

## 파이프 구조물의 소음 및 진동특성 연구

류봉조\*, 임경빈(한밭대 기계공학부), 이규섭(통일중공업), 송영봉(LG-Caltex(주)),  
공용식, 오부진(한밭대 대학원 기계공학부)

### A Study on Noise and Vibration Characteristics of Pipe Structures

B. J. Ryu, K. B. Lim(Mech. Design Eng. Dept., HBNU), G. S. Lee(Tongil Heavy Industry),  
Y. B. Song(LG-Caltex Co.), Y. S. Kong, B. J. Oh(Graduate School, HBNU)

#### ABSTRACT

The paper presents noise and vibration characteristics of three kinds of pipe materials (PVC pipe, cast-iron pipe and newly developed pp pipe). In order to measure structure bone noise, impact force using small balls was applied to each pipe. It was confirmed that structure bone noise can be reduced by more large damping materials. Also, transmission loss of pipes depending on the frequency ranges was investigated by using sound source through speakers.

**Key Words** : Transmission Loss(투과손실), Pipe Structures(파이프 구조물), Noise and Vibration Characteristics (소음 및 진동특성)

#### 1. 서론

생활소음은 주로 도로교통소음, 공사장 소음, 갑상인들의 마이크 소리 등 다양하게 발생하고 있지만, 인간의 활동시간인 낮 시간대의 소음은 마스킹 효과(masking effect)에 의해 인간의 심리적 타격에는 그다지 큰 영향을 주지 못하고 있으며, 오히려 저녁 및 야간의 휴식시간에 발생하는 주거소음이 더 큰 영향을 주고 있다<sup>1)3)</sup>.

최근의 공동생활 주거지역은 이러한 생활소음을 고려한 설계가 크게 반영되고 있어 공기 중 전파소음은 크게 개선되었으나, 바닥충격소음이나 화장실, 욕조 등의 배관계통에 의해 발생하는 구조소음은 현재 개발되어 있는 소재로서는 소음차폐에 큰 효과를 주지 못하기 때문에 이러한 소음의 저감을 위한 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나, 새로운 파이프 소재들이 개발됨으로 인하여 기존의 주철관이나 PVC 파이프와는 다른 재료특성과 구조특성을 갖게되는 것은 자명한 일이고, 이로 인하여 파이프 소음저감 효과에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문의 목적은 주식회사 이노텍이 LG-Caltex정유(주)의 원재료 기술을 응용하여 개발한 PP 흡음관의 차음성능을 평가하고, 설계된 배관계통의 구조소음 차폐능력을 예측하기 위한 타당한

근거를 제시하는데 있다.

#### 2. 이론

아파트 주거소음 중 아직 근본적 해결이 되지 않고 있는 것은 바닥충격음과 배관소음으로 구조소음의 성격이 강한 소음원 들이다. 배관소음은 배수 중 유체와 파이프 벽면의 충돌 및 마찰에 의한 소음과 공기방울의 생성/소멸에 의해 주로 발생하는 것으로 알려지고 있다. 현실적으로 욕실 내부에서 실내로 전파되는 소음은 사용자가 주된 수음자이므로 이에 대한 고려는 크게 하지 않으며 배관을 타고 상하층으로 전달되어 이웃에 방해가 되는 소음에 대하여 여러 가지 대책을 강구하고 있는 중이다.

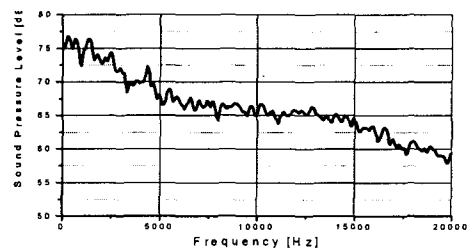


Fig. 1 Frequency characteristics of a drain noise for toilet.

