

대변기 세정시 발생하는 배수소음의 특성변화에 관한 연구

설 수 환, 정 철 운*, 김 재 수†
*원광대학교 대학원 건축공학과, 원광대학교 건축학부

A Study on Changes in Characteristics of Drainage Noise from Water Closet Washing

Soo-Hwan Soul, Chul-Woon Jung*, Jae-Soo Kim†

*Department of Architectural Engineering, Graduate School, Wonkwang University, Iksan Shin-yong Dong, Korea
Division of Architecture, Wonkwang University, Iksan Shin-yong Dong, Korea

(Received July 13, 2007; revision received October 18, 2007)

ABSTRACT: It has been noted, in case of the apartments in collective form, the drainage noise from cleaning of toilet causes many problems in the basement and adjacent rooms, mainly hampering the pleasant housing environment. The problems are increasingly raised by civil complaints with the public offices. Therefore, if the drainage noise generates when wash out of toilet bowl is grasped how the characteristics change according to the sorts of drainpipe, it is considered that the establishment of an effective sound insulation countermeasure could be possible when a civil petition against the drainage noise of apartment house is submitted hereafter. On such viewpoint, this study measured and analyzed the characteristics of drainage noise per the type of drainage pipe, according to KS A ISO 1996-1~3, with the horizontal branch pipe and riser pipes in the drainage noise experiment chamber which has the characteristics of the anechoic room. In the result, the pipe type with excellent noise reduction function. The result of this study is considered to become available as fundamental data, to take actions on reduction of drainage noise of the ceiling piping method.

Key words: Drainage noise(배수소음), Sound pressure level(음압레벨), Frequency characteristics (주파수 특성)

1. 서 론

최근 국민의 의식수준 향상과 더불어 쾌적한 주거환경에 대한 욕구가 증대됨에 따라 생활소음에 대한 민원발생이 증가하고 있는 실정이다.

특히 우리나라의 대표적인 집합주거 형태라고

할 수 있는 공동주택은 그 구조상 각 세대가 벽과 바닥을 공유하고 있어 세대 간 소음과 진동으로 인한 여러 가지 문제가 필연적으로 나타나고 있다.

그 중 욕실의 대변기 배수소음은 심야에도 빈번히 발생하여 직하실과 인접실에 많은 피해를 주고 있어 주거의 쾌적성을 악화시키는 주된 요인으로 대두되게 됨에 따라 적절한 대책수립이 필요하게 되었다.

하지만 급·배수 계통의 설비소음은 공기음 및

† Corresponding author
Tel.: +82-63-857-6712; fax: +82-63-843-0782
E-mail address: soundpro@wonkwang.ac.kr

고체음의 복합적인 형태로 전달되기 때문에 그 정확한 경로의 파악이 어려워 욕실 급·배수소음에 대한 체계적 연구와 이를 토대로 한 효과적인 대책마련이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 대변기 세정시 발생하는 배수소음이 배수관의 종류에 따라 어떠한 특성으로 변화하는지를 파악한다면 향후 공동주택의 배수소음에 의한 민원발생시 실효성 있는 차음대책을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 무향실의 특성

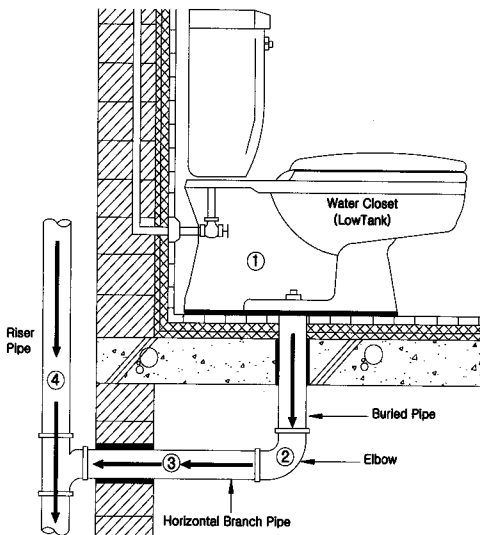


Fig. 1 Drainage distribution diagram of water closet in apartment house.

