Check for updates

Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng., 36(5) : 528~538, 2026
https://doi.org/10.5050/KSNVE.2026.36.5.528

한국소음진동공학회논문집 제 36 권 제 5호, pp. 528~538, 2026
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

공동주택 화장실 양변기 배수소음 저감대책에 따른 소음 및 배관·구조체 진동 특성

Noise and Vibration Characteristics of Toilet-drainage Noise-reduction Measures in Apartment Buildings

송 국 곤† · 조 아 현* · 정 진 연**

Guk Gon Song†, A Hyeon Jo* and Jin Yun Chung**

(Received September 17, 2026 ; Revised October 13, 2026 ; Accepted October 13, 2026)

Key Words : Drainage Noise(배수소음), Low-noise Pipe(저소음배관), Bathroom(화장실), Apartment Buildings (공동주택), Toilet(양변기)

ABSTRACT

In this study, toilet-drainage noise-reduction measures in a full-scale test apartment building were evaluated by measuring drainage noise and pipe and structural vibrations under five conditions: a conventional pipe, low-noise pipe, damping sheet, an absorption/insulation composite wrap, and sheet molding compound (SMC) ceiling. Compared with the conventional pipe, the low-noise pipe reduced the equivalent and maximum noise levels by 5.7 dB(A) and 4.2 dB(A), respectively, and the maximum vibration acceleration level at the elbow by 11.3 dB. The addition of a damping sheet reduced the vibration of the horizontal pipe, but the additional reductions in equivalent and maximum noise were only 0.8 dB(A) and 0.7 dB(A), respectively. The absorption/insulation composite wrap produced additional reductions of 4.0 dB(A) and 3.7 dB(A), while the SMC ceiling provided further reductions of 10.7 dB(A) and 11.1 dB(A). The elbow showed the highest vibration response, while the low-noise pipe was effective in reducing mid- and high-frequency elbow vibrations. These results indicate that effective toilet drainage noise control requires reducing vibration at the elbow and limiting the airborne sound radiating from the piping system and transmitted through the ceiling.

1. 서 론

공동주택 화장실에서 발생하는 급·배수설비 소음은 거주자의 정온한 생활환경에 영향을 미치는 주요 설비소음 중 하나이다. 특히 양변기 배수 시에는 단시간에 많은 양의 물이 배출되면서 배수관 내부의 불규칙한 유동, 배수수와 관벽의 충돌, 유동방향 변화에 따른 압력변동 및 배관의 구조진동이 복합적으로 발생한다. 배관에서 발생한 소음은 배관 표면에서 공기중으로 직접 방사되고, 배관의 진동은 배관 지지부 및 행거를 통해 슬래브와 벽체 등 구조체로 전달될 수 있다.

국내 공동주택에서는 상부 세대의 화장실 배수배

† Corresponding Author ; Member, Korea Conformity Laboratories, Senior Engineer
E-mail : gsong@kcl.re.kr
* Korea Conformity Laboratories, Junior Assistant Engineer
** Korea Conformity Laboratories, Senior Engineer

A part of this paper was presented at the KSNVE 2025 Annual Autumn Conference
‡ Recommended by Editor Kyoung Min Kim
ⓒ The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

관이 하부 세대의 천장 내부에 설치되는 층하배관 방식이 널리 적용되어 왔다. 이러한 배관구조에서는 상부 세대의 위생기구 사용으로 발생한 배수소음이 하부 세대의 화장실 및 인접 공간으로 전달될 수 있으며, 배경소음이 낮은 야간에는 배수소음이 더욱 크게 인지될 수 있다.

국내에서는 「공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙」에서 욕실, 화장실 및 다용도실 등의 급수 및 배수로 인해 발생하는 소음을 층간소음의 범위에서 제외하고 있다[1]. 그러나 실제 공동주택 거주자를 대상으로 한 생활소음 인식조사에서는 화장실 배수소음이 이웃 세대로부터 발생하는 주요 불편 소음 중 하나로 나타나[2], 법정 층간소음의 범위와는 별개로 실내 주거환경 측면에서 지속적인 저감이 필요한 소음원으로 평가되고 있다.

Yang et al.은 국내 공동주택 64세대를 대상으로 화장실 급·배수소음을 조사하였으며[3], 하부층 화장실에서 측정된 배수소음은 양변기 47.8 dB(A), 세면기 42.7 dB(A), 욕조 33.9 dB(A)로 나타났다. 이 중 양변기의 배수소음이 가장 높은 수준으로 나타나 공동주택 화장실의 주요 설비소음원 중 하나임을 확인하였다.

이러한 배수소음을 저감하기 위해 일반 경질염화비닐(PVC)관과 저소음관의 소음성능 비교, 배관 재료 및 구조 개선, 저소음형 엘보 개발, 배관 외부 흡음·차음재 적용, 배관 지지부의 진동절연 등 다양한 기술이 검토되어 왔다[4~9].

Yeon et al.은 공동주택과 모형 시험시설에서 여러 종류의 배수배관을 대상으로 급·배수소음 특성을 비교하여 배관 재료 및 시스템 구성에 따라 소음성능이 달라지는 것을 확인하였다[4]. 또한 화장실 등 물 사용 공간의 급·배수소음 저감을 위한 연구에서는 현장 소음실태 조사와 함께 저소음 배관, 양변기 제진시공 및 흡차음 기술 등이 개발되었다[5]. Hwang et al.은 공동주택 층하배관에 적용할 수 있는 흡음마감 배관을 개발하고 배관 내·외부에 흡음구조를 적용함으로써 배수소음을 저감할 수 있음을 확인하였으며[6], Jeong et al.은 배수배관 및 엘보의 재료 구성에 따라 양변기 배수소음 저감성능에 차이가 발생함을 확인하였다[7].

배관 외부 피복 및 구조전달음 저감과 관련해서도 다양한 연구가 수행되었다. Baek et al.은 배수배관 외부에 발포 PE(polyethylene) 및 유리섬유계 보온·방음재를 적용하여 피복재 종류와 두께에 따른 배수소음 저감특성을 평가하였다[8]. 또한, Däuble et al.은 배수관에서 발생한 진동이 배관 지지부를 통해 구조체로 전달되는 특성을 분석하고, 고무재가 삽입된 배관 클램프를 진동절연 대책으로 적용하여 지지부를 통한 구조전달음 저감 가능성을 검토하였다[9].

