

급배수소음의 발생원인과 방지대책

Emission and suppression of plumbing system noise

양 관 섭
K. S. Yang

한국건설기술연구원 건축계획연구실



- 1961년생
- 건축환경중·음환경을 전공하였으며, 공동주택의 소음저감대책과 도로교통소음에 관심이 있다.

1. 머리말

공동주택과 같이 한 장의 벽 또는 바닥 사이에 두고 다수의 세대가 생활하는 건축물에서의 음환경성능은 거주환경의 쾌적성 확보와 밀접한 관계에 있다. 더구나 최근에는 생활수준의 향상과 더불어 음환경에 대한 거주자의 요구수준이 다양화, 고도화되고 있음에도 불구하고 물량위주의 정책이나 관행에 의한 시공, 지나친 경제성 추구 등으로 인해 소홀히 취급되고 있는 느낌이다. 그 중에서도 특히 물을 사용하므로써 야기되는 급배수소음은 소음원에 따라 발생소음레벨은 다르나, 그 중에서도 소음이 크다고 인식되고 있는 변기배수시의 소음레벨을 직하층 침실에서 측정된 결과에 따르면, 측정대상 아파트의 대부분이 실내허용소음 기준으로 권장되고 있는 40dB(A)를 넘고 있는 것으로 조사되고 있다. 이러한 크기의 소음레벨은 경우에 따라 무시될 수 있는 수준이나 주변이 조용한 야간이나 새벽에 들릴 경우에는 동일한 소음레벨에 대해서도 느끼는 정도가 달라진다. 이러한 이유에서 급배수소음이 공동주택의 내부소음원에 대한 거주자 반응을 조사한 결과에서도 주요 소음원으로서 지적되고 있다. 그러나 이들 급배수소음은 시공상의 번잡함

이나 추가공사비 소요, 설계 및 시공자의 인식부족 등으로 인해 대책이 있음에도 불구하고 현장에 제대로 적용되지 않고 있다. 따라서 본 고에서는 급배수설비 소음문제에 대한 관심을 제고하고 이의 해결을 위해 노력하시는 분들께 다소나마 도움을 드리고자 급배수소음의 발생원인과 대책을 중심으로 설명하고자 한다.

2. 급배수소음의 주요 발생원과 특성

2.1 소음방지설계의 대상음

급배수관 계통에서 발생하는 소음은 급수압과 관내유속에 관련되어 급수전, 밸브, 변기, 트랩, 관의 연결부와 분기부 등에서 유체의 흐름에 의해 발생한 진동이 주된 원인이다. 또한 발생소음이 음원실만이 아니고 인접실(세대) 등 타공간에 미치는 영향의 정도는 배관방법, 배관재료, 파이프사프트의 위치, 건축구법, 실내마감, 음의 방사면적 등에 따라 다르다.

이와 같이 소음이 실내에 방사되기까지의 과정에서 각종의 건축적이고 설비적인 요인이 종합되어 작용하나, 수압과 유량 등 사용상의 요인도 소음 발생량에 큰 영향을 미친다.

일반적으로 설비설계 혹은 소음방지설계의 대

상이 되는 급배수소음에는 다음과 같은 종류가 있다.

- ① 급수기구(급수전, 세정탱크용 볼탭, 지수전, 세정밸브 등)의 사용에 따른 물의 흐름에 의해 급수기구(접속되어 있는 관이나 세정탱크 등을 포함) 내부에서 발생한 소음이 기구표면으로부터 실내에 직접 방사되는 소음(공기전달음)
- ② 급수기구에서 발생한 소음·진동이 급수관로계에 전달되고 관로계로부터 다시 건물구조체에 전달되어 건물구조체 즉, 벽이나 바닥의 실내표면에서 실내로 방사되는 소음(고체전달음)
- ③ 급수기구로부터 토수시 물의 흐름에 의해 욕조, 세면기 및 수면에 부딪쳐 실내에 방사되는 소음(공기전달음)
- ④ 급수기구로부터 토수시 물의 흐름에 따른 충격에 의해 욕조 등에서 발생한 소음·진동이 건물구조체 바닥에 전달되어 아래층의 천장면으로부터 실내에 방사되는 소음(고체전달음)
- ⑤ 변기 세정시 배수되는 물의 흐름에 의해 변기나 배수관벽 등으로부터 실내에 직접 방사되는 소음(공기전달음)
- ⑥ 변기나 배수관로에서 발생한 소음·진동이 건물구조체를 통해 벽이나 바닥의 실내표

