

바닥충격음 감소를 위한 건조모탈 개발과 현장 적용

Development and field application of dry mortar for floor Impact sound reduction



박창환 Chang-Hwan Park
한일시멘트 기술연구소
건설재료연구팀 선임연구원
E-mail : pch95@hanil.com



조성현 Sung-Hyeon Cho
한일시멘트 기술연구소
건설재료연구팀 팀장
E-mail : csh8902@hanil.com



고효진 Hyo-Jin Ko
DL E&C 주택기술개발원
건축기술지원팀 차장
E-mail : hyojinko@dlenc.co.kr



김용로 Yong-Ro Kim
DL E&C 주택기술개발원
건축기술지원팀 부장
E-mail : kyr8447@dlenc.co.kr



김태정 Tae-Jeong Kim
코오롱이앤씨(주)
상무
E-mail : tjk9670@kolon.com

1. 서론

최근 층간소음에 의한 이웃 간의 갈등과 폭력 사건이 연이어 발생하며, 사회적으로 큰 문제가 되고 있다. ‘국토교통부 주거실태 조사’에 따르면 2020년 기준 우리나라 국민의 60% 이상은 공동주택에 거주하고 있으며, 최근에는 코로나19 여파로 재택근무와 온라인 교육 등 집에 머무는 시간이 늘어남에 따라 층간소음에 의한 갈등 역시 더욱 증가하고 있다.

층간소음은 보통의 소음과 달리 공동주택에서 발생한 충격이 다른 공간으로 전달되는 것으로서, 고체의 충격에 의한 전파음이 공간에서 공기 전파음으로 바뀌면서 벽식구조 공동주택의 특성상 한 층에서 다른 층으로 벽과 슬래브를 따라 쉽게 전달되면서 소음이 발생하게 되는 현상을 지칭한다.

층간소음은 물건이 떨어지거나 가구 등을 끌 때와 같이 비교적 가볍고 딱딱한 물체의 충격에 의하여 발생하는 경량 충격음과, 어린이가 뛰 때와 같이 무겁고 부드러운 충격이 바닥에 가해질 때 발생하는 중량 충격음으로 나눌 수 있다. 경량 충격음은 고음역이지만 충격력이 약하고 지속 시간도 짧은 특징이 있는 반면, 중량 충격음은 상대적으로 저음역이고 충격력이 크며 음향 지속 시간도 긴 물리적 특성을 가지고 있어 입주만이 더 큰 불편함을 느낄 수 있다. 또한, 경량충격음은 표면 마감재 또는 완충재에 크게 영향을 받게 되는 반면, 중량충격음은 전달체, 즉, 슬래브나 벽체의 두께, 밀도, 강성, 지지 조건 등에 의한 슬래브의 동적 특성에 크게 영향을 받는다.

2004년 바닥충격음 차단성능 기준 제정으로 표준바닥구조가 보편화된 이후 완충재(차음재)의 기술은 크게 발전되었다. 그러나 완충재는 경량충격음의 감소에는 큰 영향을 미쳤지만, [표 1]과 같이 중량충격음의 감소는 거의 이루어지지 않았다.

[표 1] 인정바닥구조 제도 도입 전, 후 바닥충격을 개선 효과

연 도	최소기준 만족비율		평균값	
	경량	중량(뱅머신)	경량	중량(뱅머신)
'04 (제도도입)	62.8%	29.8%	58.3 dB	51.6 dB
'18~'19 (감사원, R&D)	88.5% (25.7%p 향상)	40.9% (11.1%p 향상)	46.1 dB (▽8.2 dB)	51.1 dB (▽0.5 dB)

