

건식욕실 벽 패널의 소음억제를 위한 실험적 연구

An Experimental Study on the Noise Control of Unit Bathroom Wall Panel

김 태 희* 김 광 희** 이 택 운***

Kim, Tae-Hui Kim, Gwang-Hee Lee, Teck-Wn

Abstract

'Production' s adaptation manufactured construction component is enlarged the result of development in the various construction products and technology. But the pre-fabricated unit bathrooms are not used in spite of many advantages which occupies less than 10% of its market share. This study is for the alternative methods through the on-the-spot experiments to lessen resonance of the wall panel in the Unit bathroom. The results are summarized as follows : Unit bathroom was effective in suitableness part noise control performance when attach sound-absorbing materials. But noises control performance was not better than the general used bathroom. When Urethane (egg container pattern) was applied in the unit bathroom, unit bathroom can be expected for utilization in the construction market field.

키 워 드 : 건식욕실, 벽 패널, 소음억제
Keywords : Unit Bathroom, Wall Panel, Noise Control

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

공장에서 사전에 제작된 공업화된 주택자재들은 해마다 다양한 제품들과 공법들의 개발로 질적인 향상을 거듭하고 있다. 이러한 주택자재들은 사용성에 있어서 용이하며, 합리적인 생산방식을 채택하고 있기 때문에 차후 적용이 활성화된다면 리모델링 공사에 있어서 효율적이며 적합한 대안이 될 수 있다. 그러나 현재 국내에 주택부품들의 적용 및 보급의 활성화는 선진국에 비해서 저조한 상태이며 향후 공기의 단축과 건설자재의 효율적인 활용을 위해서는 국내 시장의 적용확대가 필수적이다.

건설 분야에서 사용되는 주택부품 가운데 대표적인 건식 부품인 건식욕실은 출시된 지 20년이 넘었음에도 불구하고 국내 욕실 시장에서 약 10%미만의 저조한 점유율을 보이고 있다. (이현상 외, 2002)

건식욕실은 기존의 습식공법보다 시공성 및 공사관리, 하자방지 및 사후관리 등이 우수하다고 알려져 왔음에도 불구하고 거주자 및 시공사에게 큰 호응을 받지 못하고 있다. 그 원인은 기존에 공급되었던 건식욕실의 재질특성상 사용 시에 벽

패널의 공벽에 충격이 가해지면 소음이 발생하고, 습식욕실에 비해 미관이 떨어져 거주자에게 부정적인 인식을 심어 주었기 때문이다. 또한 건식욕실 채용에 따른 가격상승의 부담과 공기 단축 및 노동력 절감 등의 실효성에 대한 부정적인 인식 등도 작용하여 건식욕실의 적용 및 보급에 큰 장애요인으로 지적되고 있다.

현재 보급되고 있는 건식욕실은 그동안 단점으로 지적되었던 많은 부분의 개선이 이루어졌다. 그러나 공벽에 의해 발생하는 소음은 현재에도 억제하지 못하고 있어 이에 대한 개선이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 건식욕실 벽 패널의 소음억제를 위해 적용이 가능한 흡음재를 조사하고, 현장실험을 통해 소음억제 성능이 우수한 대안공법을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문의 연구범위는 건식욕실에서 사용하는 벽 패널로 한정하였고, 연구의 방법은 그림 1과 같이 세단계로 나누어 진행하였다.

첫째, 연구방향 정립단계는 벽 패널의 소음억제에 대한 연구의 필요성을 검토하고, 국내·외 관련연구 문헌 등의 선행 연구를 조사·분석하여 연구 개념을 정립한다. 둘째, 대안공법의 성능평가 단계에서는 흡음재의 종류 및 특성을 조사·분석하여 흡음재를 검토한다. 검토된 흡음재들 가운데 각종 성능이 우수한 흡음재를 대상으로 소음억제 성능 평가를 실시하여 적합한 흡음재를 채택한다. 셋째, 분석단계에서는 채택한 흡음재

* 종신회원, 목포대 건축공학전공 전임강사, 공학박사 (thkim@mokpo.ac.kr)

** 종신회원, 목포대 건축공학전공 조교수, 공학박사

*** 정회원, 영남이공대학 건축과 조교수, 공학박사

를 대상으로 시공성·경제적 타당성을 분석한다.