이와 같이 기존 연구에서는 배관의 재료와 구조, 엘보 구성, 외부 피복재, 지지부 처리 등 개별 저감대책의 소음 또는 진동 특성이 다양하게 검토되어 왔다. 그러나 이 연구에서 검토한 선행연구는 주로 특정 배관이나 개별 저감대책의 성능을 평가하고 있어, 동일한 양변기 배수조건에서 여러 저감대책을 단계적으로 적용하면서 수음실의 배수소음과 배관 및 구조체의 진동 변화를 동시에 비교한 연구는 제한적이다. 특히 저소음관, 제진재, 배관 외부 흡차음재 및 천장재와 같이 실제 공동주택에서 연속적으로 적용될 수 있는 저감대책들이 각각 배관 진동과 수음실 소음에 어떠한 영향을 미치는지를 동일 조건에서 비교한 자료는 충분하지 않다.

따라서 이 연구에서는 일반관을 기준으로 저소음관, 제진시트, 흡·차음 복합재 및 천장재를 순차적으로 적용하고, 각 단계에서 수음실의 배수소음과 엘보, 수평배관, 행거, 슬래브 및 벽체의 진동가속도를 함께 측정하였다. 이를 통해 각 저감대책이 배관의 진동저감과 배관에서 공기 중으로 방사되는 소음 및 수음실로 전달되는 소음에 미치는 특성을 비교하고, 양변기 배수소음 저감을 위한 효과적인 대책의 적용 방향을 검토하고자 하였다.

2. 측정 개요 및 방법

2.1 측정 조건

양변기 배수 시 발생하는 소음 및 진동을 측정하고 배관 및 저감대책에 따른 성능을 비교하기 위해 동일한 시험실 및 배수조건에서 측정을 수행하였다.

측정조건은 Table 1과 같이 PVC 일반관을 기준으로 저소음관, 제진시트, 흡·차음 복합재 및 천장재를 순차적으로 적용하였으며, 적용된 파이프 및 재료 상세 정보는 Table 2와 같다.

일반관과 저소음관은 두리화학사의 VN SDR33 및 NC1을 각각 사용하였다. Case 2에서는 일반관을 저소음관으로 교체하고 배관과 행거의 접촉부에 두께 8 mm

Table 1 Measurement conditions

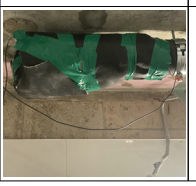
Type	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Pipe	VN	NC1	NC1	NC1	NC1
Hanger treatment	Not applied	PES 8 mm	PES 8 mm	PES 8 mm	PES 8 mm
Damping sheet	Not applied	Not applied	DS 2 mm	DS 2 mm	DS 2 mm
Wrapping	Not applied	Not applied	Not applied	AW 8 mm	AW 8 mm
Ceiling material	Not applied	Not applied	Not applied	Not applied	SMC
Installation figure					
Test room	 <Source room>	 <Receiving room>	 <Receiving room>		

Table 2 Specifications of drainage pipes and noise reduction materials

Symbol	Definition	Specification
VN	Conventional PVC drainage pipe	Dury Chemical. Rigid PVC pipe for non-pressure drainage; designation: VN SDR 33; nominal diameter: 100 mm; outside diameter: 114 mm; wall thickness: 3.5 mm.
NC1	Low-noise drainage piping system	Dury Chemical. NC1 low-noise drainage piping system; nominal diameter: 100 mm; pipe outside diameter: 114 mm; pipe wall thickness: ≥ 4.0 mm. Double-layer structure consisting of a rigid PVC inner layer and a flexible sound-insulating outer layer; mineral-reinforced PVC is used for noise reduction. The elbow has a triple-layer structure with an inner PVC layer, intermediate air layer, and outer rigid PVC layer to reduce impact noise and sound transmission.
PES	Polyester fiber sheet for hanger-contact treatment	Polyester fiber absorption sheet inserted between the pipe and hanger; thickness: 8 mm; density: 24 kg/m^3.
DS	Aluminum-faced composite damping sheet	Namyang Novitech. Self-adhesive composite damping sheet consisting of an aluminum sheet and a damping compound; total thickness: 2 mm; manufacturer-reported specific gravity: 1.5.
AW	Absorption/insulation composite wrap	Namyang Novitech. Combo TW sheet. 6 mm Websuler-series sound-absorbing layer combined with a 2 mm TP-series vibration-damping and sound-insulating sheet; total thickness: 8 mm.
SMC	Sheet molding compound ceiling panel	Glass-fiber-reinforced unsaturated polyester composite panel; sheet thickness: 1.7 mm; overall panel depth: 25 mm. Ceiling underside height above the floor: 2,270 mm; vertical distance from the slab soffit to the ceiling underside: 300 mm. No additional sealant was applied to the ceiling joints.

Notes: PVC = polyvinyl chloride; SDR = standard dimension ratio; PES denotes the polyester fiber sheet used for hanger-contact treatment in this study. Specific gravity is dimensionless. The 300 mm dimension indicates the distance between the slab soffit and the finished ceiling underside.

의 흡음재를 삽입하였으며, 이 접촉부 처리는 이후 Case 3 ~ Case 5에서도 동일하게 유지하였다. 따라서 Case 1과 Case 2의 비교에는 배관 교체와 행거 접촉부 처리의 영향이 함께 포함된다.

Case 3에는 남양노비텍의 두께 2 mm AL 복합 제진시트를 적용하였다. 이 재료는 알루미늄 시트와 제진컴파운드로 구성되며, 저소음관 표면에 둘러 접착 시공하였다. Case 4에는 같은 제조사의 Combo TW 흡·차음 복합재를 제진시트 외부에 추가 적용하였다. 복합재는 두께 6 mm의 Websuler 계열 흡음층과 두께 2 mm의 TP 계열 제진성 차음시트로 구성된 총두께 8 mm의 재료이며, 엘보를 포함한 배관 전체를 감싸도록 시공하였다. Case 5는 동일한 배관조건에서 SMC 천장재를 추가로 시공하였다.

저소음관 적용 시 적용한 행거부 처리는 별도의 저감성능 평가를 위한 변수가 아니며, 이후의 모든 저소음관 조건에 동일하게 적용하였다.