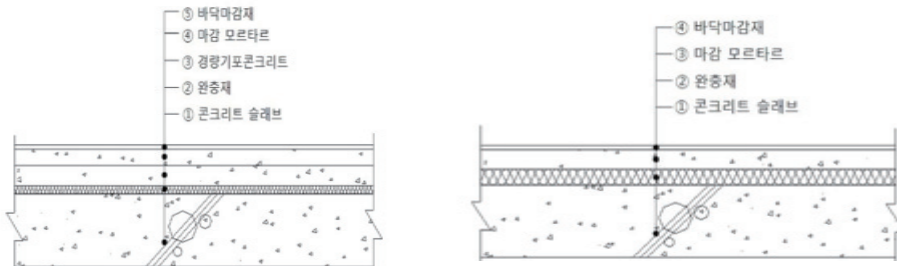


그림 1. 표준바닥구조

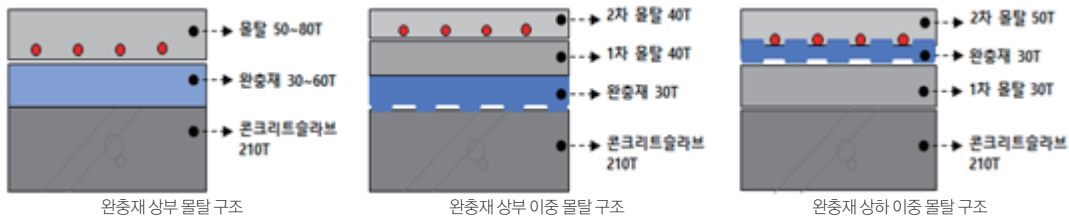


그림 2. 신규 바닥구조 시스템

실질적인 중량충격음의 감소를 위해서는 현재 건설현장에 실 적용되고 있는 뜬바닥 공법과 표면 완충공법 외에 콘크리트 슬래브나 마감 몰탈의 강성을 증가시키는 공법과 차음 천장 공법 등의 복합적 구성을 통해서 구현이 가능할 것이다.

한편 공동주택 세대내 방바닥 타설 제품으로 보편화된 바닥용 건조몰탈에서도 2018년 감사원의 층간소음 발생과 관련된 감사 이후 KS기준 강도와 현장 시공강도에 대한 괴리에 대해 지적이 있었다. 이후 당사는 고강도 바닥용 건조몰탈을 출시하여 대응하였으나, 고강도 바닥용 건조몰탈 또한 발생된 중량충격음의 일부 음역 대에서의 감소만 가능하였다. 이에 당사에서는 층간소음, 특히 중량충격음의 감소를 위하여 여러 방향에서의 추가적인 연구를 진행하였으며, 그 결과물로 층간소음 감소에 도움을 줄 수 있는 세가지 제품을 개발하였다. 첫 번째로 비흡수층인 완충재 상부에 바로 타설 가능한 완충재 상부 전용 몰탈과, 두

번째로 바닥 콘크리트 슬래브의 평탄성 확보를 위한 바닥수평 조절용 제품, 그리고 세 번째로 최근 가장 큰 반향을 일으키고 있는 고밀도(고중량) 바닥용 제품을 개발하였다.

본고에서는 위 언급된 제품 중 층간소음, 특히 중량충격음 감소를 위해 최근 개발된 바닥수평 조절용 제품과 고밀도 바닥용 제품의 특성 및 당사 특허 사이로를 활용하여 타설한 현장 사례에 대해 기술하고자 한다.

2. 공동주택 바닥구조시스템의 변화

국내 공동주택 바닥구조시스템은 2003년 바닥충격음 차단성능 기준이 국토교통부에서 제정된 이후 <그림 1>의 표준바닥구조를 사용해 왔으며, 2013년부터는 표준바닥구조의 조건과 인정바

[표 2] 주요 원재료 구성 비교

구분	주요 원재료 구성			SL재 대비 원재료가(%)	비고
	골재	바인더	혼화제		
일반 바닥용	일반 건조사	OPC+균열저감재 외	유동화제	15	일반설비 공장생산
SL재	규사	OPC+속경재 +석고+팽창재 외	분말수지+유동화제+ 증점제+축진제+ 지연제 외	-	특수설비 공장생산
바닥수평 조절용	일반 건조사	OPC+속경재 +균열저감재 외	유동화제+증점제 외	25	일반설비 공장생산

다 구조의 조건을 동시에 만족하도록 규정하여 왔다. 그리고 2022년 개정된 ‘주택법’에는 공동주택 시공 전, 후 바닥충격음 차단성능을 검증 할 수 있는 ‘바닥충격음 성능검사’가 도입되었다.