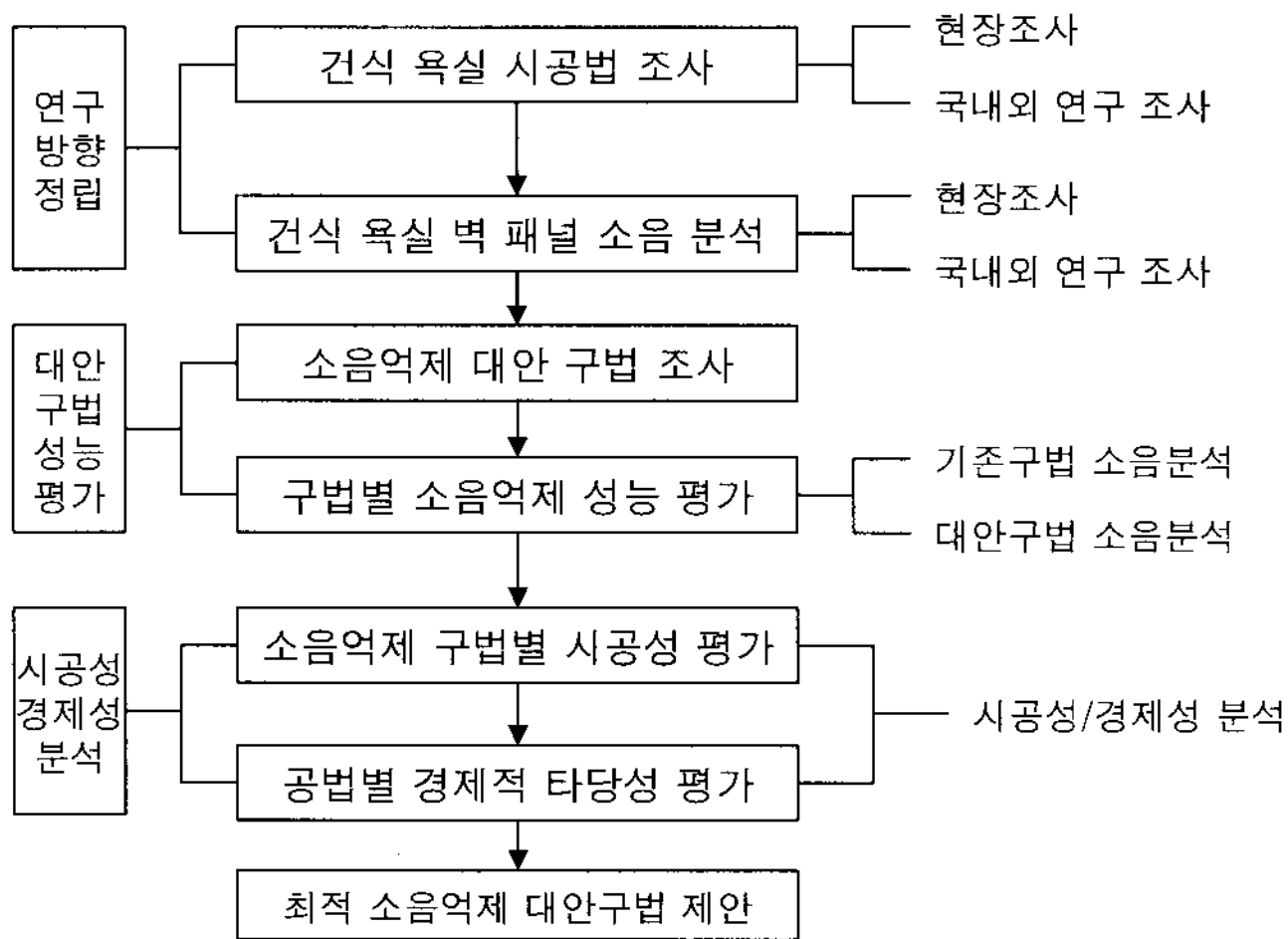


그림 1. 연구절차

2. 예비적 고찰

2.1 습식공법과 건식공법의 특징

2.1.1 습식공법

습식공법은 사회통념 및 인식상 친밀감이 강하며 다양한 마감재의 사용이 가능하고 공간감이 넓은 장점이 있다. 하지만 시공성에서는 공사단가가 높으며 다종의 자재와 다수의 전문기능공이 소요된다. 또한 동절기 공사가 어려우며, 몰탈·양생 등 타 공정 제약요인이 많은 단점이 있다. 공사에 소용되는 공기는 비교적 긴 공기인 20일 정도가 소요되며, 총 16개의 복합공정으로 자재관리가 불리하고 건축공정과 설비공정의 상호간섭이 많은 특징이 있다.

성능부문에서는 입주자의 취향에 따라 부분개수와 기구, 재질이 변경가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 방수, 누수의 하자가 많고 누수 부위 발견이 어렵고, 하자보수 시 구체철거 등으로 작업 및 비용이 과다하게 드는 단점이 있는 공법이다.

2.1.2 건식공법

건식공법은 소비자들에게 습식공법보다 상대적으로 거부감이 강하며 마감재의 사용이 한정되어 있으며 공간이 실제보다 다소 적게 느껴지는 단점이 있다. 시공성에서는 습식공법보다 공사단가가 낮으며, 전문기능공이 없이도 현장조립이 가능하기 때문에 기능인력 확보에 어려움이 없고, 동절기에도 공사가 가능하고, 공종축소로 인해서 인력관리에 유리한 장점이 있다. 또한 4~6일 내의 짧은 기간에 설치가 가능하며 공종최소화(4개 공종)로 공기 및 인력이 절감된다. 방수측면에서는 방수판

의 부착으로 반영구적인 완전방수가 가능하여 성능이 우수하나, 소음부문에서는 공벽의 발생으로 성능이 떨어진다.

기존의 건식공법의 시공 프로세스는 그림 2와 같이 방수판 안착, 벽 패널조립, 천정조립, 내부부품 조립의 프로세스를 갖는다.