Table 1 Characteristics of noise source that generates when wash away of water closet

Noise generating location	Noise generating characteristics
①	Water closet washing sound and draining sound
②	Draining thing and lower floor impact noise of elbow
③	Frictional flow sound passing through inner wall of horizontal branch pipe
④	Frictional flow sound by free fall down through inner wall of riser pipe

을 갖는 배수소음 실험실에서 횡지관과 입상관을 대상으로 배수관 종류에 따른 배수소음의 특성을 측정·분석하였으며 이를 토대로 향후 천장배관 방식의 배수소음 저감대책을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 대변기 세정시 배수계통 및 특성

공동주택 욕실에 위치한 대변기(Low tank)의 배수 계통도는 Fig. 1과 같다.⁽¹⁾

Fig. 1의 배수 계통도를 살펴보면 대변기의 세정시 바닥슬래브의 매립관을 통과하여 직하층 천장에 위치한 엘보 및 횡지관을 지나 입상관으로 배수됨을 알 수 있다. 이러한 배관계통에서 발생하는 소음 특성은 다음 Table 1과 같다.

3. 측정방법 및 개요

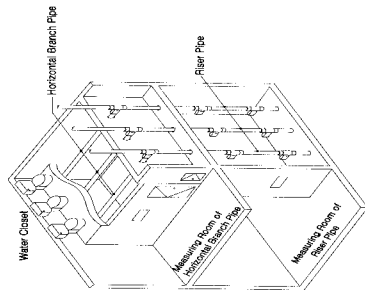
3.1 연구대상 실험실 개요

본 실험에 사용된 배수소음 실험실은 U대학에 설치되어 운영 중인 실험실이며 횡지관과 입상관을 측정할 수 있는 각각의 반무향실 2개 층으로 나뉘어 있는 형태이다. 실험실의 내부는 흡음재가 설치되어 반사음에 대한 영향을 최소화 할 수 있도록 되어 있다. 또한 대변기 3개가 각각의 배관으로 연결되어 횡지관의 연결부를 쉽게 탈·부착 할 수 있도록 구성되어 있고 입상관은 3개의 종류가 고정되어 있는 형태이다. 다음 Table 2와 Fig. 2는 배수소음 실험실의 제원 및 구성을 나타내고 있다.

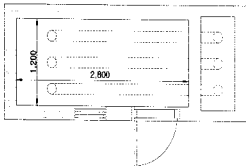
측정대상 배관은 횡지관의 특성을 파악하기 위해 VG-2, 이중관 및 2040방음관을 선정하였고, 매립관과 횡지관의 이음관은 삼중엘보, DRF이음관 및 2040장곡관과 단곡관을 사용하였다. 또한

Table 2 Specification of laboratory for drainage noise

Measuring room	Measuring room for horizontal branch pipe	Measuring room for riser pipe
Dimensions	2.8 m × 1.2 m × 2.2 m	1.25 m × 1.45 m × 3.3 m
Cubic volume	7.39 m ³	5.98 m ³



(a) Constitution diagram of laboratory



(b) Measuring room for horizontal branch pipe



(c) Measuring room for riser pipe

Fig. 2 Constitution of laboratory for drainage noise.

입상관의 특성을 파악하기 위해 2040방음관, 스피관 및 이중스핀관에 이중섹스티아로 연결을 하였으며, 관경은 100mm를 사용하였다. 이러한 구성재의 배정은 경제적이고 구입이 용이하며, 국내 공동주택에서 현장 시공실적이 많은 점을 고려하여 선정하였다.

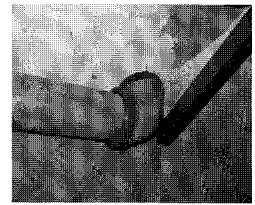
다음 Table 3과 Fig. 3은 실험대상 배관의 구성 및 종류를 정리한 것이다.