2.2 시험 구성 및 배수조건

시험설비는 상부층 화장실의 양변기, 슬래브 하부의 배수배관 및 하부층 화장실 수음실로 구성하였다. 상부 양변기에서 배출된 물이 슬래브 하부 배수배관을 통과할 때 하부 수음실로 전달되는 소음을 측정하였다. 배관의 배치와 주요 연결부 및 행거 위치는 시험조건 간 동일하게 유지하였으며, 행거 접촉부 처리의 적용 여부는 Table 1에 구분하여 나타내었다. 수음실의 크기는 폭 2.20 m, 깊이 2.50 m, 높이 2.57 m이며, 바닥과 벽은 타일로 마감되었다. 바닥면으로부터 배관 하부면까지의 높이는 약 2.40 m이다. Case 5의 SMC 천장 마감면은 바닥 마감면으로부터 2.27 m 높이에 설치하였으며, 슬래브 하부면과 천장 마감면 사이의 거리는 300 mm이다. 천장 접합부에는 별도의 실링처리를 하지 않았다.

양변기 배수계통은 양변기 배출구, 수직배관, 엘보, 수평배관, 연결관 및 행거 지지부로 구성하였다. 국내 두리화학사의 호칭지름 기준 100 mm 비압력용 배관 및 저소음 배관을 슬래브 하부면으로부터 약 70 mm 이격하여 설치하였으며, 배관의 주요 연결부와 지지조건은 모든 시험조건에서 동일하게 유지하였다.

모든 배수소음 측정조건에서 동일한 양변기와 동일한 배수량을 적용하였다. 측정에는 인토세라믹의 C848 기본형 투피스 양변기를 사용하였으며, 1회 배수량은 LH 전문시방서 LHCS 31 20 15 40의 시험조건에 따라 6 L로 설정하였다[10].

급수에 의한 소음 영향을 제외하기 위해 양변기 급수밸브를 잠근 상태에서 물탱크의 물을 완전히 배수한 후 6 L의 물을 채웠다. 이후 양변기 핸들을 이용하여 플러시 밸브를 수동으로 작동시켜 배수가 진행되도록 하였다.

각 조건에 대해 3회씩 반복 측정하였으며, 각 측정 사이에는 배관 내부의 잔류수가 충분히 배출되고 배경소음이 안정될 수 있도록 1 min 이상의 간격을 두었다.

시험 당시 평균 온도와 상대습도는 약 27.1 ℃ 및 약 82.8 % R.H.였다.

2.3 배수소음 측정

배수소음은 상부층 화장실의 양변기 배수 시 하부층 화장실에 전달되는 소음을 대상으로 KS F 2871 및 LH 전문시방서 LHCS 31 20 15 40에 따라 측정하였으며[10~11], 측정결과의 평가는 KS F 2872를 참고하였다[12].

측정위치는 Fig. 1과 같이 화장실 공간 중앙점과 벽면으로부터 0.5 m 이격된 모서리 4지점을 포함하여 총 5개 지점으로 하였다. 마이크로폰 높이는 배관 하부면으로부터 약 1.0 m 이격된 위치(바닥면으로부터 약 1.4 m 높이)에 설치하고, 5개 지점의 소음을 동시에 측정하였다. 5개 측정지점에서 얻어진 시간이력 및 1/3 옥타브 대역 소음레벨은 에너지 평균하여 수음실의 대표값으로 산출하였다.

측정에는 01dB-metravib NetdB 다채널 신호분석기와 GRAS 46AE 마이크로폰 5개를 사용하였다. 측정 전 01dB-metravib Cal31 음향교정기를 이용하여 마이크로폰의 감도를 확인하였다.

A 특성 청감보정회로를 적용하여 배수가 이루어지는 전체 시간 동안의 등가소음레벨과 fast 동특성을 적용한 최대소음레벨을 측정하였다.

배수소음의 측정시간은 양변기 배수가 시작된 후 소음이 다시 배경소음 수준으로 낮아질 때까지로 설정하였다. 배수 지속시간은 반복시험에 따라 일부 차이가 발생할 수 있으므로 고정된 측정시간을 적용하지 않고 실제 배수가 진행되는 전체 시간에 대해 등가소음레벨을 산출하였다. 조건별 시간이력 비교에서는 수동 플러시 작동에 따른 배수 시작시점의 차이를 보정하기 위해 각 반복측정의 배수 시작점을 기준으

로 시간축을 정렬하였다. 5개 측정지점의 에너지 평균 시간이력에서 배수 전 배경소음레벨보다 5 dB 이상 증가한 상태가 0.5 s 이상 지속되는 최초 시점을 배수 시작점으로 설정하였다. 시간축 정렬은 시간이력의 조건별 비교를 위해서만 적용하였으며, 등가소음레벨 및 최대소음레벨은 시간 정렬 이전의 원 측정데이터와 실제 전체 배수시간을 이용하여 산출하였다.

각 조건은 3회 반복 측정하였으며, 3회 측정결과의 평균값과 표준편차를 이용하여 비교하였다. 또한 1/3옥타브 대역 주파수 분석을 통해 조건별 배수소음의 주파수 특성을 확인하였다. 1/3옥타브 대역 주파수 분석은 A특성 보정을 적용하지 않은 Linear 값을 이용하였으며, 최대소음 스펙트럼은 배수시간 동안 각 주파수대역에서 나타난 최대 소음레벨을 각각 산출하여 구성하였다.

각 시험조건의 측정 전, 배관 내부의 잔류수가 충분히 배출되어 낙수음이 발생하지 않는 안정된 상태에서 배경소음을 별도로 측정하였다. 배경소음은 측정구간의 등가소음레벨 및 1/3옥타브 대역 등가소음레벨로 평가하였으며, 배수소음 측정결과에서 배경소음의 음에너지를 차감하여 보정하였다. 따라서 이 논문에 제시한 등가소음레벨 및 1/3옥타브 대역 소음레벨은 배경소음 보정 후의 결과이며, 최대소음레벨에는 배경소음 보정을 적용하지 않았다.