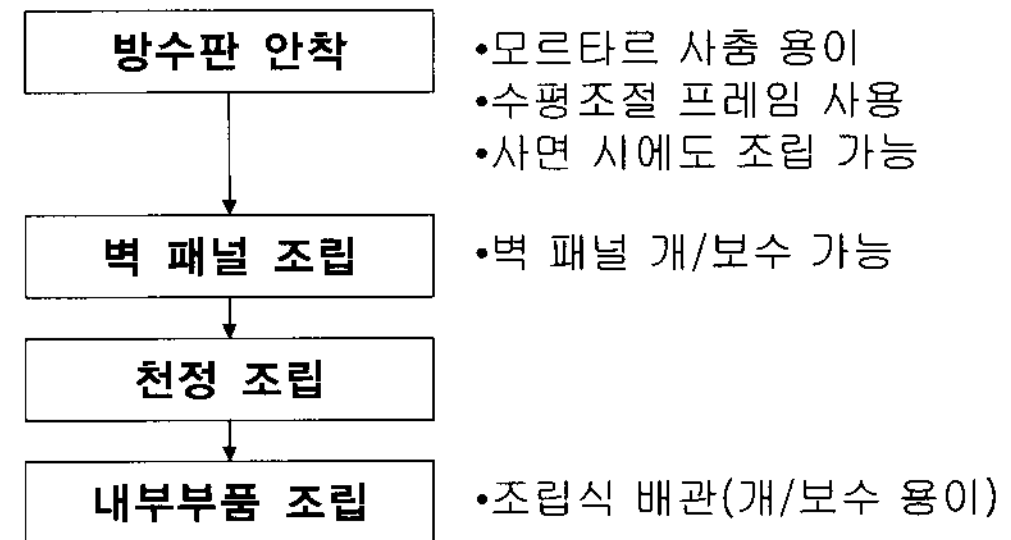


그림 2. 건식욕실 시공과정

2.1.3 특징비교

습식공법과 건식공법의 특징을 비교한 결과 표 1과 같이 건식공법은 많은 장점을 가지고 있지만 벽 패널 소음으로 인하여 소비자들은 습식공법을 아직은 더 선호하는 경향이 있다.

표 1. 습식공법과 건식공법의 특징비교

구분	습식공법	건식공법
계획	· 친밀감이 강함	· 거부감이 강함
시공성	· 공사단가 높음 · 전문기능공소요 · 동절기 공사가 어려움	· 공사단가 낮음. · 전문기능공이 없어도 현장조립가능 · 동절기 공사가 가능
재료	· 다양한 마감재의 사용	· 마감재의 교체가 어려움
공정	· 긴 공기(20일)	· 짧은 공기(4~6일)
유지관리	· 방수, 누수의 하자가 많음 · 하자 발생 시 작업 및 비용이 과대	· 방수판의 활용으로 반영구적 방수가 가능 · 부분하자 발생 시 보수작업 용이
기타 성능	· 부분개수와 기구, 재질이 변경이 가능함	· 보온·단열성능이 우수 · 벽 패널 소음으로 인한 소비자들의 인식과 기피현상으로 이어짐

2.2 국내·외 연구동향

국내·외 건식욕실 관련 주요 연구를 정리하면 표 2와 같다. 기존의 연구들은 벽 패널에 대한 소음억제가 아닌 바닥소음 혹은 층간소음에 대한 연구가 대부분이다.

일부 건식욕실에 대한 연구가 있지만 건식욕실의 활성화를 위한 연구이며, 실리적인 소음억제 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

표 2. 국내 · 외 연구동향

연구자	발표 년도	연구내용
강재수	1994	건식욕실의 시초라 할 수 있는 UBR(Unit Bath Room)의 적용방법에 대하여 연구
이현상 외 2인	2002	일반적인 건식 욕실의 보급 활성화를 위한 현장실태 조사를 통하여 활성화 방안제시
조규수	2003	기존의 시공공법을 분석하여 화장실 벽체에 대한 방수성능과 방수효과를 분석
김홍식 외 2인	1996	급배수 및 오배수의 소음원인을 분석하여, 소음저감 방안연구
박소희 외 1인	2003	공동주택의 급배수설비 소음을 주파수로 나타내어 변기의 배치방식, 배관재료, 통기 방식 등으로 소음저감 방안 연구
전진용 외 2인	2002	바닥, 벽, 천장의 충격음 평가에 있어서 청감실험, 물리적, 심리음향학적 특성을 파악, 표준충격원의 특성을 파악하여, 청감특성과 관련성을 확인
이태강 외 2인	2005	석고판 경량 칸막이 벽체를 통하여 차음성능을 조사 분석
D.H Moon 외 1인	2000	바닥 진동으로 인한 소음
I.L. Ver	1970	충간소음의 원인을 분석하고, 소음저감 방안 연구

3. 소음억제를 위한 대안공법의 선정

3.1 흡음재의 종류 및 특징

음파를 흡수하는 흡음단열재는 방음 효과 중 실내소음 감소에 효과적인 제품으로 인체에 무해한 환경친화적 소재를 사용한다. 이러한 흡음재는 각종 방음 시설이 필요한 현장에 설치되며, 그 쓰임새도 다양하여 각종 건축물의 방음공사, 산업단지 내 방음공사 현장, 스튜디오, 학교, 교회 등의 실내 방음 마감 공사, 실내 인테리어 등 여러 분야에 걸쳐 사용할 수 있다. 흡음재의 종류로는 폴리에스터, 아트보드, 목모보드, 우레탄, 기타 흡음단열재 등이 있다.

3.1.1 폴리에스터 흡음재

폴리에스터 (Polyester) 섬유를 소재로 한 방음 자재로 인체에 무해한 친환경제품이다. 폴리에스터 방음자재 SONAC-P-BOARD는 우수한 흡음성과 단열성 및 난연성을 자랑하는 방음 자재로 100% 재사용이 가능한 반영구적이고 내구성이 강한 건축용 흡음단열재이다. 종류로는 이중보드 형과 방염형, 일반형이 있다.

3.1.2 아트보드

폴리에스터 섬유를 압착시켜 아트보드 형태로 만든 섬유합판으로 인체에 무해한 친환경 제품이다. 제품의 종류로는 일반형과 방염형이 있다.