Table 3 Composition of piping in experimental subject

Title	Horizontal branch pipe	Riser pipe	Remarks
Type 1	Dual tube+Triple elbow	2040Soundproof tube+ Dual sextia	Improvement-typed Piping
Type 2	VG-2+DRF	Spin tube+ Dual sextia	Existing Pipe-laying
Type 3	VG-2+DRF+ 25T Pre-Insulated pipe	Dual Spin tube+ Dual sextia	
Type 4	2040Soundproof tube+ 2040Long bends	2040Soundproof tube+ Dual sextia	Improvement-typed Piping
Type 5	2040Soundproof tube+ 2040Short bends	2040Soundproof tube+ Dual sextia	



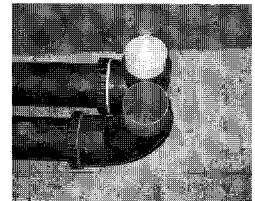
(a) Dual tube+ Triple elbow



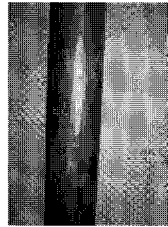
(b) VG-2+DRF



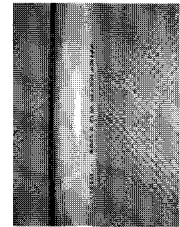
(c) VG-2+DRF+ 25T Pre-Insulated pipe



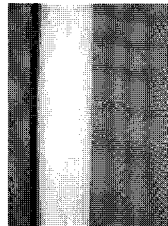
(d) 2040Soundproof tube+ 2040Long bends, Short bends



(e) 2040 Soundproof tube



(f) Spin tube



(g) Dual spin tube

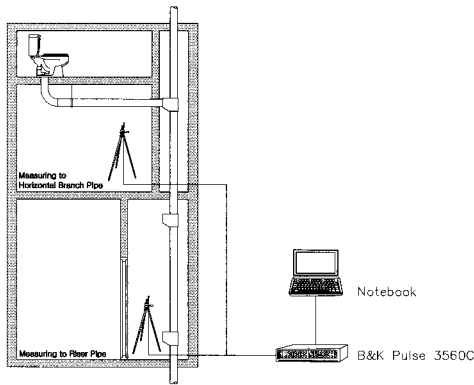


(h) Dual sextia

Fig. 3 Sort of piping in experimental object.

※ 배관설명

- VG-2 : 현장에서 널리 사용되는 폴리염화비닐 재질로 만든 배관
- DRF 이음관 : 2중 고무링이 있어 본드접합이 아닌 돌려서 집합. 수축팽창에 따른 누수가 없다.
- 2040관 : PVC 파이프 및 이음관 외면에 광물질 집합체로 구성된 차음재를 적용한 방음용 제품
- 이중스핀관 : 관 내면에 이중 스크류 모양으로 삼각 안내돌기를 설치한 배관
- 이중섹스티아 : 입상관 상부와 하부의 연결부에 이중으로 연결된 섹스티아방식
- 25T 방음보온관 : 글라스울재질의 25T 방음보온관



(a) Composition summary diagram for measuring equipment



(b) Measuring photograph of horizontal branch pipe (c) Measuring photograph of riser pipe

Fig. 4 Composition of measuring equipment and measuring photograph.

3.2 측정방법

배수소음 실험실내에서 배수관 종류에 따른 배수소음 특성을 파악하기 위해 Fig. 4와 같이 횡지관측정실과 입상관측정실의 음압레벨을 동시에 측정하였다.

배수관으로부터 발생하는 소음을 측정하기 위하여 대변기를 작동한 상태에서 횡지관 측정실과 입상관 측정실 내부에 각각 마이크로폰을 바닥면에서 1.5m 높이에 위치하도록 한 후 KS A ISO 1996-1~3(Description, measurement and assessment of environmental noise)에 의거하여 음압레벨을 측정하였다. 측정 및 분석은 B&K社의 Pulse Multi Analyzer System을 이용하였다. 본 연구의 주파수 분석은 50Hz~5,000Hz 범위의 1/3 옥타브밴드로 30초간 3회 측정한 평균값을 이용하여 분석하였으며 동시에 시간에 따른 음압레벨 변동 특성을 0.2초 간격으로 측정·분석하였다.

4. 분석 및 고찰

4.1 주파수 분석

4.1.1 횡지관의 종류에 따른 배수소음의 주파수 특성

배수 횡지관에서 발생하는 배수소음은 대변기 세정시 발생하는 많은 배수물이 일시에 엘보와 횡지관을 지나면서 유체마찰음을 발생시키며 직하층의 천장구조를 통해 그대로 전달되는 특성을 보인다.

본 배수소음 실험실에서 측정된 횡지관 종류에 따른 배수소음의 주파수별 특성을 비교하면 다음 Fig. 5와 같다.