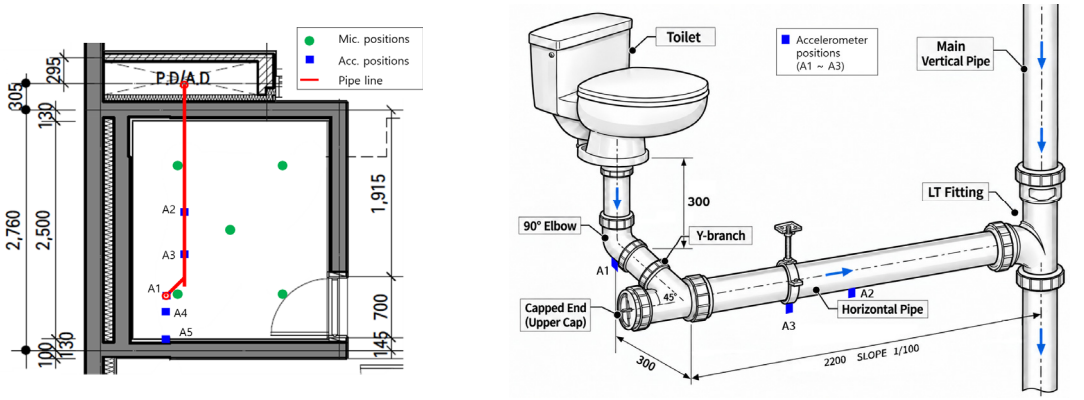
2.4 진동가속도 측정

양변기 배수 시 배관 및 구조체에서 발생하는 진동 특성을 확인하기 위해 Fig. 1(b)와 같이 엘보 하부(A1), 수평배관 하부(A2), 행거 하부(A3), 양변기 직하부 슬래브 표면(A4) 및 양변기와 가장 인접한 수음실 벽체(A5)에서 진동가속도를 측정하였다.

측정에는 단축 가속도계를 사용하였으며 수직방향의 진동가속도를 측정하였다. 가속도계는 MMF의 약 23 g의 범용 가속도계 KS77C-100을 사용하였으며, 감도는 약 100 mV/g이다. 센서는 접착제 및 자석을 이용하여 측정대상에 단단하게 고정하였다.

Case 1 ~ Case 3에서는 엘보, 수평배관, 행거, 슬래브 및 벽체의 5개 위치에서 진동을 측정하였다. Case 4에서는 흡·차음 복합재가 엘보와 수평배관을 포함한 배관 외부 전체를 감싸는 조건으로, 동일한 가속도계 부착조건을 유지하기 어려워 행거, 슬래브 및 벽체에서만 진동을 측정하였다. 천장재를 설치한 Case 5에서는 진동을 측정하지 않았다. 따라서 진동결과의 비교는 각 Case에서 실제로 측정된 위치를 대상으로 수행하였으며, 측정하지 않은 위치는 Table 3에서 N/M(not measured)로 표시하였다.

진동가속도는 배수소음과 동시에 측정하였으며, 0.125 s RMS 시간이력과 1/3옥타브 대역 진동가속도레벨을 분석하였다. 조건별 진동 수준의 비교에는 각 반복시험의 0.125 s RMS 시간이력에서 나타난 최대 진동가속도를 기준가속도 10^{-6} m/s^{2}에 대한 진동가속도레벨로 환산하여 사용하였다. 각 조건은 3회 반복 측정하였으며, 반복시험별 최대 진동가속도레벨의 평균값과 표준편차를 산출하여 비교하였다. 주파수 특성은 배수시간 동안 각 1/3옥타브 대역에서 나타난 최대 진동가속도레벨을 이용하여 분석하였으며, 분석



(a) Plan view of the drainage pipe layout (b) Schematic configuration of the drainage piping system

Fig. 1 Layout and schematic configuration of the drainage piping system

주파수범위는 25 Hz ~ 10 kHz로 하였다. 각 주파수대역의 최대값은 발생시각이 서로 다를 수 있으므로, 이 연구에서 제시한 최대 1/3옥타브 대역 스펙트럼은 시간이력의 최대 진동가속도 발생시점에서의 순간 주파수 스펙트럼을 의미하지 않는다.

3. 측정 결과 및 고찰

3.1 조건별 배수소음 특성

양변기 배수 시 발생하는 소음을 저감하기 위한 각 조건별 배수소음 측정결과는 Table 4와 같다.

일반관을 적용한 Case 1의 등가소음레벨은 54.2 dB(A), 최대소음레벨은 65.5 dB(A)로 나타났다. 저소음관을 적용한 Case 2에서는 등가소음레벨이 48.5 dB(A), 최대소음레벨이 61.3 dB(A)로 측정되어 일반관에 비해 각각 5.7 dB(A) 및 4.2 dB(A)이 저감되는 것으로 나타났다. 저소음관 표면에 2 mm 제진시트를 부착한 Case 3에서는 등가소음레벨이 47.7 dB(A), 최대소음레벨이 60.6 dB(A)로 측정되었다. Case 2와 비교하면 각각 0.8 dB(A) 및 0.7 dB(A)의 추가 저감효과가 나타나 제진시트 적용에 따른 배수소음 저감효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 제진시트 외부에 8 mm 흡·차음 복합재를 추가 적용한 Case 4에서는 등가소음레벨이 43.7 dB(A), 최대소음레벨이 56.9 dB(A)로 측정

Table 3 Maximum vibration acceleration levels obtained from time histories

Case no.	Conditions	Vibration acceleration levels at measurement positions, dB(ref. 10^{-6} m/s^2)				
		Slab	Elbow	Horizontal pipe	Hanger	Wall
1	VN	96.4 ± 0.7	129.5 ± 2.1	115.4 ± 2.6	115.9 ± 1.2	83.7 ± 0.9
2	NC1	98.1 ± 1.0	118.2 ± 1.3	112.5 ± 1.6	117.6 ± 2.8	83.4 ± 1.9
3	NC1 +damping sheet	95.7 ± 0.4	115.6 ± 1.2	108.4 ± 1.9	116.0 ± 4.1	80.8 ± 0.0
4	NC1 +damping sheet +absorption/insulation	96.6 ± 0.3	N/M	N/M	118.1 ± 2.4	87.1 ± 2.7
5	NC1 +damping sheet +absorption/insulation +SMC ceiling	N/M	N/M	N/M	N/M	N/M

※ N/M: not measured

Table 4 Measured drainage noise levels and stepwise reductions under different conditions