이에 따라 주요 건설사들은 현재 저마다 층간소음 감소공법을 개발하고 있으며, 세대 바닥구조시스템도 기존의 표준바닥구조가 아닌 건설사마다 특색 있는 구조로 변화되어 성능인정을 받고 있다. 그 변화된 바닥구조시스템은 현재 크게 세가지 형태로 나누어지고 있으며, 각 구조형식별 단면의 구성과 상세도는 <그림 2>와 같다.

3. 층간소음 대응 바닥용 건조물탈 개발

1) 바닥수평조절용 건조물탈

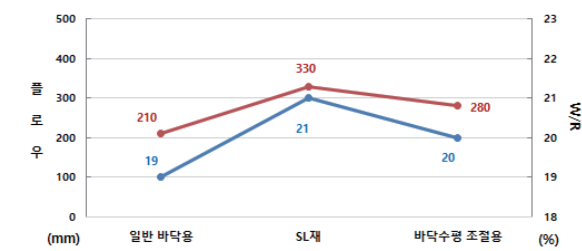
최근 층간소음 관련하여 콘크리트 슬래브 평활도가 공동주택 세대내 바닥 구조시스템 시공의 중요한 요인으로 작용하고 있다. 콘크리트 공사 시방에 따르면 슬래브 평탄도는 3m 당 7mm 이하의 평탄을 유지하도록 명시되어 있다.

원래는 콘크리트 슬래브 상부에 완층재 시공시 슬래브 평활도를 확보하기 위한 조치가 필요하다. 평활도 편차가 클 경우 완층재 시공시 들뜸 및 이음새 부분에서의 단차로 상부 마감 몰탈의 균열과 열손실의 경제성 문제로 이어지고 있다. 또한 평활도 확보 부족에 따른 이격 공간으로 인한 공진현상으로 층간소음 증폭 현상이 일어나고 있다. 이러한 평활도 문제점을 해결하기 위하여 콘크리트 타설시 별도의 미장마감작업을 하거나, 고유동의 콘크리트를 타설하는 방안이 있으나 비용면에서 큰 문제점을 안고 있으며, 또 다른 방법으로 콘크리트 타설 후 SL(Self

Leveling)재를 사용하여 표면 평활도 작업을 실시하고 있으나, 이 또한 후속공정의 증가와 함께 큰 비용을 요구하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 당사는 SL재 대비 약 80% 정도의 유동성을 가지나 고름작업(자나무 고름 + 타설 직후 미장)만으로 수평면 마감이 가능한 성능을 나타내고, 슬래브 평탄도 3m당 7mm 기준을 만족할 수 있는 고유동의 바닥수평조절용 건조물탈을 개발하였다. 그리고 현재 코오롱이앤씨와 현장 적용을 통한 상용화 작업을 진행하고 있다. 바닥수평조절용 몰탈은 일반 바닥용 몰탈 대비 높은 플로우를 유지하여 작업성을 증가시키고, 재료분리 및 블리딩 발생을 크게 감소시킨 제품이다. 각 제품의 원재료 구성 요소와 원재료비에 대한 상세한 내용은 [표 2]와 같다.

규사가 아닌 일반 건조사와 일반 건조물탈 공장에서 사용되는 보편적인 원재료를 사용하여 일반 건조물탈 생산설비에서 대량 생산이 가능하며, 원재료 비에서도 SL재 대비 25% 정도로 가격 경쟁력이 뛰어난 제품이다. 바닥수평조절용 건조물탈의 물리적 성능을 확인하기 위하여 일반바닥용 및 SL재와 비교 검토를 진행하였으며, 그 검토 결과는 <그림 3, 4, 5>와 같다.