또한 Fig. 6은 기존 공동주택에 주로 사용되고 있는 Type 2의 VG-2+DRF배관을 기준으로 하여 횡지관 종류별 소음레벨의 개선량을 비교한 것이다.

Fig. 5에서 배수횡지관의 종류에 따른 주파수

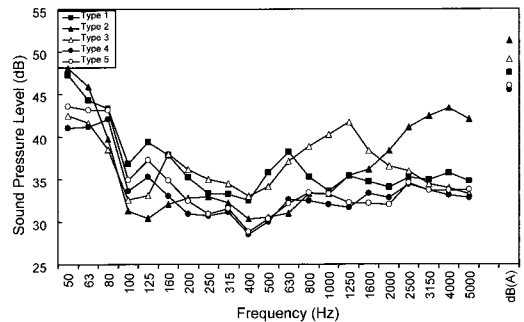


Fig. 5 Frequency characteristics by sorts of drainage horizontal branch pipe.

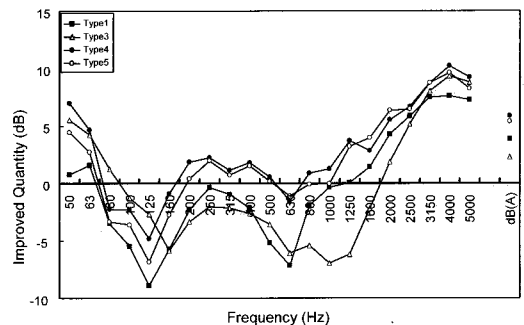


Fig. 6 Comparison with difference of improved quantity by sorts of horizontal branch pipe.

특성을 비교해 보면 5종류의 배관 모두 50~80Hz 대역에서 음압레벨이 높게 나타나며 이후 400Hz까지 낮아지는 특성을 보이고 있다. 그러나 기존 공동주택에 많이 사용하고 있는 배관형태인 Type 2와 Type 3의 경우는 고주파수 대역에서 개선형 배관에 비해 높은 음압레벨을 보이고 있으며, 특히 Type 2의 경우 고주파수 대역인 1,600~5,000Hz 대역에서 음압레벨이 증가하지만 여기에 그라스울 25T로 방음·보온을 한 Type 3은 보온재가 다공성 흡음재 이므로 고주파수 대역을 흡수하여 오히려 500~1,600Hz 대역이 높게 나타남을 알 수 있다.⁽²⁾

또한 동일한 배관재이나 엘보의 길이만 다른 Type 4와 Type 5는 서로 유사한 주파수 특성을 보이고 있으며 가장 낮은 배수소음 특성을 보이고 있다. 반면 기존 논문⁽³⁾에서 성능이 우수한 것으로 알려진 Type 1은 Type 4, Type 5보다 전 주파수 대역에 걸쳐 소음레벨이 높게 나타나며 특히 400~800Hz 대역에서 높게 나타나는 특성을 보이고 있다. 이는 공기층을 두고 있는 이중관의 특성상 특정 주파수 대역에서 음압레벨이 높아지는 반면 밀도가 높은 광물질 집합체인 차음시트가 부착된 Type 4와 Type 5가 배수소음에 보다 효과적인 것으로 사료된다.

Fig. 6에서 “개선량 0dB”의 굵은선은 Type 2의 주파수별 기준선이며, 이에 대하여 양의 값은 Type 2의 기준보다 우수한 개선량을 나타내고, 음의 값은 기준보다 낮은 성능을 나타내고 있다. Fig. 6을 살펴보면 모든 Type의 횡지관이 50~63Hz와 2~5kHz에서 Type 2보다 큰 개선량을 보이고 있다.

이러한 이유는 이중관의 공기층과, 25T보온재 및 밀도가 높은 차음시트의 부착으로 인해 50~63Hz의 저주파수영역과 2kHz이상의 고주파수영역에서 배수소음 저감효과가 발생했으리라 사료된다.