면으로부터 실내에 방사되는 소음(고체전달음)

이들 급배수소음은 개개의 소음원 또는 소음을 일으키는 개개의 요소만에 의해 결정되는 것이 아니고 건축 및 설비설계조건이 각각에 관련되어 복합화된 결과로서 발생하며, 그림 1과 표 1은 급배수소음의 발생에 영향을 미치는 각 요인들을 나타낸 것이다.

2.2 소음원의 특성

(1) 급수전의 발생소음

급수전에 의해 발생하는 소음의 크기는 급수압과 토수량, 그리고 급수전의 종류에 따라 다른 것으로 조사되고 있다.

그림 2는 급수전의 밸브를 완전히 개방한 상태에서 측정된 급수전의 발생음레벨과 급수압과의 관계를 나타낸 것으로서 토수량이 일정하면 급수압의 상승에 따라 발생소음도 커진다는 것을 명확히 보여주고 있다. 또한 급수전의 종류는 물론 이거니와 동일한 형식의 급수전에서 조차 동일한 급수압에서의 발생소음 크기가 생산업체마다 다르게 나타나고 있다. 그러나 급수전의 발생소음 크기는 급수압만이 아니고 급수압과 토수량과의 상승효과이고, 토수량을 조절하기 위한 밸브의 개폐정도에도 관계된다. 그림 3은 일본의 大川平一郎이 측정된 급수전의 발생소음레벨과 급수압

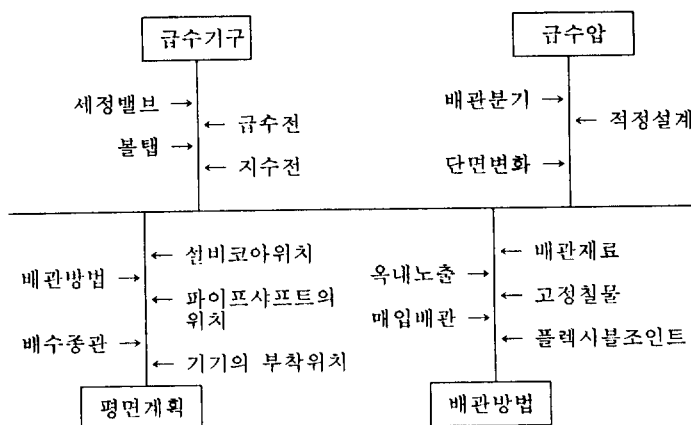


그림 1 급배수소음의 발생기구

표 1 급배수소음의 발생원인

구분	설비	발생원인	관계인자
급배수설비 자체	급배수설비 자체	流水振動	유속, 유량, 구성재료
		트랩진동	트랩구조, 통기상태, 유량
배관	배관	낙하수격진동	유수낙하속도, 유량, 배관재질
		공기흡입진동	통기상태, 유량, 환경
배관	배관	설비에서 전달	접합방법, 재질
		배관에서 전달	재질, 환경, 살두께, 접합방법
	건축구조체	설비에서 전달	부착방법, 질량, 강성
		배관에서 전달	배관방법, 재질
건축구조체	구조체내에서 전달	재료구조	
	구조체내에서 전달	재료구조	
급배수설비 자체	급배수설비 자체	유수진동음	구성재질, 구조
		트랩진동음	구조, 크기
	배관	낙하수격진동음	재질, 살두께
		공기흡입진동음	재질, 살두께
	건축구조체	진동전달에 의한 진동	면적, 질량, 강성, 감쇠특성
	마감재	진동전달에 의한 진동	면적, 질량, 강성, 감쇠특성