※ W/R: 건조물탈 대비 수량

그림 3. 바닥수평조절용 건조물탈 단위수량 및 Flow 비교 검토

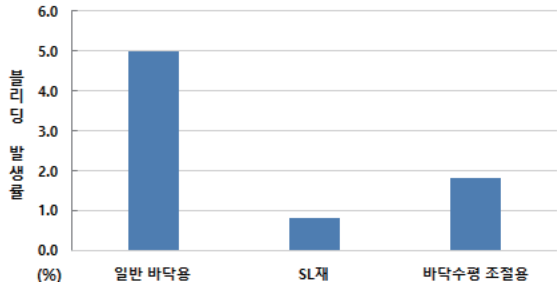


그림 4. 바닥수평조절용 건조물탈 블리딩 발생량 비교 검토

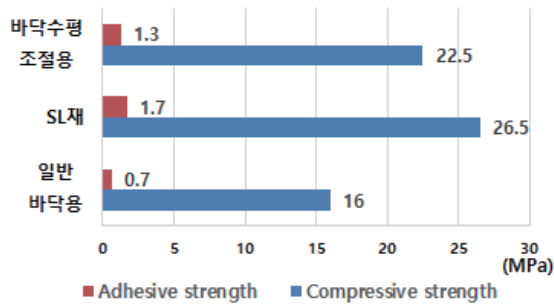


그림 5. 바닥수평조절용 건조물탈 압축강도 및 부착강도 비교 검토

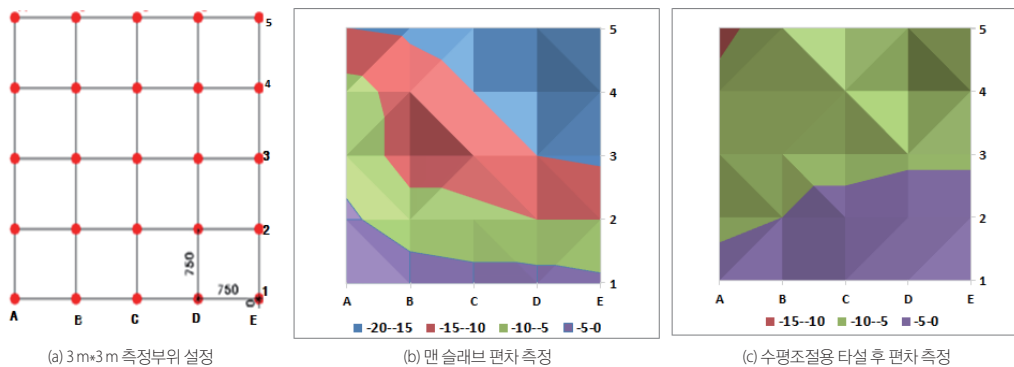
일반 바닥용 대비 약 130%, SL대비 약 80% 정도의 유동성을 유지하여 평활도에서 미장마감 작업을 시행한 일반 바닥용과 유사한 정도의 성능을 나타내었으며, 블리딩 발생량이 일반바닥용 대비 약 65% 감소된 결과를 나타내 재료분리나 표면건전도에서 양호한 결과를 얻었다. 또한 높은 압축강도와 부착강도로 내구성이나 콘크리트 슬래브와의 일체화에 도움이 되는 것으로 확인되었다. 콘크리트 슬래브 상부와 높은 부착력에 의한 일체화는 두께 증가 효과로 이어져 콘크리트 슬래브의 강성을 증진시키고, 슬래브 상부면의 수평 평활도의 확보는 완충재가 밀착 시공되므로 중량충격을 감소 성능 확보가 가능하다.

한편 바닥수평조절용 건조물탈의 평활도에 대한 검증평가를 위하여 Mock up을 진행하였으며, 그 결과는 <그림 7>과 같다.

타설 전 측정부위(3m×3m)를 선정 후 맨슬래브의 평활도 편차를 측정하였으며, 그 표준편차는 5.7mm를 나타내었다. 바닥수평조절용 건조물탈 타설 후 평활도 편차를 재 측정



그림 6. 바닥수평조절용 건조물탈 평활도 검증 Mock up



(a) 3m×3m 측정부위 설정

(b) 맨슬래브 편차 측정

(c) 수평조절용 타설 후 편차 측정

그림 7. 바닥수평조절용 건조물탈 평활도 편차 측정

하였으며 표준편차는 3.2mm를 나타내어 평활도가 개선되었음을 확인하였다.

Mock up의 결과를 바탕으로 코오롱글로벌 나주 현장에 시험타설을 진행하였으며, 타설 후 평탄도 측정결과 3m당 슬래브 평탄도 편차가 5mm 이내의 결과를 나타내었고 후속 완층재 시공 시 이격공간의 발생이 현저히 감소한 것을 확인하였다.