그러나 Type 1, Type 3은 80~1,600Hz의 대역에서 소음레벨 개선량이 기준배관인 Type 2보다 낮게 나타나며, Type 4, Type 5의 경우는 80~1,600Hz 대역 중 80~160Hz 대역만 기준배관인 Type 2보다 낮게 나타나며, 기타 주파수에서는 개선량에 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

따라서 실험대상 모든 배관 중 Type 4, Type 5의 배관의 배수소음 저감성능이 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

4.1.2 입상관의 종류에 따른 배수소음의 주파수 특성

배수 입상관의 배수소음은 횡지관에서 유입된 배수물이 입상관의 내벽을 타고 자유낙하하며 마찰음을 발생시키는 특성을 보인다.⁽³⁾

본 배수소음 실험실에서 측정된 입상관 종류에 따른 배수소음의 주파수별 특성을 비교하면 다음 Fig. 7과 같다. 또한 Fig. 8은 Type 2의 VG-2 + DRF배관을 기준으로 하여 입상관 종류별 소음레벨의 개선량을 비교한 것이다.

Fig. 7에서 배수입상관 종류에 따른 주파수 특성을 비교해 보면 모든 Type의 입상관이 유사한 주파수 특성을 보임을 알 수 있으며, dB(A)값도 거의 일치함을 알 수 있다. 이러한 결과는 횡지관에서 입상관으로 연결하는 부위에 이중섹스티아를 사용하였는데, 이 방식은 배수를 회전시켜 낙하시키기 때문에 배수관의 종류에 크게 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

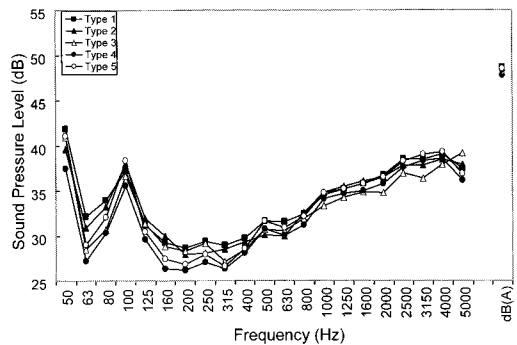


Fig. 7 Frequency characteristics by sorts of drainage riser pipe.

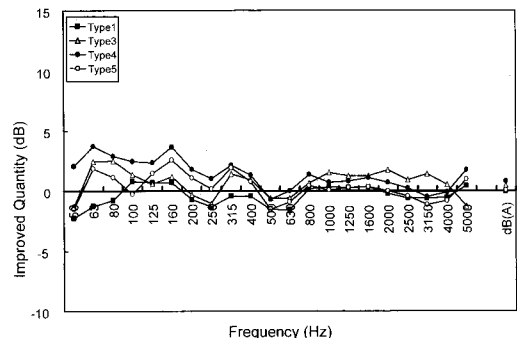


Fig. 8 Comparison with difference of improved quantity by sorts of riser pipe.

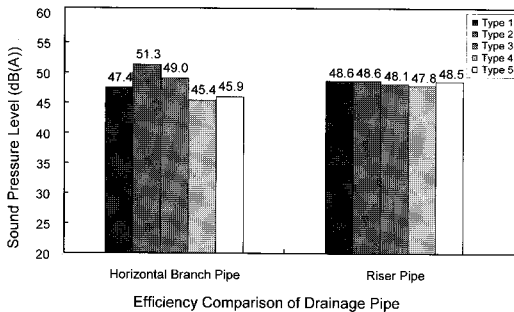
위에서 언급한 Type 2를 기준배관으로 하여 주파수별 개선량 차이를 살펴보면 Fig. 8에서 보듯이 Type 4의 배관이 50~400Hz의 주파수 대역에서 기준배관보다 큰 개선량을 보이고 있지만, 다른 Type의 배관은 50~5,000Hz의 전 주파수 대역에서 기준배관보다 ±2dB정도의 적은 개선량을 보이고 있다.

4.2 배수관 종류에 따른 dB(A) 비교

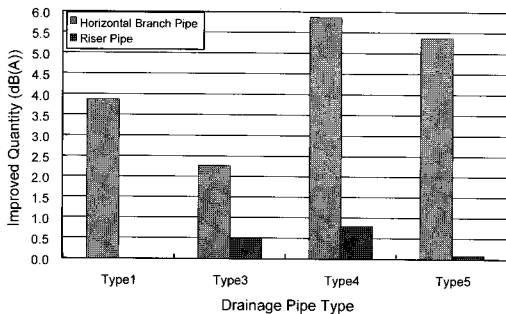
전체 측정시간에 대한 배수소음의 청감보정된 dB(A)값은 인간이 느끼는 배수소음의 크기를 나타내므로 배수관 종류별 성능을 비교할 수 있다.