Case no.	Conditions	Equivalent noise level		Maximum noise level	
		Result (L_{Aeq}), dB(A)	Reduction from previous case (ΔL_{Aeq}), dB(A)	Result (L_{AFmax}), dB(A)	Reduction from previous case (ΔL_{AFmax}), dB(A)
1	VN	54.2 ± 0.2	-	65.5 ± 0.2	-
2	NC1	48.5 ± 0.1	5.7	61.3 ± 0.6	4.2
3	NC1 +damping sheet	47.7 ± 0.1	0.8	60.6 ± 0.2	0.7
4	NC1 +damping sheet +absorption/insulation wrap	43.7 ± 0.2	4.0	56.9 ± 0.4	3.7
5	NC1 +damping sheet +absorption/insulation wrap +SMC ceiling	33.0 ± 0.3	10.7	45.8 ± 0.9	11.1

되었다. Case 3에 비해 각각 4.0 dB(A) 및 3.7 dB(A)이 추가로 저감되었다. 최종적으로 SMC 천장재를 추가 시공한 Case 5에서는 등가소음레벨이 33.0 dB(A), 최대소음레벨이 45.8 dB(A)로 측정되었다. 천장재 시공 전인 Case 4와 비교하여 각각 10.7 dB(A) 및 11.1 dB(A)이 추가로 저감되는 것으로 나타났다.

3회 반복측정에 따른 표준편차는 등가소음의 경우 약 0.1 dB ~ 0.3 dB, 최대소음은 약 0.2 dB ~ 0.9 dB 수준으로 나타나 반복측정 결과의 편차는 크지 않은 것으로 확인되었다.

3.2 배수소음 시간이력 특성

양변기 배수 시 발생하는 소음의 시간이력 특성을 조건별로 비교하여 Fig. 2에 나타내었다. 배수가 시작된 후 소음레벨이 급격하게 증가하였으며 배수 시작 후 약 3 s 전후에서 최대값이 나타났다. 이후 배수량이 감소하면서 소음레벨도 낮아졌으며, 배수 시작 후 약 10 s ~ 12 s까지 주 배수가 지속된 후에도 배관 내부에 남아있는 잔류수가 배출되면서 물방울에 의한 소음이 발생하는 것으로 나타났다. Fig. 2의 배수 개시 전 구간에는 반복시험 과정에서 이전 배수 후 남아 있던 잔류수에 의한 일시적인 낙수음이 일부 포함되어 조건별 초기 소음레벨에 차이가 나타날 수 있다. 다만 배경소음 보정에는 별도로 측정한 잔류수 낙수음이 없는 안정상태의 배경소음을 사용하였다.

일반관에서는 주 배수 이후 잔류수에 의한 물방울 소리가 다른 조건에 비해 비교적 크게 나타났다. 이러한 지속소음은 최대소음에는 큰 영향을 미치지 않으나 전체 배수시간에 대한 등가소음에는 영향을 미치는 것으로 나타났다. 저소음관을 적용한 조건에서는 잔류수에 의한 물방울 소리가 크게 감소하여 배경소음 수준으로 빠르게 낮아졌으며, 주 배수구간의 최대소음도 일반관에 비해 낮게 측정되었다. 제진시트를 적용한 조건의 시간이력은 저소음관만 적용한 조건과 큰 차이가 나타나지 않았다. 흡·차음 복합재를 추가한 조건에서는 주 배수구간의 소음이 전체적으로 낮아졌으며, 천장재를 시공한 조건에서는 전체 배수구간에서 가장 낮은 소음레벨이 나타났다.

3.3 배수소음 주파수 특성

측정된 배수소음에 대한 1/3 옥타브 대역 주파수 분석결과, Fig. 3과 같이 배관 및 저감대책에 따른 소음 차이는 중·고주파수 대역에서 상대적으로 크게 나타났다. 일반관을 저소음관으로 교체한 경우 630 Hz 이상의 주파수대역에서 소음저감 효과가 나타났으며, 800 Hz ~ 5 kHz에서는 일반관보다 약 4 dB ~ 8 dB 낮게 측정되었다. 반면 500 Hz 이하에서는 배관 교체에 따른 저감효과가 상대적으로 크지 않았다. 저소음관 표면에 제진시트를 적용한 경우 일부 주파수대역에서는 소음이 감소하였으나 전체 주파수대역에서 일관된 저감효과는 나타나지 않았다. 이에 따라 전체 등가소음 및 최대소음의 추가 저감량도 약 0.7 dB(A) ~ 0.8 dB(A) 수

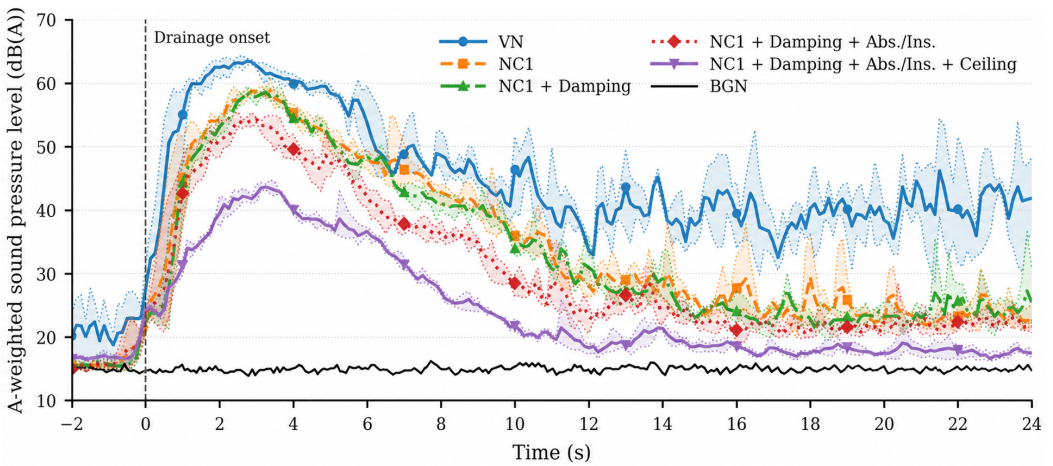


Fig. 2 Time-history characteristics of drainage noise (lines indicate the mean of three repeated measurements, and shaded areas indicate the min–max range)

준으로 나타났다.