2) 고밀도 바닥용 건조몰탈

중량충격음의 감소를 위한 콘크리트 슬래브와 마감 몰탈의 강성(강도, 중량) 증대 및 두께 증가와 관련하여 현재 많은 건설사에서 연구를 진행하고 있다. 콘크리트 슬래브의 고강성화와 시공두께 증가는 시공성과 경제성에 있어서 많은 난제가 놓여있으나, 세대 마감 몰탈의 경우 강성 증대와 두께 증가가 손쉽게 적용될 수 있는 공법으로 인식되면서 현재 층간소음 감소를 위한 대안으로 떠오르고 있다.

2018년 층간소음 관련 감사원 감사이후 바닥용 건조몰탈의 고강도 제품 시장이 확대되었으나, 실질적인 중량충격음 감소에서는 일부 영역대의 감소만 가능하여 그 효과가 미흡하였다. 이에 당사는 2020년 말부터 DL E&C와 공동연구를 통

해 고밀도(고중량) 골재를 사용한 바닥용 제품을 개발하고, 현재 상용화 작업을 진행하고 있다.

주요 건설사들과 협업을 통하여 현장타설 효과 검증을 진행하고 있으며, 고밀도 바닥용 몰탈의 난제였던 고층부 타설의 경우 지난 5월 공동주택 50층부에 타설을 진행하여 시공성 검증을 완료하였다. 현재 환경조건별 시공데이터 확보에 주력하여 시장의 확대 전에 시공 문제점을 파악하고 개선하는데 주력하고 있다. 또한 당사 인천공장에 설비개선 작업을 통해 생산시설을 마련하였으며, 수도권을 중심으로 건설사의 수요에 대비하고 있다.

고밀도 바닥용 건조몰탈의 핵심은 품질적, 환경적으로 안정한 중량골재의 취사선택과 기존 바닥용 몰탈 작업 시 요구되었던 작업성을 유지하면서 재료분리에 의한 배관폐색을 방지할 수 있는 배합의 확보였다. 중량골재의 경우 밀도가 기존 자연사(밀도 2.6~2.7) 대비 높은 슬래그 골재(밀도 3.0~3.7) 중 KS골재로 등록된 페로니켈슬래그, 연슬래그, 동슬래그, 전기로산화슬래그(풍쇄슬래그) 골재를 검토하였으며, 이중 품질, 환경적으로 최적의 조건을 갖춘 A슬래그와 B슬래그를 선택하여 실험을 진행하였다. A슬래그와 B슬래그의 물리적 성질 및 화학적 성분은 [표 3]과 같다.

[표 3] 중량골재 별 물리적 성질 및 화학성분: KS F 2527 콘크리트용골재

구분	밀도	겉보기 비중	단위용적 질량 (kg/ℓ)	흡수율(%)	조립율	입형	NaCl (%)	화학성분(%)				
								FeO	CaO	S	SO ₃	MgO
A슬래그	3.0 이상	-	1.8 이상	2.0 이하	-	-	0.03 이하	70.0 이하	12.0 이하	2.0 이하	0.5 이하	-
	3.56	2.2	2.24	0.2	3.2	Angular	0.001	47.1	4.80	0.47	0.37	-
B슬래그	3.1 이상	-	1.8 이상	2.0 이하	-	-	-	50.0 이하	40.0 이하	-	-	10.0 이하
	3.65	2.3	2.48	0.2	2.6	Round	-	29.2	27.6	-	-	6.02

[표 4] 중량골재 별 환경유해성 평가: 중금속용출시험

구분	납	구리	비스	수은	시안 화합물	육가 크롬	카드뮴	유기인	기름성분 (%)	테트라 클로로 에틸렌	트리 클로로 에틸렌
유해물질용출량(mg/ℓ)	3 이하	3 이하	1.5 이하	0.005 이하	1 이하	1.5 이하	0.3 이하	1 이하	5 이하	0.1 이하	0.3 이하
A슬래그	불검출	0.302	불검출								
B슬래그	불검출										

물리적 성능과 화학성분에 있어서 KS F 2527 콘크리트용 골재 기준을 모두 만족하였다. 낮은 흡수율과 구형 입형의 특징을 가지며, 밀도는 자연사 대비 높은 3.5~3.7을 나타내었다. 입도와 조립율은 바닥용 건조물탈에 사용가능한 범위 내에 포함되는 것으로 확인되었다.