다음 Fig. 9는 각 배수관 종류별 횡지관과 입상관의 dB(A)값을 비교한 것이다.

Fig. 9 (a)에서 배수관 종류별 dB(A)값을 비교해 보면 횡지관에서는 Type 4 < Type 5 < Type 1 < Type 3 < Type 2 순으로 나타나 Type 4의



(a) Comparison of dB(A) value by sorts of drainage pipe



(b) Comparison of improved quantity by sorts of drainage pipe

Fig. 9 Comparison of dB(A) improved quantity by sorts of drainage pipe.

차음성능이 가장 우수함을 알 수 있으며, Fig. 9 (b)의 개선량을 살펴보면 사람의 청감상 가장 민감한 반응을 보이는 2~4kHz의 고주파수 대역의 소음레벨 개선량이 모든 Type에서 크게 나타나 dB(A)값의 개선량 차이는 Type 4, Type 5가 약 5.9dB(A), 5.4dB(A)로 가장 큰 개선량을 나타내고 있으며, Type 1은 3.9dB(A)의 차이를 보이고 있고, Type 3은 2.3dB(A)정도의 개선량을 보였다. 그러나 입상관의 경우에는 배관의 종류에 따른 변화 없이 거의 유사한 dB(A)값을 보이고 있어 개선량 차이가 1dB(A)미만으로 나타나, 입상 배수관 종류의 선택에 따른 배수소음 저감효과를 기대하기는 힘들 것으로 사료된다.

4.3 시간에 따른 음압레벨 변동 특성

4.3.1 횡지관의 종류에 따른 음압레벨 변동 특성

본 배수소음 실험실에서 측정된 횡지관 종류에 따른 배수소음의 음압레벨 변동 특성을 비교하면 다음 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에 나타난 배수횡지관의 음압레벨 변동 특성을 살펴보면 대변기가 작동된 직후 음압레벨이 급격히 상승하며 약 12초 이내에 배수물이 횡지관을 모두 빠져나감을 알 수 있다. 따라서 0~12초 구간이 배수횡지관의 배수소음에 주요한 영향을 보이는 구간임을 알 수 있다.

위 그림을 볼 때 주요영향시간대에서 발생하는 배수소음은 Table 1에서 언급한 ①~②구간이 주요하며, 슬라브에 매립된 입상관의 길이가 길어짐에 따라 엘보우에 가해지는 배수 충격력이 크게 작용하기 때문에 소음레벨이 커지게 된다.⁽⁴⁾

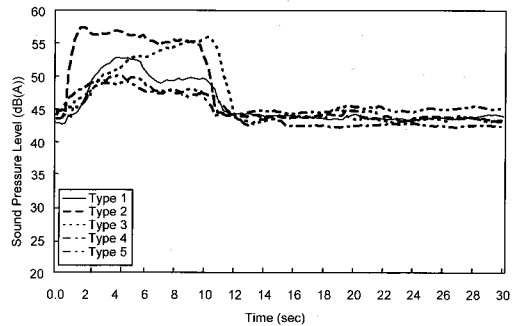


Fig. 10 Fluctuating characteristics in sound pressure level of drainage horizontal branch pipe.

따라서 매립입상관의 길이를 짧게 하며, 장곡관을 사용하여 낙하수와와의 접촉을 원활히 유지하여 물의 와류를 최소화 시킨다면 배수소음 주요 영향구간 내 소음을 저감할 수 있으리라 사료된다.

또한 횡지관의 종류별 배수소음 주요 영향 시간대의 특성을 살펴보면 다음 Fig. 11과 같다.

Fig. 11의 배수소음 주요 영향 시간대 특성을 살펴보면 앞에서 기술한 것처럼 기준배관인 Type 2는 대변기 세정 후 초기음압레벨이 급격하게 증가하지만 25T 보온재로 마감된 Type 3은 음압레벨이 서서히 증가함을 알 수 있다. 또한 Type 1은 Type 4, Type 5 보다 높은 음압레벨 변화를 보이고 있어 횡지관에서 발생하는 배수소음은 Type 4, Type 5가 가장 뛰어난 차음성능을 보임을 알 수 있다.