흡·차음 복합재를 추가 적용한 경우에는 1.6 kHz ~ 5 kHz의 중·고주파수대역에서 약 3 dB ~ 6 dB의 추가 저감효과가 나타났다. 이는 엘보를 포함한 배관 전체를 감싸는 방법으로 시공한 흡차음 복합재에 의해 배관 시스템에서 공기 중으로 방사되는 소음이 저감된 것으로 사료된다.

SMC 천장재를 시공한 경우에는 500 Hz 이상의 대부분 주파수대역에서 추가적인 소음저감 효과가 나타났다. 특히 2.5 kHz ~ 5 kHz 대역에서 저감량이 크게 나타나 천장재에 의해 수음실로 전달되는 소음이 크게 감소한 것으로 나타났다.

3.4 배관 및 구조체 진동가속도 특성

Fig. 4에는 엘보, 수평배관 및 행거에서 측정한 대역별 최대 진동가속도레벨을, Table 3에는 각 측정위치의 진동가속도레벨 시간이력에서 산출한 최대값을 나타내었다. Table 3을 통해 조건별 최대 진동 수준을 비교하고, Fig. 4를 통해 주파수대역별 변화 특성을 검토하였다.

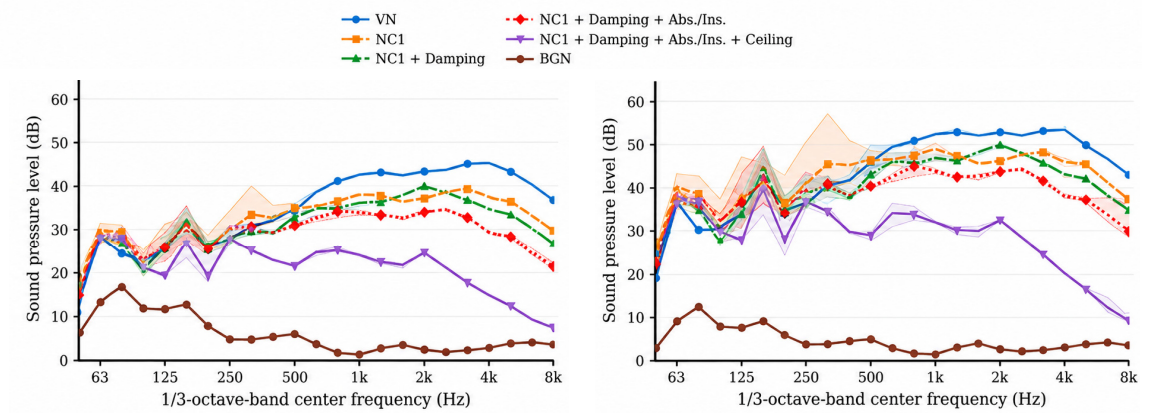
일반관을 적용한 Case 1에서 엘보의 최대 진동가속도레벨은 129.5 dB로 가장 크게 나타났다. 수평배관과 행거에서는 각각 115.4 dB 및 115.9 dB로 나타났으며, 슬래브와 벽체에서는 각각 96.4 dB 및 83.7 dB로 상대적으로 낮은 수준을 보였다. 특히 엘보의 최대 진동가속도레벨은 수평배관보다 14.1 dB, 행거보다 13.6 dB 높게 나타나 배수 시 주요 진동발생 부위로 확인되었다.

이는 양변기에서 배출된 물이 수직방향으로 이동하다가 엘보를 통과하면서 수평방향으로 유동방향이 변경되고, 이 과정에서 발생하는 배수수의 충격 및 압력변동에 의해 엘보의 진동이 크게 발생하는 것으로 판단된다.

저소음관을 적용한 Case 2에서는 엘보의 전체 진동가속도레벨이 129.5 dB에서 118.2 dB로 11.3 dB 감소하였으며, 수평배관은 115.4 dB에서 112.5 dB로 2.9 dB 감소하였다. 반면, 슬래브는 96.4 dB에서 98.1 dB로 1.7 dB 증가하여 측정위치에 따라 진동 변화가 다르게 나타났다.

저소음관 적용 시 배관과 행거의 접촉부에 흡차음재를 삽입하였으나, 일반관과 저소음관 적용조건의 행거 진동을 비교한 결과 뚜렷한 진동저감 효과가 나타나지 않았다. 따라서 행거부 처리에 따른 영향은 상대적으로 크지 않은 것으로 사료된다. 다만 행거부 처리는 저소음관 적용과 동시에 이루어졌으므로 행거부 처리 자체의 독립적인 저감효과를 분리하여 평가하기에는 한계가 있다.

저소음관에 제진시트를 추가 적용한 Case 3에서는 엘보 및 수평배관의 최대진동가속도가 추가로 감소하였다. 특히 수평배관에서의 감소량이 상대적으로 크게 나타나 제진시트에 의해 배관 표면의 진동이 저감되는 것을 확인하였다.



(a) Equivalent level (b) Maximum level

Fig. 3 1/3octave band frequency characteristics of drainage noise (lines indicate the mean of three repeated measurements, and shaded areas indicate the min–max range)

저소음관 표면에 제진시트를 추가한 Case 3에서는 엘보의 최대 진동가속도레벨이 115.6 dB로 Case 2에 비해 2.6 dB 추가 감소하였다. 특히 Fig. 4와 같이 수평배관의 1 kHz ~ 2 kHz 주파수대역에서는 약 8 dB ~ 12 dB의 진동저감 효과가 나타났다. 그러나 배수소음은 Table 4와 같이 Case 2와 비교하여 등가소음 0.8 dB(A), 최대소음 0.7 dB(A) 정도만 저감되었다. 제진시트의 경우 수평배관에서는 비교적 높은 진동저감 효과가 나타났으나, 전체 배관에서 가장 높은 진동이 발생하는 엘보에서는 저감효과가 상대적으로 작게 나타났다. 따라서 수평배관의 진동은 감소하였으나 전체 배수소음에 대한 추가적인 저감효과는 크지 않은 것으로 판단된다.

흡·차음 복합재를 적용한 Case 4에서는 배관 외부 시공으로 인해 엘보와 수평배관의 진동을 측정하지 못하였으며, 행거, 슬래브 및 벽체의 진동만 측정하였다.