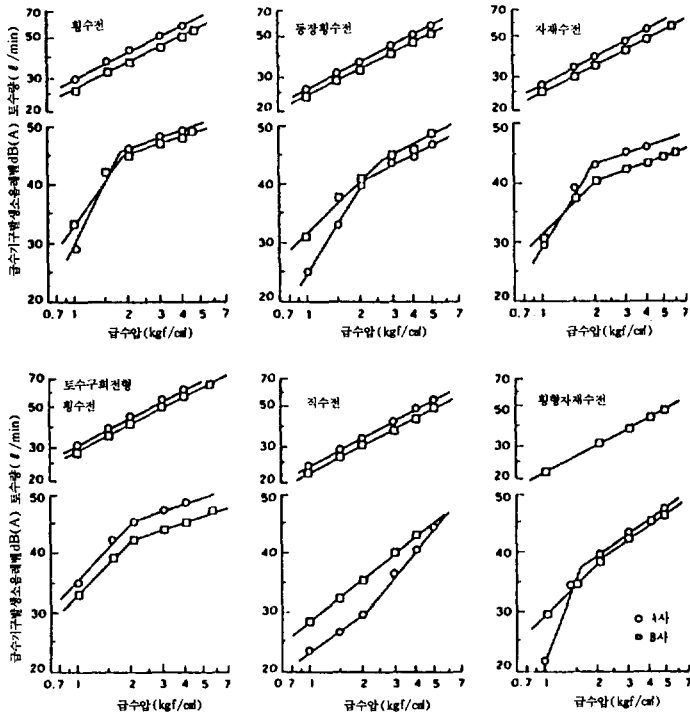


그림 2 급수전(단수전)의 발생소음 특성

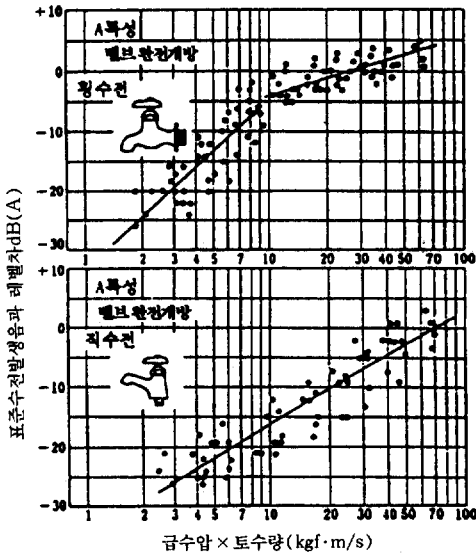


그림 3 급수전의 발생소음레벨과 급수압 x 토수량과의 관계

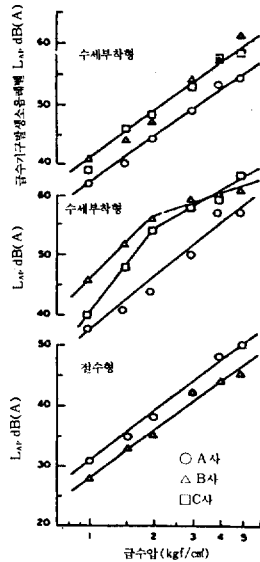


그림 4 불뿔 발생음에 미치는 급수압의 영향

및 토수량과의 관계를 나타낸 것으로서 유량을 일정하게 한 경우, 급수압을 줄임으로서 소음저감효과를 얻을 수 있는 것으로 분석되고 있다.

(2) 변기 세정용 불뿔의 발생소음

불뿔의 발생소음은 급수압, 순간최대유량, 세정탱크의 형상이나 유량조절 및 보수점검을 위한 지수전에 의해 결정된다.

그림 4는 지수전으로 순간최대유량을 규정하지 않았을 때 불뿔의 발생소음과 급수압과의 관계를 측정 한 사례로서 급수전과 마찬가지로 소음발생 레벨이 급수압에 의존하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 불뿔의 발생소음은 급수압 이외에도 불뿔을 흐르는 물의 순간최대유량이 발생음레벨에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그림 5는 불뿔 발생음에 미치는 순간최대유량의 영향을 측정 한 사례로서, 순간최대유량이 많을수록 토수계속 시간은 짧아지나 급수기구 발생음레벨은 커지는 것으로 나타났다. 따라서 토수계속시간을 길게 하고 순간최대유량을 적게 하면 발생소음이 작아지게 된다.