위의 결과로 미루어 보아 기존의 우수하다고 알려진 3중엘보⁽⁵⁾ 보다 차음효과가 뛰어난 2040장·단곡관을 이용하여 시공한다면 배수소음저감 효과를 얻을 것으로 사료된다.

4.3.2 입상관의 종류에 따른 음압레벨 변동 특성

본 배수소음 실험실에서 측정된 입상관 종류에 따른 배수소음의 음압레벨 변동 특성을 비교하면 다음 Fig. 12와 같다.

Fig. 12에 나타난 배수입상관의 음압레벨 변동 특성을 살펴보면 대변기가 작동되고 4초 후에 횡지관에서 유입된 배수물이 입상관에 영향을 주기 시작하며, 이후 12초 동안 입상관의 배수소음에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 대변기 작동 후 4~16초 구간이 배수입상관의 배수소음에 주요한 영향을 보이는 구간임을 알 수 있다.

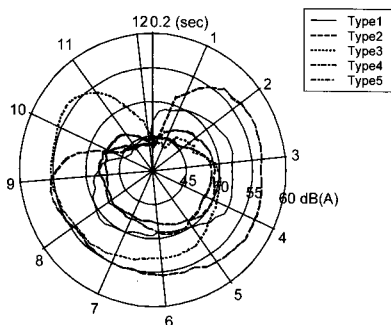


Fig. 11 Main influencing characteristics by time zones according to sorts of drainage horizontal branch pipe.

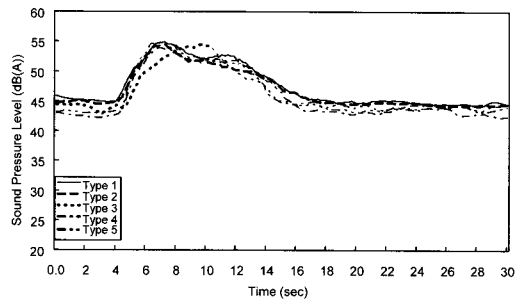


Fig. 12 Fluctuating characteristics in sound pressure level of drainage riser pipe.

하지만 입상관과 횡지관의 배수소음 주요 영향 시간대가 대부분 겹치며, 입상관 종류에 따른 소음레벨의 차이가 거의 없는 것으로 보아 배수배관의 설계 및 시공시 입상관의 종류와 재질선택에 따른 배수소음 저감효과를 기대하기보다 횡지관 및 엘보우의 선택이 중요하다고 할 수 있다.

다음 Fig. 13은 입상관의 종류별 배수소음 주요 영향 시간대 특성을 나타낸 것이다.

Fig. 13에 나타난 배수소음 주요 영향 시간대 특성을 살펴보면 이중스핀관이 설치된 Type 3이 약간 다른 패턴을 보이는 것을 제외하고는 전반적으로 거의 유사한 dB(A) 변화 특성을 보이는 것으로 나타나고 있다.

5. 결론

본 연구는 배수소음 실험실에서 5가지 종류의 배수관을 횡지관과 입상관으로 나누어 배수소음의 주파수 특성과 시간에 따른 음압레벨의 변동

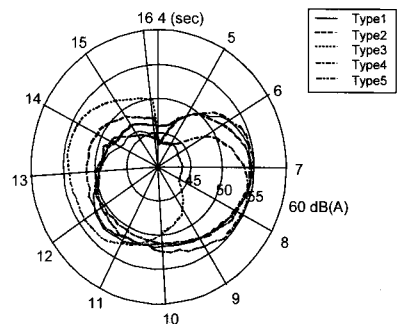


Fig. 13 Main influencing characteristics by time zones according to sorts of drainage riser pipe.