3.1.3 목모보드

천연목을 목모로 특수 가공하여 생산되는 흡음단열재로, 흡음·난열·단열성 등의 조건을 고르게 갖춘 친환경 제품이다. 목모보드는 탁월한 흡음성을 자랑하고 단열 및 보온효과를 증과 동시에 여러 칼라로 채색이 가능하여 다양한 디자인을 연출할 수 있어 각종 시설물의 실내뿐만 아니라 실외에서도 크게 각광받고 있는 차세대 웰빙용 흡음단열재이다. 사용용도로는 학교, 주거 공간, 방음벽, 방송국, 펜션등 각종 시설물, 실내·외 마감재로 사용되고 있다.

3.1.4 우레탄

우레탄(Urethane) 소재의 방음자재로 인체에 무해한 친환경 제품이다. 우레탄 흡음단열재는 벽체·천정 등의 건축물 내부를 도장하여 마감하는 재료로서 저주파 영역에서의 흡음률을 증대시켜 기본 폼(Form)보다 흡음률이 우수하여 방송실, 스튜디오, 피아노실 등의 음향시설물 방음공사에 효과적인 제품이다. 우레탄 제품의 종류로는 방염형·유공레자형·계란판

표 3. 흡음재의 대안검토

제품명	시공성	경제성	흡음성	적용가능성
폴리에스터 (이중보드형)	상	하	중	질감이 효과적이고 색상표현이 다양하나 본 연구는 충진용으로 사용되는 것으로 질감이나 색상에 크게 영향을 받지 않으므로 타당성이 결여
폴리에스터(일반형)	상	중	상	재료의 시공성·흡음성이 다른 제품에 비해 상당히 뛰어나며, 적용분야도 본 연구와 유사한 벽체에 많이 활용되어 소음억제 성능에 상당히 효과적일 것으로 판단
아트보드(유공레자형)	중	하	중	흡음, 단열성능은 우수하지만 외장재로 사용되는 재료로 타당성 결여
목모보드	중	중	상	우수한 흡음성과 단열성을 나타내지만 가격이 고가이어서 경제성이 현저히 떨어짐
우레탄(계란판형)	상	중	상	표면이 계란판 모양으로 되어 있어 소음억제 성능이 우수하게 판별되고, 시공이 용이 하며, 경제성이 다른 제품에 비해 뛰어나
STRUCORE	중	하	상	흡음성 및 단열성능은 우수하나 다른 흡음재료와 부착하여 시공하므로 단가 상승으로 이어짐
아이소 핑크	중	상	하	가격이 싸고 시공과정이 용이하나 흡음성능이 다른 제품에 비해 떨어짐
스티로폼	중	상	중	가격이 싸고 시공과정이 용이하나 흡음성능이 다른 제품에 비해 떨어짐

형이 있다.

3.1.5 기타 흡음단열재

흡음단열재 SONAC은 각 특성에 맞는 다양한 제품이 있으며 그에 맞는 적절한 시공법을 적용시켜 최대의 흡음·단열·방음효과를 낼 수 있다. 종류로는 STRUCORE, 아이소 핑크, 스티로폼 등이 있으며, STRUCORE는 내수성과 내구성, 시공성이 상당히 우수하다. 또한 원료선택이 다양하고 열 성형으로 여러 형태의 변형이 가능하다. 아이소핑크는 우수한 단열성과 다양한 압축강도·내수·내구성이 우수하며, 편리한 시공 및 가공성을 가지고 있다. 스티로폼은 크기에 비해 가격이 낮은 제품이나 흡음성능이 다소 낮다.

3.2 흡음재의 적절성 및 대안공법 검토

본 연구에서 적용할 수 있는 흡음재를 검토하기 위하여 본 절에서는 흡음재의 종류·특징·적용가능성을 현재 상용제품으로 유통되고 있는 기성제품을 대상으로 조사하였다. 적용가능성의 고려사항은 벽 패널의 공벽을 충진해야 하기 때문에 완충성이 있어야 하고, 재질이나 촉감은 관련성이 없다. 적용이 가능한 제품을 대상으로 흡음성, 시공성, 경제성을 상대 비교하여 상·중·하로 나누었고, 검토한 결과는 표 3과 같다. 총 8개 흡음재 가운데 폴리에스터(일반형)와 우레탄(계란판형)이 시공성·경제성·흡음성이 우수한 제품으로 판별되어 현장실험은 이 두 가지의 흡음재료를 채택하여 실시하였다.