(3) 기구 주변의 급배수소음

급배수기구 주변에서 발생하는 급배수소음으로

서는 급수전과 불뿔 이외에도 다음과 같은 여러 가지 소음원이 있다.

1) 수면 및 기구를 두드리는 음

급수기구로부터 물을 받을 때, 토수시 물의 흐름에 의해 욕조, 세면기 및 수면 등에 부딪쳐 발생하는 음으로서 토수방법을 조절하면 큰 문제는 없다.

2) 배수음

① 관내의 흐름에 의한 음

배수입관에 있어서 간헐적으로 배수되는 물과 공기가 서로 섞이는 등의 매우 불규칙적인 흐름에 의해 발생하는데, 대부분은 파이프사프트에 배수관을 수납하므로써 방지할 수 있다.

② 트랩에서 발생하는 음

배수입관내에 물막힘이 발생하여 관내압력이 급속하게 변동하므로써 트랩의 봉수가 오르내리거나 또는 회전할 때 발생하는 음으로서 최근 공동주택의 고층화와 급탕설비의 보급 및 합성세제 보급에 의하여 문제가 증대되고 있는데, 이는 적절한 환경·통기방식에 의해 방지할 수 있다.

(4) 관로계의 발생소음

1) 유수음

유속이 매우 빠른 급수관계통에서 발생하는 것으로서 이를 줄이기 위해서는 유속 및 배관경로 등에 대해 설계상의 배려가 필요하다.

2) 진동 및 캐비테이션에 의한 발생소음

급수관의 중간에 밸브류가 존재하는 경우에 진공현상이 일어나는 경우가 있는데, 이 현상에 의해 배관이 진동하여 발생하는 것이다. 이런 종류의 발생소음을 줄이기 위해서는 유속이나 배관

고정방법에 대한 배려가 필요하다.

3) 관의 신축에 의한 음

급탕설비의 보급과 주생활의 변화에 의해 온수의 사용빈도가 높아짐에 따라 온수에 의한 관의 신축에 의해 발생하는 음이다.

3. 급배수소음의 저감대책

사용중인 건물에서 발생한 급배수소음 문제를 해결하기 위해서는 재시공이나 기구의 교체가 불가피한 경우가 많다. 그러나 시공이 완료된 급배수설비는 공사의 특성상 교체나 재시공이 불가능한 경우가 많기 때문에 급배수설비에 의해 소음 문제가 발생하지 않도록 건물의 설계단계부터 이를 충분히 고려해야 한다. 다음은 급배수소음의 저감방안을 정리한 것이며, 그림 6은 설비설계 및 소음방지설계시 기본적으로 고려해야 할 사항들을 단계별로 정리한 급배수설비소음 방지 흐름도이다.

- 건축평면 계획시 고려사항 : 파이프사프트의 위치, 설비코아의 위치, 급수기구(급수전, 세정밸브, 볼탭등)와 위생기구(변기, 욕조, 세면기등)의 부착위치 및 방법
- 급수계통에서 소음원으로 되는 급수기구의 선정 및 설계조건에 관한 사항 : 발생소음이 작은 기구의 선정과 설계시 적정한 급수압 및 토수량의 설정