중량골재의 경우 철강 및 금속제련 산업의 부산물로 발생하기 때문에 그 유해성 평가가 중요하며 그 시험 결과는 [표 4]와 같다.

환경유해성 평가를 위한 중금속 용출시험의 경우 국립환경과학원 고시 폐기물 공정시험(제 2021-95호)을 기준으로 평가하였으며, 모든 항목에 대해 기준을 만족하는 것으로 확인되었다.

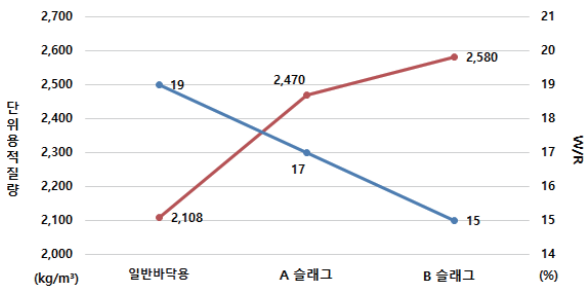


그림 8. 고밀도 바닥용 단위수량 및 단위용적질량 비교 검토

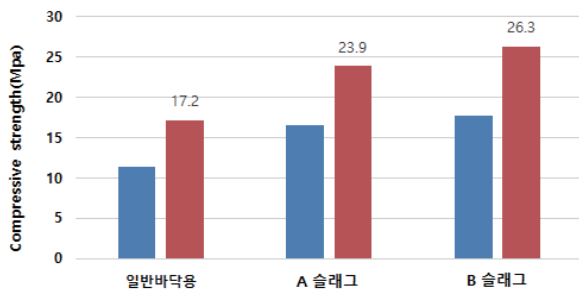


그림 9. 고밀도 바닥용 압축강도 비교 검토

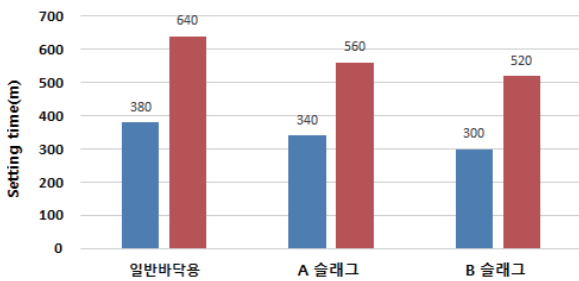


그림 10. 고밀도 바닥용 응결시간 비교 검토

상기에 언급된 A슬래그와 B슬래그 골재를 사용하여 일반 바닥용 건조물탈과 물리적성능 비교 실험을 진행하였으며, 그 결과는 <그림 8, 9, 10>과 같다.

검토는 실 현장에서 요구되는 작업성에 적합한 플로우 조건(190±10 mm)으로 동일하게 설정하여 진행하였으며, 일반바닥용 대비 A슬래그를 사용한 건조물탈이 약 10%, B슬래그 사용 시 약 20%의 단위수량 감소가 가능하였다. 단위용적 질량의 경우 A슬래그의 사용 시 17%, B슬래그 사용 시 22% 증가하는 것으로 확인되었으며, 이는 밀도가 높은 중량골재의 사용과 함께 낮은 흡수율과 구형의 입형으로 인해 단위수량이 크게 감소하는 것에 기인한 것으로 판단되었다. 압축강도는 28일 기준으로 일반 바닥용 대비 각각 39%, 53% 증가하였으며, 모두 KS L 5220에 명시된 기준강도(21 MPa)를 상회하는 것으로 확인되었다. 응결시간의 경우도 감소된 단위수량에 의해 일반 바닥용 대비 단축되는 결과를 나타내었으며, 미장작업의 마감 시점인 초결을 기준으로 일반 바닥용 대비 각각 40분, 80분 정도 빠른 응결시간을 나타내었다. 이는 변경된 신규 바닥구조 시스템 하에서 비흡수층인 완충재 상부 타설시에도 기존의 습식공정에서 이루어졌던 마감시간과 유사한 시간을 나타낼 수 있는 결과로 판단된다.