4. 현장실험

4.1 실험계획

현장실험은 KS F 2809 건축물의 현장에 있어서 음압 레벨

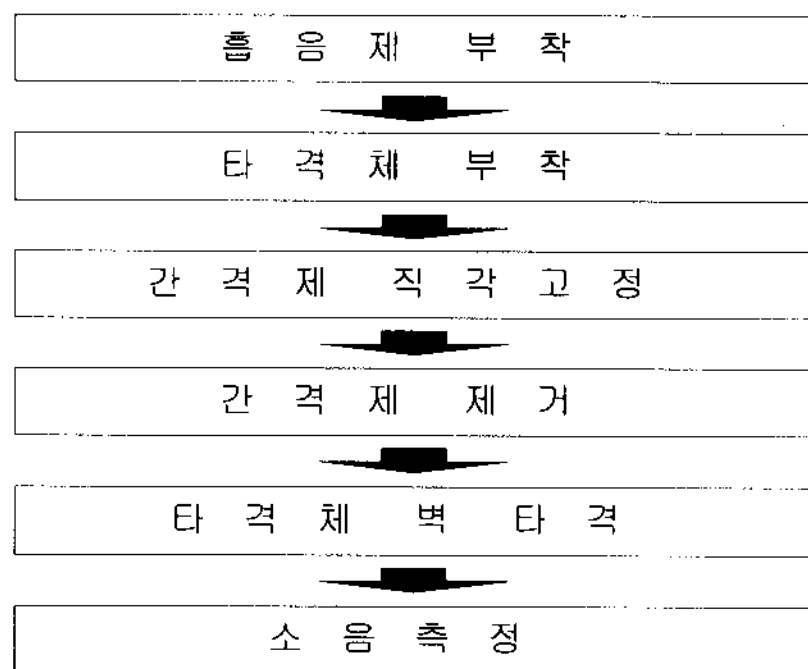


그림 3. 현장실험 절차

차의 측정방법이 규정되어 있으나, 바닥 충격음 레벨의 측정에 관한 규정만 있어 본 논문에서는 그림 3과 같은 절차로 현장실험을 실시한다.

현장실험을 위해서 우선, 기존의 벽 패널에 흡음재를 부착한다. 다음으로 타격체에 줄을 연결하여 건식벽에 부착한다. 동일한 타격을 위해 그림 4와 같이 간격재를 이용하여 타격체를 고정시킨 후 제거하는 방법으로 타격을 실시하였다.

4.2 사용재료

현장실험의 사용재료는 다음과 같다.

- 1) 소음계 : TENMARS 소음계
 모델은 TM-101이고, 최대값과 최소값을 보여주며, 일반적인 소음은 'A'로 설정후 측정하고 기계소음은 'C'로 설정한 후 측정한다. 또한 홀드 버튼이 있어 현재 측정치를 홀딩(holding)시켜주며, Rec 버튼은 측정데이터가 메모리에 저장되는 기능이 있다.

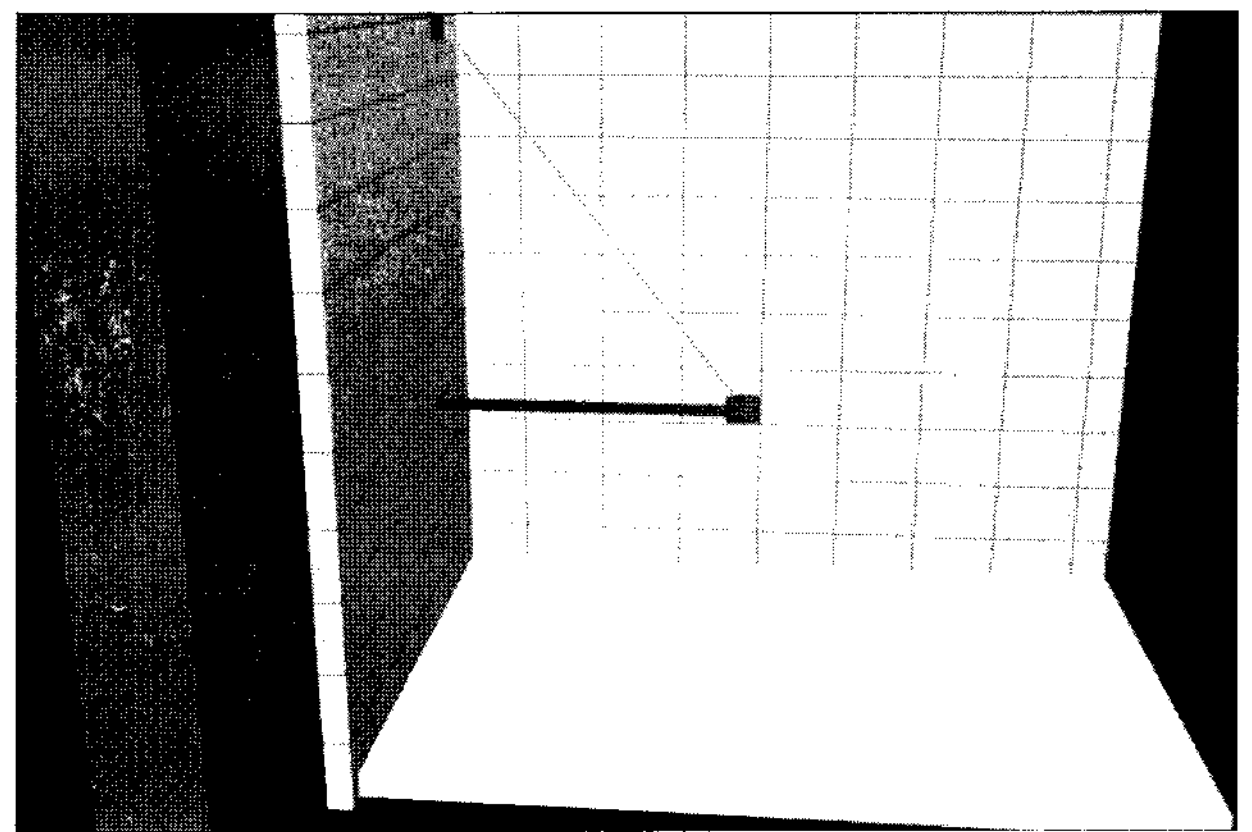


그림 4. 현장실험 계획도

- 2) 간격재 : 간격재는 30cm의 간격재를 사용한다.
- 3) 타격체 : 타격체의 종류별로 소음발생 특성을 파악하기 위하여 연식 타격체와 경식 타격체를 사용한다.
 - 연식 타격체 : 천연가죽 소재와 100% 순모로 만들어진 것이며, 타격체의 무게는 140~150g이고, 둘레의 크기는 23~23.3cm로 108개의 바느질 매듭으로 이루어져 있다.
 - 경구 타격체 : 볼의 무게와 지름은 연식 타격체와 같으며, 손으로 눌러도 변형이 거의 없다.
- 4) 흡음재 : 우레탄(계란판형), 폴리에스테르(일반형)
 3장에서 흡음재의 성능평가를 확인한 흡음재를 사용하고, 흡음재의 규격은 1,000X2,100mm를 기본으로 하며, 두께는 100mm를 사용하였다.