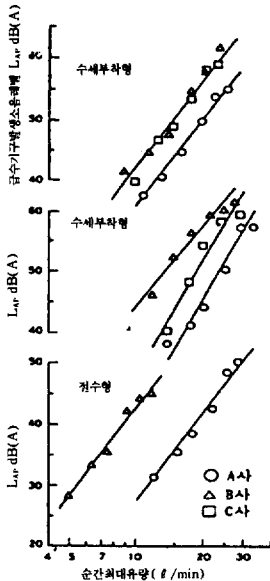


그림 5 볼탭 발생음에 미치는 순간최대유량의 영향

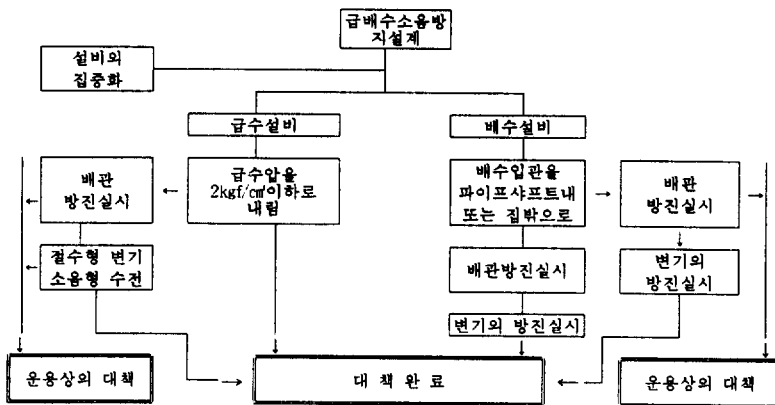


그림 6 급배수소음 방지흐름도

- 발생소음의 전달경로로 되는 배관공법상의 대책 : 횡지판 및 입상관의 배관공법

3.1 건축평면계획상의 배려

(1) 파이프샤프트의 위치

파이프샤프트가 침실 등에 인접해 설치되어 있을 때, 특히 샤프트벽이 침실과 공유되어 있는 경우에 소음의 영향은 크다. 따라서 파이프샤프트는 가능한 한 침실 등 소음원으로부터 격리해야 할 공간으로부터 멀리 배치한다. 그리고 샤프트내 배관의 고정철물에 완충재를 병용하면 방진 효과로 인해 진동전달이 억제되어 방사음이 저감되나 근본적인 해결책은 될 수 없다.

(2) 설비코아의 위치

주방이나 변소, 욕실 등 급수기구나 위생기구가 집중되어 있는 설비코아를 설치할 때, 급배수관의 배관방법에도 밀접한 관련이 있으나 동일층이나 상하층 사이의 상호 공간과의 위치관계가 부적절한 경우에는 파이프샤프트보다 더욱 큰 문제를 일으킨다. 따라서 동일 공간에서는 설비코아의 위치를 가급적 침실 등으로부터 이격시켜 배치하는 것이 바람직하다. 그리고 상하 및 좌우 인접세대의 주요 침실과 인접되지 않도록 설비코아의 위치를 선정하는 것이 바람직하다.

(3) 급수기구나 위생기구의 부착위치 및 방법

급수기구나 위생기구가 인접하는 침실 등의 벽면에 가능한 한 배치되지 않도록 계획초기부터 주의해야 하며, 부득이하게 배치하고자 할 경우에는 소음전달이 최소화되도록 방진대책을 수립한다.

3.2 급수기구의 선정 및 설계조건

(1) 급수압력의 조정 및 토수량의 적정화

급수관 계통의 소음은 주로 유체의 진동에 의해 발생하기 때문에 유체의 진동을 억제시킬 필요가 있다. 따라서 급수압력 및 토수량을 적정하게 조절하는 것은 급수계통의 소음저감을 위한 가장 기본적인 대책이다.

그림 3의 측정사례에서 알 수 있듯이 급수압 및 토수량과 발생소음과는 일정한 관계가 있으며, 급수압 또는 토수량을 줄임에 따라 발생소음

은 작아진다. 이러한 측정자료를 참고할 때 급수압은 1.5~2kgf/cm 이하, 급수전의 토수량은 30 l/min으로 조정하는 것이 바람직하다. 급수압의 조정방법으로서는 급수계통의 조닝과 감압밸브를 각층 또는 각 세대별 급수관로에 설치하는 방법이 일반적이다. 급수압의 조절을 목적으로 급수관로계에 사용하는 감압밸브는 내구성이 양호하고 압력조정 특성과 감압밸브 발생소음의 크기가 명확한 것을 채용할 필요가 있다.