고밀도 바닥용 건조물탈의 경우 중량골재의 사용에 따라 재료분리 방지와 작업성 유지를 위해 높은 분체량과 혼화제를 사용한 배합이 적용되었으며, 이는 균열발생을 증가시킬 수 있는 요인으로 판단되어 A슬래그를 적용하여 길이변화 실험을 진행하였고 그 결과는 <그림 11>과 같다.

길이변화 실험결과 우려와 달리 일반 바닥용과 유사한 안정적인 팽창과 수축을 나타내었다. 10일 이후 그래프가 완만한 것은 안정적인 건조수축의 지표로서 균열발생이 안정적인 것으로 판단되며, 이는 고밀도 바닥용의 특성상 함수율 감소가 느린 것이 수축을 감쇄하는 결과로 나타났다.

현재 주요 건설사들과 협업으로 시험 타설을 지속적으로 진행하고 있으며, 이를 통하여 바닥충격음 감소에 대한 효과와 현장 시공성에 대한 검증작업을 진행하고 있다.

DL E&C의 바닥구조(완충재 상하 이중물탈)에 고밀도 바닥용을 적용한 실 공동주택 현장에서 층간소음을 측정된 결과는 [표 5]와 같다.

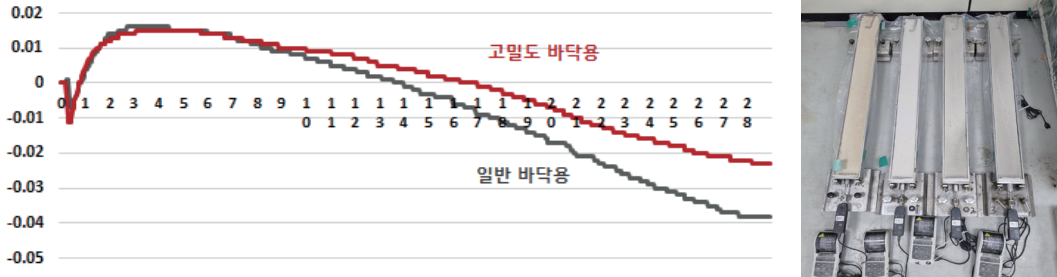
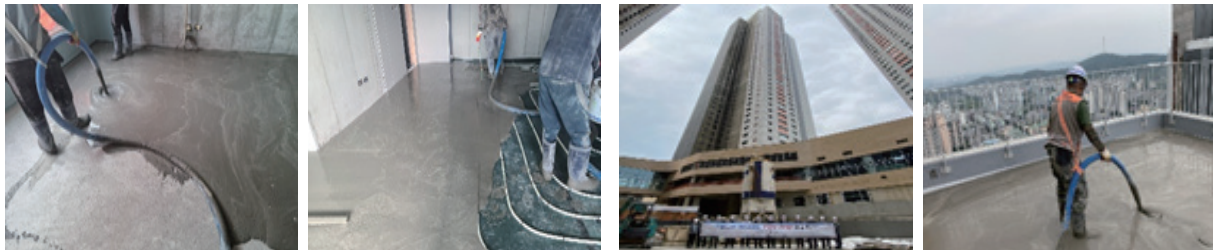


그림 11. 길이변화율 비교 (% Day) : Curing Temperature and Humidity (20°C, 70%)

[표 5] 고밀도 바닥용 층간소음 측정 결과

바닥구조	1차 일반물탈 + 2차 일반물탈		1차 고밀도물탈 + 2차 고밀도물탈	
	경량충격음	중량충격음	경량충격음	중량충격음
측정결과	1등급	3등급	1등급	2등급



(a) 슬래브 및 완충재 상부 타설

(b) 고층부(50층) 압송 시공성 검증 완료

그림 12. 현장 적용 사례: 현장 시험타설 및 고층부 압송 실험

DL E&C 현장에 시험타설 진행시 작업성은 일반 바닥용 대비 동일한 성능을 나타내었고, 단위용적질량은 플로우에 따라 2,400 ~ 2,600 kg/m³ 수준을 나타내었다. 배관폐색 현상이나 재료분리는 없었으며, 타설 후 모니터링 결과 평탄성과 표면건전도도 양호하였다. 층간소음 측정 결과 일반 바닥용 몰탈 대비 중량충격음에서 1등급이 감소되는 결과를 확인하였다.