4.3 실험방법

타격위치는 그림 5와 같이 벽 패널의 아래 부분과 윗부분을 나누어 각각 3등분하여 구획된 6개의 중앙부로 하였고, 소음측정은 타격위치를 각각 3회 타격하여 평균소음 측정치로 하였다.

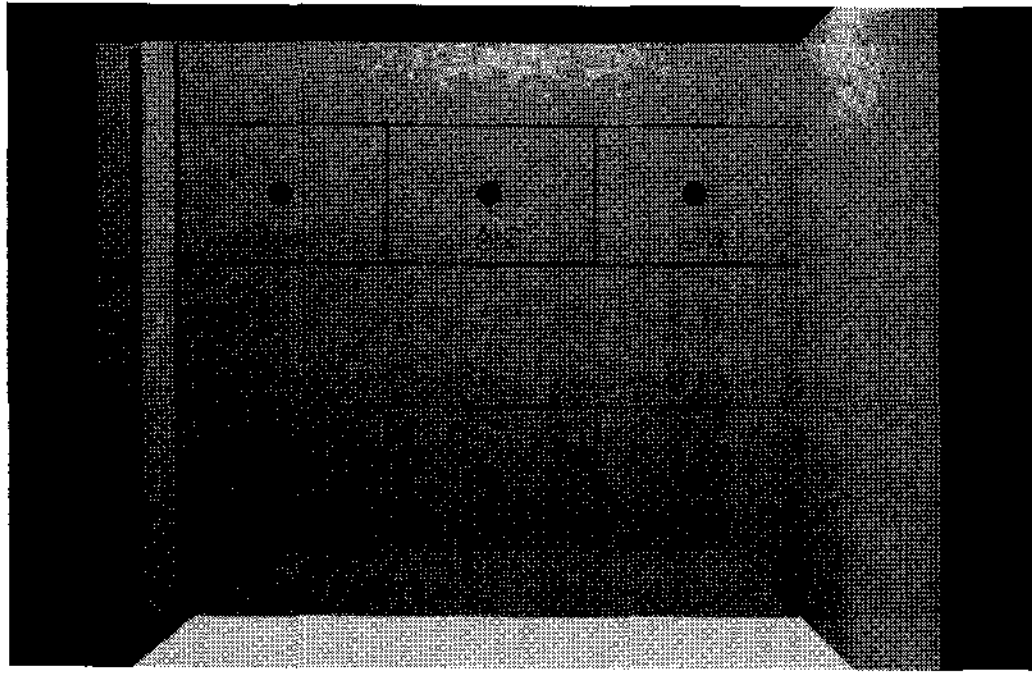


그림 5. 현장실험 타격점

그림 6은 현장실험 프로세스 중 간격재 제거 후 소음을 측정하는 것을 보여주는 현장사진이다.

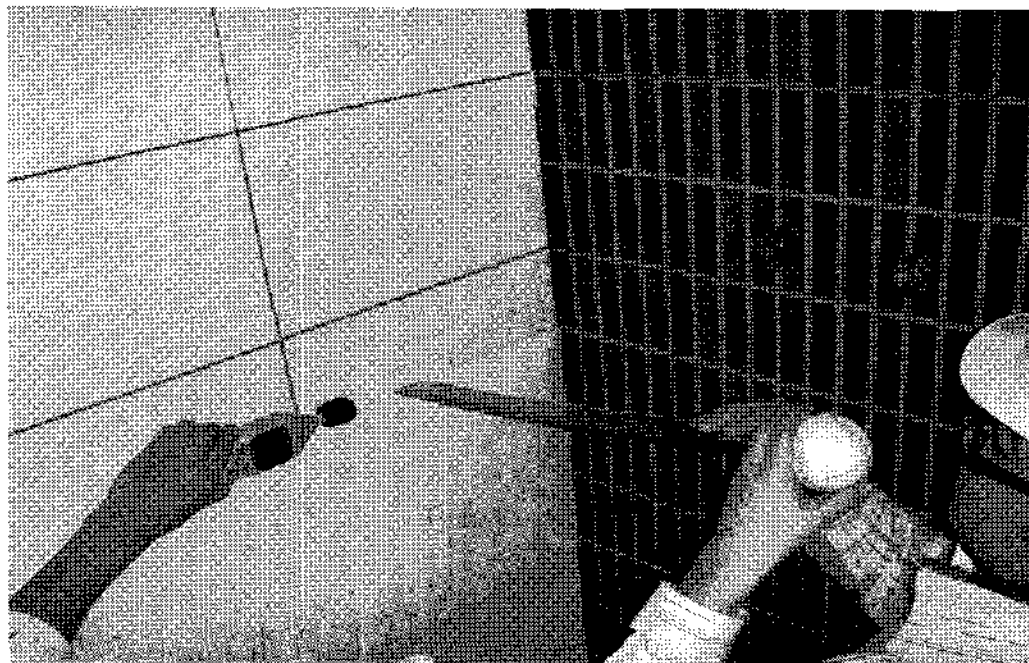


그림 6. 간격재 제거 측정

4.4 소음억제성능 비교

제 3장에서 기술한 바와 같이 적용가능성이 높은 폴리에스터(일반형)와 우레탄(계란판형)을 선정하였고, 현장실험을 통하여 소음억제 성능을 비교한다.