(2) 급수기구 선정에 의한 소음저감

1) 급수전의 선정에 의한 소음저감

주방이나 화장실에 사용되고 있는 급수전은 KS규격에 적합한 제품이 대부분이나 저소음형으로 특별히 제작된 경우는 거의 없다고 해도 과언이 아니다. 그러나 포말식 급수전은 토수량이 밸브를 완전히 열었을 때 일반 급수전에 비해 토수량이 1/2정도로 줄어들기 때문에 발생소음레벨이 상당히 줄어드는 것으로 분석되고 있다. 따라서 급수전의 선정에 의한 소음저감수법으로서는 포말식 급수전의 사용이 효과적인 방법이라 판단된다. 그러나 일반적인 급수전을 사용하는 경우에는 소음저감에 한계가 있기 때문에 급수압이나 토수량을 적절하게 조절하는 것이 더욱 효과적인 방법이라 할 수 있다.

2) 변기 세정용 볼탭의 소음대책

공동주택이나 호텔 등에서 변기 세정탱크에의 급수방식은 로우탱크방식이 매우 일반적이다. 이 로우탱크방식의 급수기구로 볼탭이 사용되고 있으나 세정탱크에의 급수시 볼탭에 의한 발생소음이 고체전달음으로서 관로계에 전달되어 인접 세대나 인접실에 영향을 미치기 때문에 일반형보다는 절수형(저소음형) 볼탭을 채용하는 것이 바람직하다.

(3) 수격작용의 방지

급수전이나 밸브 등으로 관내 유체의 흐름을 순간적으로 막게 되면 관내에는 이상압력의 발생으로 배관, 이음쇠, 밸브류, 기기류를 진동시키거나 충격음을 발생시켜 거주자에게 피해를 주는 것은 물론 배관계통의 수명을 단축시키고 구조체에 손상을 주며, 누수의 원인이 되기도 하는 수격작용이 발생한다.

이를 방지하기 위해서는 급수관과 동일한 관경 또는 1구경 큰 에어 챔버를 설치한다. 이 때 에어 챔버내에 공기보급이 정기적으로 행해지지 않으면 공기가 수중에 용입되어 효과가 없어지므로 주의를 요한다. 특히 급수압이 높을 경우에는 수격작용이 발생할 가능성이 높기 때문에 반드시 에어 챔버나 수격방지기를 수전 가까이에 설치한다.

3.3 배관공법 및 시공상의 대책

(1) 배관고정방법

건물구조체에 직접 접촉하지 않도록 배관 지지부와 벽 및 바닥의 관통부에 완충재를 사용하고 또한 매립배관을 피하는 등의 적절한 조치를 취하는 것이 필요하다. 특히 주호내 배관에 대해서는 파이프샤프트의 위치가 건물의 평면계획시 고려된다는 것을 전제로 하면, 파이프샤프트로부터 주호내로 연결되는 배관에 대해서는 다음과 같은 사항에 주의하여야 한다.

- ① 거실 및 침실의 벽에 급수관을 고정하는 것을 피한다. 부득이하게 고정하는 경우에는 관벽으로부터 소음 및 진동의 전달을 줄여 줄 수 있는 배관공법(방진공법)을 채용한다.
- ② 급수전으로부터 가까운 위치의 급수관에 그림 8의 예처럼 플렉시블 부-스등을 삽입하여 급수기기 자체로부터 급수관에 소음 및 진동이 전달되지 않도록 한다.
- ③ 급배수입상관은 파이프샤프트내에 둔다. 파이프샤프트는 거실이나 침실로부터 가능한

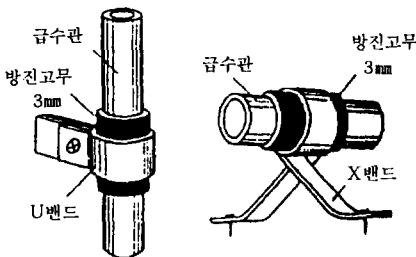


그림 7 배관 지지철물의 절연공법 예

한 멀리 배치하며, 그 구조는 콘크리트조 또는 콘크리트블럭이나 시멘트벽돌의 모르타바름으로 한다. 파이프샤프트내에 배관을 지지할 경우에는 해당부분의 나관을 방진 고무나 유리면 카바 등의 방진재로 감싼 후 U밴드 등을 사용하여 벽에 고정시킨다(그림 7 참조).