3) 정량공급 특허 사이로

층간소음의 사회적 문제화와 관련하여 기존의 일반용 건조물탈 이외에 층간소음 감소에 효과를 나타낼 수 있는 완충재 상부 전용 건조물탈과 고밀도 바닥용 건조물탈 등의 시장

이 확대될 것으로 예상된다. 이러한 특화된 제품의 경우 높은 결합재량과 다량의 혼화제 사용, 중량골재 입형과 밀도차 등으로 인해 현장 시공 시 많은 문제점을 발생시키고 있다. 특히 이러한 원인들로 인해 발생하는 사이로 내 제품의 불균일한 거출과 혼합수의 불균일한 공급은 제품의 성능을 크게 저하시킬 수 있는 요소이다. 공장에서의 제품 품질관리와 함께 현장에서의 적절한 시공관리가 이루어지기 위해 시공장비의 개발과 개선이 필요하다. 당사에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자체적으로 개발하여 특허를 획득한 정량배합 현장 특허사이로(HSRM-300)를 이용하여 재료 및 혼합수량을 일정하게 공급하여 균일한 품질 상태를 유지할 수 있었고 여러 현장 시험타설을 통해 그 효과를 검증하였다.



그림 13. 특허사이로 정량공급 장치

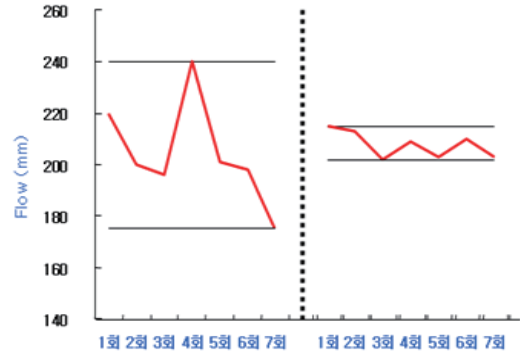


그림 14. 현장타설플로우 편차 결과

일반 사이로 대비 제품과 혼합수의 정량공급을 통해 플로우 값의 편차를 <그림 14>와 같이 크게 감소시켜 균일한 품질을 나타낼 수 있어 특화된 제품의 타설을 안정적으로 진행하였다. 또한 자동화 운전장치의 도입으로 작업자의 시공 편리성을 도모하여 점차 줄어가는 숙련공의 부족에도 대비하였다.

4. 맺은말

본고에서는 층간소음, 특히 중량충격음을 감소하기 위한 목적으로 당사한 개발한 바닥수평조절용 건조물탈, 고밀도 바닥용 건조물탈, 정량공급 특허 사이로에 대한 내용을 기술하였다.

바닥수평조절용 건조물탈은 콘크리트 슬래브 상부 타설용으로 슬래브 상부면의 평활도 확보와 슬래브 두께 증가 효과를 통하여 중량충격음 감소 성능 확보가 가능하다.

고밀도 바닥용 건조물탈은 몰탈 자체의 중량 및 강도를 증대하여 중량충격음의 감소가 가능한 제품으로 주요 건설사의 바닥구조 시스템에 시험 적용을 통하여 그 효과를 검증하고 있다.

사회적 문제로 대두된 층간소음을 줄이기 위해 당사는 건설사의 신규 공법과 바닥구조 시스템에 대응하여 제품과 시공장비를 개발하고 현장 적용을 통하여 그 효과를 지속적으로 검증하고 있다. 새로이 개발된 당사의 층간소음 저감용 제품들이 널리 활용되어 층간소음 문제를 해결하는데 일부라도 기여할 수 있기를 기대해 본다.

참고문헌

1. 국토교통부, 주거실태조사, 2020.
2. 국토교통부, 공동주택 바닥충격음 차단성능 사후 확인제도 도입방안, 2020.
3. 토지주택연구원, 공동주택 중량바닥충격음 저감을 위한 기술개발 방향설정 연구, 2013.

담당 편집위원 : 최명성(단국대학교)