표 5는 연식 타격체로 습식과 건식욕실, 각 흡음재를 부착한 건식욕실에서 타격시 소음 크기를 측정한 값이다. 연식 타격체의 경우 그림 7과 같이 기존의 건식욕실과 흡음재 부착의 건식욕실 경우 종류와 상관없이 소음측정값의 변동폭이 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 이는 연식 타격체의 경우 흡음재의 재료와 성능에 대하여 판별이 부적당하다고 판단된다.

표 5. 타격 시 소음 크기(단위dB)

구분	하1	하2	하3	상1	상2	상3
습식욕실 (연식타격체)	64.0	64.1	64.6	60.9	62.2	60.8
건식욕실 (연식타격체)	80.9	80.6	82.1	83.8	88.7	96.0
우레탄 (연식타격체)	80.8	80.3	81.5	84.3	83.7	81.7
폴리에스터 (연식타격체)	83.6	80.0	81.6	82.0	80.6	79.6

표 6은 같은 조건으로 동일 실험을 경식 타격체로 측정한 소음 크기이다.

표 6. 타격 시 소음 크기(단위dB)

구분	하1	하2	하3	상1	상2	상3
습식욕실 (경구타격체)	79.6	77.3	78.8	65.5	66.5	67.7
건식욕실 (경구타격체)	93.5	101.4	103.8	103.8	105.7	106.1
우레탄 (경구타격체)	82.4	79.8	81.1	85.3	83.6	82.7
폴리에스터 (경구타격체)	93.3	96.7	91.4	95.7	97.1	93.5

표 6을 살펴보면 일반 건식욕실의 소음을 흡음재 부착 시 상당부분 소음억제 성능에 효과적인 것을 알 수 있다. 그러나 우레탄과 폴리에스터를 비교해보면 우레탄의 소음억제 성능은 하1~3에서 거의 습식욕실과 유사하며, 상1~3 부분에는 차이가 나고 있다. 이는 실험당시 현장의 공정상 천장부분을 조립하지 않았기 때문이고, 천장부분을 조립하면 그 효과는 습식욕실과 유사하게 나타날 것으로 판단된다.

4.5 생산성 및 경제적 타당성 분석

공장제작은 벽 패널 생산 시 흡음재를 부착하여 생산하도록 하고, 시공과정은 기존의 건식욕실 패널 공법과 동일하기 때문에 생산성은 기존 공법과 차이가 없는 것으로 판단된다. 경제성부문에서 습식공법과 건식공법을 비교 분석하기 위하여 선행 연구 되었던 UBR(Unit Bath Room)공동주택 욕실 건식화 공법(강재수 1994)에 대한 연구를 바탕으로 2300 × 1800의 규격의 화장실 1개소의 공사비산정을 인용하여 산정하였다.

선행 연구결과 습식공법의 초기 투자비용은 1,281,091원으로 계산되었으며, 건식공법의 초기 투자비용은 1,600,000원으로 계산되었다. 이에 본 연구에서는 기존 연구문헌에 유지관리비(교체·수선비)를 포함한 사용년한을 65년으로 책정하여 습식공법과 건식공법의 초기 투자비용과 유지 관리비·LCC(Life Cycle Cost)를 비교 분석하였다. 수선율·수선주기·교체주기는 주택법 시행령에 따랐고, 총 비용은 불변금액 기준이다.

초기투자비는 기존의 습식 공법에 비해 단위 원가는 상승하게 된다. 그러나 습식공법은 욕실의 대표적 유지관리 대상 항목인 방수공사의 경우 일부 수선을 위해서도 바닥 전체를 대상으로 교체해야 하나 건식공법의 경우 누수의 확률이 거의 없고 반영구적으로 사용이 가능한 방수판을 사용하기 때문에 수선비용이 발생하지 않는다. 또한 타일의 경우 수선주기 및 교체주기에 따른 보수 시 기존 시설물의 제거 및 부착에 어려

음이 발생하고, 이에 따른 수선비용의 상승이 발생할 수 있으나, 건식공법은 일부 수선부위만 가열 후 기존시설물의 제거하여 부착을 용이하게 할 수 있기 때문에 유지관리비를 절감할 수 있다.