특성을 측정·분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 5종류의 배관 모두 50~80Hz 대역에서 음압레벨이 높게 나타나며 이후 400Hz까지 낮아지는 특성을 보인다. 그러나 Type 2의 경우 1,600~5,000Hz 대역에서 음압레벨이 증가하지만 Type 3은 25T 보온재가 고주파수를 흡수하여 500~1,600Hz 대역이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한 Type 4와 Type 5는 서로 유사한 주파수 특성을 보이며 가장 낮은 배수소음 특성을 보이고 있고 기존의 연구결과 차음성능이 우수한 Type 1은 Type 4, Type 5보다 전 주파수 대역에 걸쳐 소음레벨이 높게 나타나며 특히 400~800Hz 대역에서 높게 나타나는 특성을 보이고 있어 5종류의 Type 중 Type 4, Type 5의 배관이 배수소음 저감성능이 가장 우수함을 알 수 있다.

(2) dB(A)값의 개선량 차이는 기존 공동주택에 많이 사용하고 있는 Type 2의 배관을 기준으로 할 때 횡지관의 경우 Type 4, Type 5가 약 5.9dB(A), 5.4dB(A)로 소음레벨 개선량이 높게 나타나 5종류의 Type 중 배수소음 저감성능이 가장 우수함을 알 수 있으며, Type 1은 3.9dB(A), Type 3은 2.3dB(A)정도의 개선량을 보였다. 하지만 입상관의 경우 횡지관에 비해 개선량의 차이가 1dB(A)미만으로 적게 나타나 입상배수관 종류의 선택에 따른 배수소음 저감 효과를 기대하기는 힘들 것으로 사료된다.

(3) 대변기 세정시 발생하는 배수소음 음압레벨의 변동 특성을 시간대별로 살펴보면 배수횡지관의 경우 배수관의 종류에 따라 음압레벨 변화도 다른 특성을 보이고 있지만 배수입상관은 배수관의 종류에 따른 음압레벨 변동 특성이 거의 유사함을 알 수 있다.

또한 대변기가 작동된 직후 음압레벨이 급격히 상승하여 0~12초간 횡지관의 배수소음에 주요한 영향을 보이고 있는데 이는 엘보우에 가해지는 배수 충격력에 의한 소음발생 구간이므로 매립입상관의 길이를 짧게 하며, 장곡관을 사용하여 낙하수와의 접촉을 원활히 유지하여 물의 와류를 최소화 시킨다면 배수소음 주요 영향구간 내 소음을 저감할 수 있으리라 사료된다.

하지만 입상관의 경우 대변기가 작동되고 약 4초 후 횡지관에서 유입된 배수물이 입상관에 영향을 주기 시작하여 4~16초 구간이 입상관의 배수소음에 주요한 영향을 보이는 구간이지만 횡지관과 입상관의 배수소음 주요영향 시간대가 대부분 겹치며, 입상관의 종류에 따른 소음레벨의 차이가 거의 없는 것으로 보아 배수배관의 설계 및 시공시 입상관의 종류 및 재질선택에 따른 배수소음 저감효과를 기대하기보다 횡지관 및 엘보우의 선택이 중요하다고 할 수 있다.

위와 같은 연구결과 배수소음을 저감시키기 위한 방법으로 횡지관의 종류 선택이 주요할 것으로 사료되며, 향후 본 연구결과를 토대로 보다 다양한 종류의 배수소음 실험과 현장측정을 통한 직하실 내부마감, 천장재와 체적 등에 의한 영향을 비교·분석한다면 효과적인 배수소음 저감을 위한 대책방법 수립에 중요한 자료를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kim, J. S., 2007, Plumbing Equipment, 4th ed, Sejin Co. pp.181-188.
2. Kim, J. S., 2004, Architectural Acoustic Design, 2nd ed, Sejin Co. pp. 97-101.
3. Back, E. S., 2004, An Experimental Study on the Noise Reduction for Apartment Bathroom Plumbing, Proceedings of The SAREK 2004 Summer Annual Conference pp.644-649.
4. Jung, J. Y., Lee, S. H. and Jung, K. C., 2003, Rating of Noise Emission by Plumbing System in Bathroom, Proceedings of The KSNVE 2003 Autumn Annual Conference pp. 923-927.
5. Kim, I. S., Go, C. S., Moon, J. H., Han, M. S., Sim, K. S. and Lee, J. S., 2001, A Study on Reduction of Drainage Noise for Water Closet, Proceedings of The KSNVE 2001 Autumn Annual Conference pp. 881-885.