- ④ 매립배관 공법은 가능한 한 채용하지 않는다. 부득이하게 급배수관을 벽이나 바닥에 매립할 경우에는 구조체와 직접 접촉되지 않도록 방진고무나 유리면 또는 암면으로 만든 배관용 피복재(방진재)로 감싸고 방식테이프를 감은 후 모르타르로 되메운다.
- ⑤ 급배수배관이 벽이나 바닥을 관통할 경우에는 밴드로 지지하는 것보다 접촉면적이 더욱 커지기 때문에 보다 유연한 재료를 사용하여 방진처리하며, 방화성능을 필요로 하는 경우에는 암면 등을 충전한다. 그림 9와 같이 15mm 두께의 방진고무로 절연하면 급수압이 높은 경우에는 모르타르를 충전한 경우에 비해 직하실에 대해 2~8KHz에서의 20~30dB, 1KHz에서는 약 10dB의 저감효과가 있는 것으로 분석되고 있다.

(2) 배수관의 차음성 향상

급수관에서 관벽으로부터 방사음이 문제로 되는 예는 별로 없으나 배수관에서는 대부분이 문제로 된다.

배수소음에는 오물 낙하시에 발생하는 교체 전달음 외에 배수시에 배수관벽으로부터 방사되는

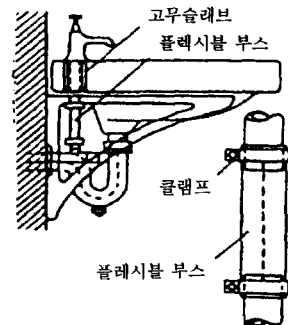


그림 8 급수관에 부착된 방진플렉시블 튜브의 예

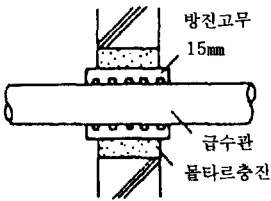


그림 9 벽체 관통부분의 절연공법 예

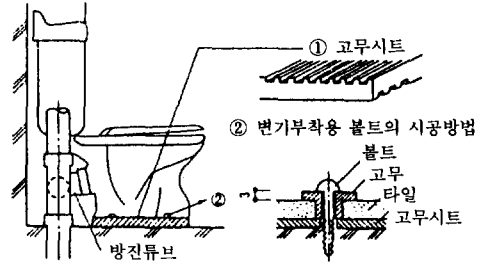


그림 11 변기와 바닥사이의 절연공법

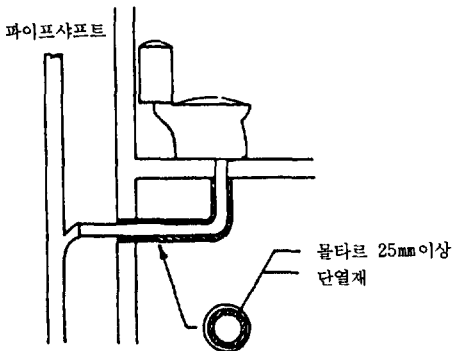


그림 10 배수관의 차음대책 예

공기전달음이 있다. 그러나 고체전달음은 배관 지지철물이나 관통부 등의 방진처리에 의해 저감시킬 수 있다. 그러나 배수관이 변소 등에 노출되어 있는 경우에는 관벽으로부터 발생하는 공기 전달음을 저감시키기 위해 관벽에 차음재를 설치하거나 저소음형 배수관을 선정하여 시공하는 등의 소음저감대책을 마련해야 한다.

그림 10은 일본 공기조화위생공학회에서 배수관의 차음성 향상을 위해 제안하고 있는 방법을 나타낸 것이다.

(3) 시공상의 대책

1) 변기 및 욕조의 설치방법

변기 세정시나 욕조 급수시에 수류에 의해 발생한 진동이 벽이나 바닥에 직접 전달되지 않도록 그림 11의 예처럼 변기나 욕조 하부와 바닥 사이에 고무시트등을 설치하는 것이 바람직하다. 이와 더불어 변기와 배수관 사이에 플렉시블관을 설치한 저감공법을 사용하면 변기불뿔 급수시 진동이 변기로부터 바닥에 전달되어 발생하는

급수소음 뿐만 아니라 배수소음도 동시에 줄일 수 있다.