Case 3에서 Case 4로 변경한 경우 최대 진동가속도레벨은 행거에서 2.1 dB, 슬래브에서 0.9 dB, 벽체에서 6.3 dB 증가하여 진동저감 효과가 나타나지 않았은 반면, 수음실의 등가소음과 최대소음은 각각 4.0 dB(A) 및 3.7 dB(A) 감소하여, 구조체 및 지지부의 국부 진동 변화와 수음실 배수소음의 변화가 동일한 경향을 나타내지는 않았다. 이러한 원인은 이 측정결과만으로 특정하기 어렵지만, 배관 시스템에서 공기 중으로 방사되는 소음을 저감하는 효과가 크게 작용한 것으로 판단된다.

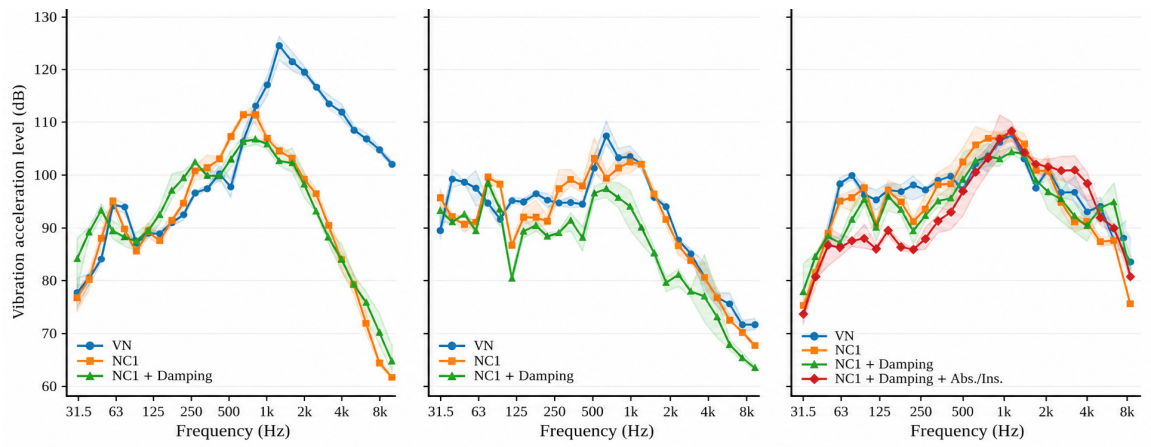
3.5 저감대책별 특성

각 저감대책의 소음 및 진동 측정결과를 종합하면, 적용 위치와 방법에 따라 소음과 진동의 저감 특성이 서로 다르게 나타났다.

Fig. 4에서와 같이 일반관을 저소음관으로 교체한 경우 수음실의 배수소음과 엘보 진동이 동시에 감소하였으며, 특히 1 kHz 이상의 중·고주파수대역에서 저감효과가 크게 나타났다. 엘보는 일반관 적용 시 가장 높은 진동가속도레벨이 측정된 위치로, 저소음관 적용에 따른 엘보 진동의 감소가 수음실 배수소음 저감과 함께 나타났다. 따라서 저소음관은 배수 시 진동이 크게 발생하는 엘보의 진동과 배관으로부터 방사되는 소음을 동시에 저감하는 데 효과가 있는 것으로 판단된다.

저소음관 표면에 제진시트를 추가 적용한 경우에는 엘보와 수평배관의 진동이 추가로 감소하였으며, 특히 수평배관의 1 kHz ~ 2 kHz 대역에서 상대적으로 높은 진동저감 효과가 나타났다. 반면 수음실 배수소음의 추가 저감량은 비교적 작게 나타났다. 이는 제진시트에 의한 배관 표면 진동저감 효과가 수평배관에서 상대적으로 크게 나타난 반면, 진동이 가장 크게 발생하는 엘보에서의 추가 저감폭은 제한적이었기 때문으로 판단된다. 따라서 배관 표면의 국부적인 진동저감이 수음실의 배수소음 저감으로 동일하게 나타나는 것은 아닌 것으로 확인되었다.

흡·차음 복합재를 추가 적용한 Case 4에서는 Case 3



(a) Elbow (b) Horizontal pipe (c) Hanger

Fig. 4 Maximum 1/3octave band vibration acceleration levels at elbow, horizontal pipe, and hanger (lines indicate the mean of three repeated measurements, and shaded areas indicate the min–max range)

과 공통으로 측정된 행거, 슬래브 및 벽체의 최대 진동가속도레벨이 각각 2.1 dB, 0.9 dB 및 6.3 dB 증가하였다. 반면 수음실의 등가소음과 최대소음은 각각 4.0 dB(A) 및 3.7 dB(A) 감소하였다. 따라서 공통 측정위치의 진동 변화와 수음실 배수소음의 변화가 동일한 경향을 나타내지 않았으며, 흡·차음 복합재에 의한 배관 방사소음 차단효과가 배수소음 저감에 기여한 것으로 판단된다. 다만, Case 4에서는 피복재 설치로 인해 엘보와 수평배관의 진동을 측정하지 못하였으므로 해당 위치의 진동 변화에 대해서는 판단하지 않았다.

SMC 천장재를 추가 시공한 경우에는 바로 이전 단계인 흡·차음 복합재 적용조건에 비해 수음실 배수소음이 가장 크게 감소하였으며, 특히 500 Hz 이상의 대부분 주파수대역에서 저감효과가 나타났다. 이러한 결과는 천장 마감재뿐 아니라 천장 내부 공간과 접합부를 포함한 전체 천장구조에 의해 배관에서 수음실로 전달되는 공기전달음이 감소한 결과로 판단된다. 다만, Case 5에서는 배관 및 구조체의 진동을 측정하지 않았으므로 천장재 적용 전·후의 진동 변화와 직접적으로 대응하여 해석하지 않았다.