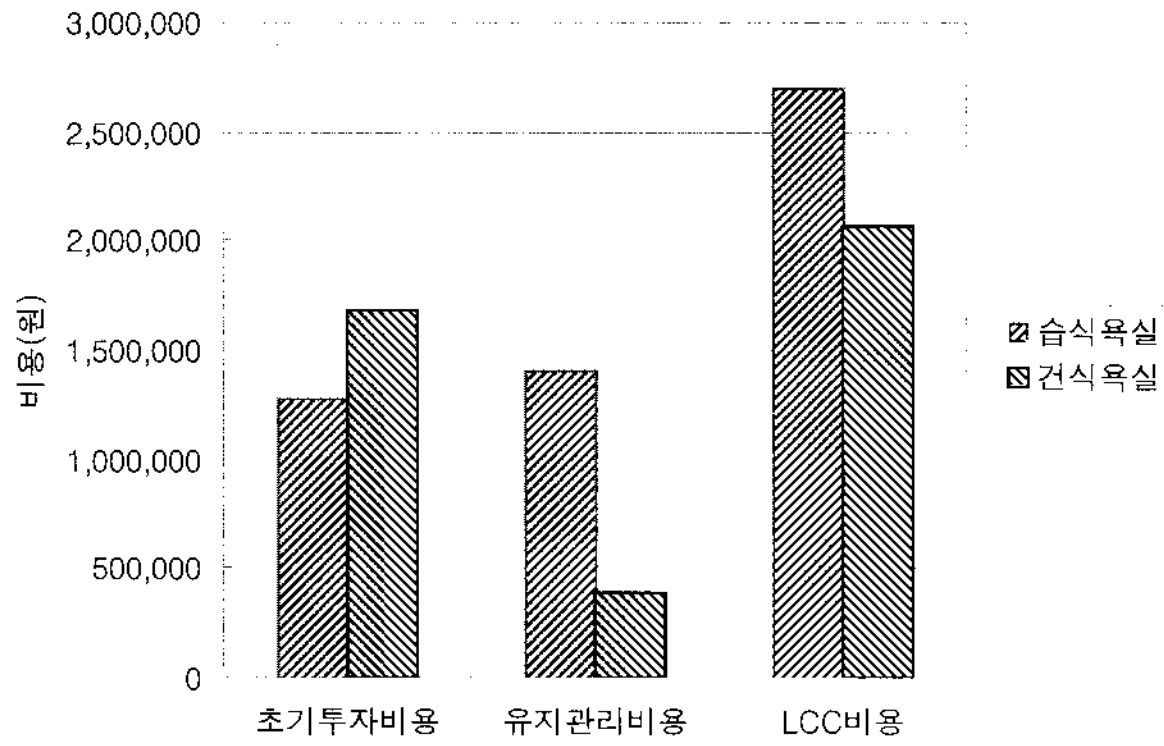


그림 7. 습식과 건식욕실의 LCC 비교

그림 7은 습식욕실과 건식욕실의 LCC 분석을 수행한 것으로 건식욕실은 습식욕실에 비해 초기 투자비용이 높게 나타나고 있으나, 유지관리 비용과 초기 투자비용을 합산한 LCC는 약 7.7% 절감되는 것으로 나타나고 있다.

최근 이슈가 되고 있는 리모델링 사업의 경우, 습식욕실은 전면교체를 하는 경우가 많으나, 건식욕실은 벽과 천정패널만 교체하면 되기 때문에 시공성·경제성 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

5. 결 론

최근 공업화된 건축부품을 이용한 건축생산은 다양한 제품과 공법 등의 개발로 품질이 향상되고 있고, 리모델링 및 유지관리 용이성으로 보급이 점차 확대되고 있는 추세이다. 공업화된 건축부품으로 대표되는 국내 건식욕실은 많은 장점에도 불구하고 소비자들의 건식공법에 따른 공명현상 기피로 10%미만의 저조한 시장 점유율을 보이고 있다.

이에 본 연구에서는 건식욕실 벽 패널의 소음을 억제하고자 흡음재의 종류 및 특성을 파악하여, 본 연구의 특성에 맞는 흡음재를 채택, 현장실험을 통하여 소음억제 성능을 확인하였다. 실험결과 소음억제는 흡음재의 성능에 따라 크게 좌우되었으며, 표 6과 같이 우레탄(계란판형)이 폴리에스터에 비하여 소음억제 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 습식욕실 대비 초기 투자비용이 상대적으로 많이 소요되는 건식욕실의 LCC를 분석한 결과 습식공법보다 LCC비용은 약 7.7%가 절감되는 것

으로 파악되었다.

소음억제 성능이 우수한 것으로 나타난 우레탄(계란판형)을 활용하여 건식욕실 벽 패널의 시작용 제작 및 보급이 활성화되면 리모델링 및 유지관리가 용이한 합리적인 건식욕실 보급이 확대가 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 강재수, UBR(Unit Bath Room)공동주택 욕실 건식화 공법, 대림산업기술연구소, pp.36~49. 1994. 03.
2. 김홍식, 김하근. 황수업, 화장실 소음 저감 방안연구, 대한주택공사, pp.22~67, 1996. 12.
3. 박소희, 유호천. 공동주택 급배수설비 소음저감방식, 대한건축학회 학술발표논문집 v.25 n.1, pp.483~486, 2005. 10.
4. 이태강, 정진연, 김선우, 석고판 경량 칸막이 벽체의 구성방법에 따른 차음성능에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 v.21 n.2, pp.189~196, 2005. 02.
5. 이현상, 김상호, 김수암, 건식욕실의 적용 및 보급 활성화를 위한 방안연구, 대한건축학회 논문집 v.18 n.3, pp.63~70, 2002. 03.
6. 전진용, 정정호, 박해준, 바닥, 벽, 천장 차음시공에 따른 충격음의 청감평가, 대한건축학회 논문집 v.18 v.2, pp.169~176, 2002. 12.
7. 조규수, 내수성능과 방수효과를 향상한 건식벽체, 대림정보기술, pp.117~121, 2003. 06.
8. D.H Moon and M.S. choi. Vibration analysis for frame structures using transfer of dynamic stiffness coefficient, Journal of Sound and Vibration 234(5), pp.725~736. 2000.
9. I.L. Ver. Impact noise isolation of composite floors, JASA, Vol.50 No.4. 1970.

(접수 2008. 3. 24, 심사 2008. 4. 11, 게재확정 2008. 5. 22)