2) 당해층 배관방식 도입

슬라브에 배관을 위한 슬리브를 뚫어 아래층의 천장속에 배관하는 현행 시공방식을 콘크리트 슬라브 위에 노출배관을 한 후 시멘트 모르타르 받침대를 설치하고 조립식 욕실을 설치하는 당해층 배관방식으로 변경할 경우 직하세대로 전달되는 소음레벨을 약 11dB(A) 정도 줄일 수 있는 것으로 분석되고 있다.

3) 시공시 확인사항

설비설계시 반영된 소음저감대책이 제대로 효과를 발휘하기 위해서는 시공시 세심한 배려와 확인이 필요하다. 즉, 완충재가 적절하게 설치되어 있는가, 볼트나 연결철물이 이물질(금속조각이나 콘크리트 조각등)에 의해 구조체 등과 단락되어 있지 아니한가, 배관이 모르타르에 매립되어 있지 아니한가 등을 확인할 필요가 있는데, 다음은 설계와 관련하여 시공시 확인하여야 할 구체적인 항목을 나타낸 것이다.

- 급수입상관의 파이프사프트내 지지점
- 급배수입상관의 바닥이나 벽의 관통부
- 수도계량기의 설치 상태
- 세대내 횡지관 고정부위
- 세대내 입상관 고정부위
- 세대내 배수관의 차음과 고정부위
- 양변기, 수전, 트랩류의 설치 상태

4. 맺음말

공동주택은 말 그대로 하나의 건물에 불특정

다수가 생활하기 때문에 바닥충격음이나 급배수소음 등 음향성능상의 문제가 다른 건물에 비해 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서 각국에서는 음향성능상의 문제가 발생하지 않도록 설계나 시공시 세심한 배려를 하고 있다. 그러나 우리나라는 그동안 주택의 질보다는 양에 치중하는 정책으로 인해 세세한 주택성능까지 고려할 여유가 없었으나 생활수준이 향상되고 거주자의 요구가 다양해지고 있는 현상하에서는 어떤 방법으로도 대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다. 이러한 취지에서 음향성능중 아직까지도 소홀하게 취급되고 있고, 또한 종래의 설계방식이나 배관방식으로서의 한계가 있는 급배수소음을 대상으로 그 발생원인과 방지대책에 대해 설명하였다.

그러나 이러한 저감대책이 현장에 제대로 적용되기 위해서는 성능향상을 유도해야 하는 정부, 양질의 품질을 제조·공급해야 하는 생산자, 문제가 발생하지 않도록 설계·시공해야 하는 설계자 및 시공자 모두의 노력이 필요하다. 먼저, 성능향상을 유도해야 하는 정부는 다소 낮은 감이 있으나 설비설계자, 급수기구 생산자, 시공자가 성능달성 목표로 삼을 수 있는 기준이나 규격, 지침 등을 제시해야 한다. 이와 더불어 급수기구 생산자는 급배수소음에

영향을 크게 미치는 급수기구에 대해 저소음화 방안을 강구해야 하고, 시공업체는 급배수소음을 줄일 수 있는 배관공법 등의 시공법을 현장에 적용해야 할 것이다. 이러한 노력들이 동시에 이루어지면 공동주택 등에서의 급배수소음 문제는 충분히 해결할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국소음진동공학회, 1995, pp. 191~251.
2. 대한주택공사, 1991, 공동주택 내부소음 기준설정 연구(II) -급배수설비소음 및 실간 차음성능 기준-
3. 日本音響材料協會 編, 1982, 騒音・振動對策ハンドブック, 技報堂出版.
4. 大川平一郎, 坂井知佐子, 1988. 12月號特輯, 給排水設備, 建築技術, Vol.1, No. 449.
5. Evelyn R. Robinson and Peter Lord 譯, 1964, Room and Building Acoustics and Noise Abatement, Butterworth & Co. LTD., London.
6. 日本建築學會 環境工學委員會 建物の音響設計分科會, 1983, 建築の音環境設計, 彰國社.