이상의 결과로부터 양변기 배수소음을 효과적으로 저감하기 위해서는 배관 표면의 진동만을 저감하기보다는 배수 시 진동이 크게 발생하는 엘보를 포함한 배관계의 진동을 제어하고, 배관에서 공기 중으로 방사되는 소음과 수음실로 전달되는 소음을 함께 차단하는 방안을 적용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 공동주택 화장실 양변기 배수소음을 저감하기 위해 일반관을 기준으로 저소음관, 제진시트, 흡·차음 복합재 및 천장재를 순차적으로 적용하고, 각 조건에서 배수소음과 배관 및 구조체의 진동특성을 비교하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 일반관을 저소음관으로 교체한 결과 등가소음은 5.7 dB(A), 최대소음은 4.2 dB(A) 감소하였으며, 약 630 Hz 이상의 중·고주파수대역에서 비교적 큰 저감효과가 나타났다.

(2) 일반관 적용 시 엘보의 최대 진동가속도레벨은 129.5 dB로 측정위치 중 가장 높게 나타났으며, 저소음관 적용 후 118.2 dB로 약 11.3 dB 감소하였다. 특히 1 kHz 이상의 주파수대역에서 진동저감 효과가 크게 나타나 엘보가 양변기 배수 시 주요 진동발생 부위인 것으로 확인되었다.

(3) 저소음관 표면에 2 mm 제진시트를 적용한 경우 엘보와 수평배관의 최대 진동가속도레벨은 각각 2 kHz 대역에서 진동저감 효과가 크게 나타났으나, 배수소음의 추가 저감량은 등가소음 0.8 dB(A), 최대소음 0.7 dB(A)로 상대적으로 작게 나타났다.

(4) 흡·차음 복합재를 엘보를 포함한 배관 전체에 적용한 경우 제진시트 적용조건에 비해 등가소음은 4.0 dB(A), 최대소음은 3.7 dB(A) 추가 감소하였다. 반면 공통 측정위치인 행거, 슬래브 및 벽체의 진동가속도레벨은 감소하지 않아, 수음실 배수소음의 저감에는 배관에서 공기 중으로 방사되는 소음을 차단하는 효과가 크게 기여한 것으로 판단된다.

(5) SMC 천장재를 추가 시공한 결과 흡·차음 복합재 적용조건에 비해 등가소음은 10.7 dB(A), 최대소음은 11.1 dB(A) 추가 감소하였다. 천장재 적용에 따른 저감효과는 천장 마감재와 천장 내부 공간 등을 포함한 전체 천장구조의 차음효과가 반영된 결과로 판단된다.

이 연구의 결과, 양변기 배수소음을 효과적으로 저감하기 위해서는 진동이 크게 발생하는 엘보를 포함한 저소음 배관의 적용과 함께, 배관 외부의 흡·차음 처리 및 천장구조를 이용하여 배관에서 방사되고 수음실로 전달되는 소음을 차단하는 방안을 복합적으로 적용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

이 연구는 하나의 표준시험동과 제한된 배관 및 저감대책을 대상으로 수행한 결과로 다양한 공동주택 배관조건에 일반화하기에는 한계가 있으며, 일부 적용 대책의 진동을 측정하지 못한 한계가 있다. 추후에는 배수소음 발생에 영향이 큰 것으로 판단되는 엘보의 형상 및 구조, 배관 지지조건, 외부 피복재 및 천장 마감조건 등을 다양하게 적용하고 소음과 진동을 동시에 측정하여 각 저감대책의 전달경로별 저감효과를 보다 구체적으로 분석할 필요가 있다. 또한 실제 공동주택에서는 화장실에서 발생한 배수 진동이 슬래브와 벽체를 통해 인접 침실이나 거실로 전달될 수 있으므로, 향후에는 인접실을 포함한 소음 및 구조체 진동 측정을 통해 배수소음의 공간별 전달특성을 추가로 검토할 필요가 있다.

후 기

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00144050).

논문의 문장 표현, 영문 초록 작성 및 데이터 시각화에 생성형 AI 도구(ChatGPT, openAI)를 보조적으로 활용하였으며, 모든 결과물은 저자가 검토·수정하였음.

References

(1) Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Ministry of Environment, 2023, Rules on the Scope and Standards of Inter-floor Noise in Multi-family Housing, Sejong-si, Koera.

(2) Jo, A. H., Song, G. G. and Chung, J. Y., 2025, Survey of Perceived Living Noise in Apartment Buildings, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 88~98.

(3) Yang, H. S., Cho, H. M. and Kim, M. S., 2016, Field Measurements of Water Supply and Drainage Noise in the Bathrooms of Korea's Multi-residential Buildings, Applied Sciences, Vol. 6, No. 11, 372.

(4) Yeon, J. O., Kim, K. W., Yang, K. S. and Lee, B. K., 2014, Evaluation of Noise Characteristics of Drainage and Water Supply Systems in Apartment Bathrooms, Advanced Materials Research, Vol. 1025~1026, pp. 987~990.

(5) Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2016, Development of Water Supply and Drainage Noise Reduction Technology for Water-use Areas Such as Bathrooms, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Research Report KICT 2016-006, Goyang-si, Korea.

(6) Hwang, M. G., Do, J. and Hwang, T., 2020, Development of Low-noise Piping System in Apartment Housing, Journal of Next-generation Convergence Technology Association, Vol. 4, No. 3, pp. 329~337.

(7) Jeong, A. Y., Kim, K. W., Shin, H. K. and Yang, K. S., 2017, Characteristics of Reducing the Water-drainage Noise of Toilet-bowl According to the Composition of Water Drainage Piping Materials of the Bathrooms of Apartment Housing, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 114~120.

(8) Baek, E. S., 2007, An Experimental Study on the Noise Reduction for Toilet Stool Plumbings in Apartment Bathroom, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Journal, Vol. 7, No. 2, pp. 57~62.

(9) Däuble, L., Scheck, J. and Zeitler, B., 2023, Wastewater Pipes as Structure-borne Sound Sources: Laboratory Measurements and Finite Element Analysis, Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023, pp. 5405~5410.

(10) Korea Land & Housing Corporation, 2022, Korea Land & Housing Corporation Construction Specification, LHCS 31 20 15 40, PVC Pipe and Fittings, Jinju-si, Korea.

(11) Korean Agency for Technology and Standards, 2021, Standard Test Method of Drainage Noise in an Apartment Bathroom, KS F 2871: 2021, Eumseong-gun, Korea.

(12) Korean Agency for Technology and Standards, 2023, Rating of Water Supply and Drainage Noise in Apartment Bathrooms, KS F 2872: 2023, Eumseong-gun, Korea.