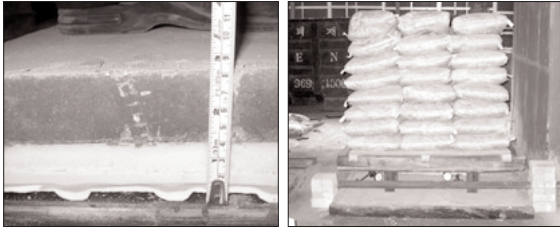


(a) 거실 (b) 침실

3-4. 온돌구성층의 구조적 안정성

사운드제로플러스를 이용한 바닥구조는 경량기포콘크리트 없이 모르타르가 바로 시공되므로 구조적 안정성에 대한 검토가 전제되어야 한다. 일본의 경우 압면 완충재 1종의 경우 재하질량 250kgf/m² 일 때 정적변형 2.0~3.0mm로 규정하고 있지만, 우리나라의 경우 명확한 규정이 없는 상태이다. 따라서, 본 시험에서는 사운드제로플러스와 40mm 모르타르로 구성된 전체 두께 80mm 시험편을 0.1m×0.1m 크기로 제작한 후 만능재료시험기를 이용하여 시험체가 파괴될 때까지 압축하는 시험(한국화학시험연구원)과 <그림 11>과 같이 1.5m×0.9m의 시험체에 2.0ton(하중판 무게 포함)을 적재하는 재하시험을 병행하여 실시하였다.

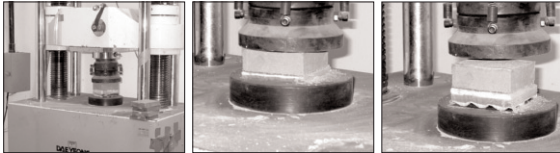
〈그림 11〉 시멘트를 포대를 이용한 재하시험



(a) 재하시험용 시험편의 단면 (b) 시멘트 포대(40kg) 재하 전경

만능재료시험기를 이용한 시험결과 〈그림 12〉와 같이 60 tonf/m² 이상 가력하여 30mm 이상의 변위가 발생할 때까지도 시험체는 파괴되지 않았으며, 가력을 중단하고 하중을 제거하자 원래 상태로 복원되었지만 10mm 정도의 잔류 변형이 발생하였다. 한편, 1.5tonf/m² 까지 가력하였을 때 변위는 2.0mm 정도였으며, 하중을 제거한 후 잔류변형은 0.4mm 정도로 나타났다.

〈그림 12〉 만능재료시험기를 이용한 압축시험



(a) 가력 전 (b) 가력 중 (c) 가력 후

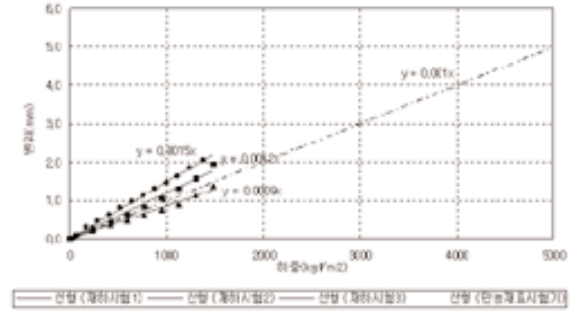
위와 같이 2가지 방법의 시험결과를 일본 기준과 비교하기 위하여 〈그림 13〉과 같이 재하시험 결과에 대한 선형회귀분석을 하였더니 두 시험결과와 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 250kgf/m² 때 정적변형량은 0.25~0.40mm 정도로 일본 기준 2.0~3.0mm와 비교할 때 압축변형이 거의 발생하지 않는 매우 안정적인 바닥구조를 형성하는 것으로 확인되었으며, 〈표 2〉와 같이 기존 온돌구성층의 국부압축시험에 의한 변형량 측정결과와 비교할 경우 사용하중상태에서 비슷한 하중-변위 관계를 보이는 것으로 나타났다.

〈표 2〉 국부압축시험에 의한 변형량 비교

단면구성	압축하중에 따른 변형량(mm)					파괴하중 (kgf)	변형량 (mm)
	100kgf	200kgf	300kgf	400kgf	500kgf		
M(50)+LAC(70)	0.16	0.31	0.45	0.60	0.74	2891	4.80
M(50)+LAC(50)+EPS(20)	0.10	0.13	0.24	0.40	0.56	1397	4.56
M(50)+LAC(50)+완충재(20)	0.14	0.18	0.22	0.31	0.41	1316	4.36
M(50)+LAC(55)+완충재(15)	0.45	1.05	1.40	1.85	2.10	1568	3.48
M(40)+사운드제로플러스(40)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	-	-

※ 사운드제로플러스의 경우 압축변위가 30mm(재하시험 60 tonf/m²) 발생할 때까지 파괴되지 않음

〈그림 13〉 압축하중과 변위와의 관계



3-5. 기타 시험성적 및 기대효과

(1) 친환경 건강 제품

개발 제품의 주재료인 EVA는 완충성능은 뛰어나지만 심한 초산 냄새로 인하여 실내공기질에 악영향을 미칠 수 있으며, 마감재는 아니지만 오염물질 방출강도가 기준치 이상을 초과할 경우 사용이 제한될 수 있다. 이에 사운드제로플러스는 개발 초기부터 원칙위선 방사효과와 탈취효과가 뛰어난 맥반석을 첨가하여 초산 냄새를 획기적으로 제거하였을 뿐만 아니라 오염물질 방출강도 시험결과 〈표 3〉과 같이 양호등급(클로버 3개)에 해당하는 친환경 건축자재로 확인되었다.

〈표 3〉 오염물질 방출강도 시험결과(한국건설기술연구원)

오염물질	일반자재 기준	사운드제로플러스	등급 및 표시
TVOC	0.20 ≤ a < 0.40	0.359	양호 등급
HCHO	0.05 ≤ b < 0.12	0.059	♣♣♣

(2) 기대효과

- 온돌구성층을 3cm 정도 낮출 수 있으므로 층고 계획시 유리하다.
- 온돌구성층의 하중이 기존 대비 25% 정도 경감되므로 구조체를 경량화할 수 있다.
- 온돌구성층의 경량화에 따라 15층 아파트의 경우 철근물량을 5% 정도 절감할 수 있다.
- 경량기포콘크리트 공사에 따른 양생기간을 생략할 수 있으므로 단위공사기간을 3~5일 정도 단축할 수 있다.
- 경량기포콘크리트 공사를 생략할 수 있으므로 시공이 단순해지고 현장관리가 용이하다.
- 열관류율이 매우 우수하여 공급열량을 20% 이상 절감할 수 있다.

4. 사운드제로플러스의 시공방법

사운드제로플러스는 〈그림 14〉와 같이 기존 온수온돌바닥구조에서 경량기포콘크리트로 시공되는 부위를 대체하는 경량 반건