화장실 배수소음은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 2 kHz 미만의 주파수 특성을 갖는 pink noise의 특성을 가지고 있으므로 구조소음 영역이 크다고 볼 수 있다. 이러한 구조소음은 구조체의 진동에 의해 소음이 재발생되는 것으로 소음전달 구조체의 고유진동수에 크게 의존하게 된다. 따라서 배관소음은 공기중 소음대책 뿐 아니라 방진대책이 병행되어야 한다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 일반적으로 벽체를 통과하는 소음의 양은 투과손실로 표현한다. 수직입사의 조건에서 투과손실은

$$TL \approx 20\text{Log}(f \cdot m) - 43 \quad (1)$$

과 같이 표현되며 여기서,  $f$ 는 주파수,  $m$ 은 차단벽의 단위면적당 질량이다. 여기서, 단위 면적당 질량  $m$ 이 크거나, 주파수  $f$ 가 높아지면 차음효과가 커진다. 공기중 소음은 파이프 벽이나 콘크리트 벽과 같은 구조물을 통과하기가 매우 어렵다. 그러나 소음의 주파수 대역 중 구조체의 고유진동수와 일치하는 영역에서는 소음이 구조체를 투과하여 전달되는 양이 많게 된다. 이를 일치효과라 한다. 그러나, Fig. 2와 같이 일치효과에 의해 차음특성이 나빠지는 구간이 존재하게 된다.



Fig. 2 Transmission loss according to frequency changes.

일치효과는 공진 주파수  $f_n$ 과 소음의 주파수가 일치하는 경우 발생하며,  $f_n$ 은 평면 벽체인 경우 다음과 같다.

$$f_n = \frac{c}{2\pi h \sin \theta} \sqrt{\frac{12\rho}{E}} \quad (2)$$

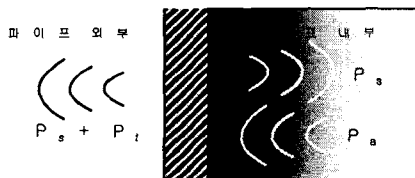


Fig. 3 Mechanism for transmission and generation of pipe noise.

Fig. 3은 배관내의 공기중 소음  $P_a$ 와 구조소음  $P_s$ 가 배관외부로 투과되는 관계를 나타내고 있다. 공기중 소음  $P_a$ 의 투과손실은 식(1)의 질량법칙을 만족하며,

$$TL_a = 20\text{Log}(P_t/P_a) \quad (3)$$

로 표현된다. 그러나 구조소음  $P_s$ 는 대부분 투과되어 이를 고려한 실제 투과손실은

$$TL = 20\text{Log}\left(\frac{P_t+P_s}{P_a+P_s}\right) \quad (4)$$

이 되어 음 차단율이 극히 저하된다. 배관투과율을 낮추기 위해서는 배관 재질을 감쇠가 큰 재질을 사용하여 진동감쇠를 시키는 것이 효과적이다.

본 논문에서는 이러한 이론에 근거하여, 기존의 PVC관, 주철관, 그리고 새롭게 개발된 PP재질을 이용한 배관계에 대해, 충격에 의한 진동감쇠능력과 배관소음의 투과손실을 실험적으로 연구하였다.

### 3. 실험장치 및 실험결과

#### 3.1 파이프 재료의 방음/방진 특성실험 및 결과

구조소음의 발생 메카니즘은 우선 진동이 발생함으로써 이 진동이 공기에 파동을 일으켜 소음이 발생하게 되는 것이다. 따라서 구조소음을 발생시키기 위해 배관에 충격력을 가해 이때 발생하는 진동과 소음의 발생량을 분석하였다.

실험방법은 플라스틱관을 일정높이에서 자유낙하시켜 파이프에 충돌한 경우 발생하는 소음과 진동을 측정하여 분석하는 것이다. 낙하높이를 일정하게 유지시킴으로써 파이프에 가해지는 운동량(혹은 충격량)을 일정하다고 가정할 수 있으며, 이때 발생하는 진동과 소음의 양은 재질의 강성과 감쇠에 크게 의존하게 된다. 실험은 내경 100 mm인 3가지 종류의 관을 1 m 길이로 잘라 양단을 고정(clamping)한 경계조건에 대하여 수행하였다. 또한, 실험시편의 두께들은 Table 1과 같다.

Table 1 Thickness and kinds of test pipes.

Test pipes	Thickness ( mm)
PP	5.4
Cast steel	4.8
PVC	3.2

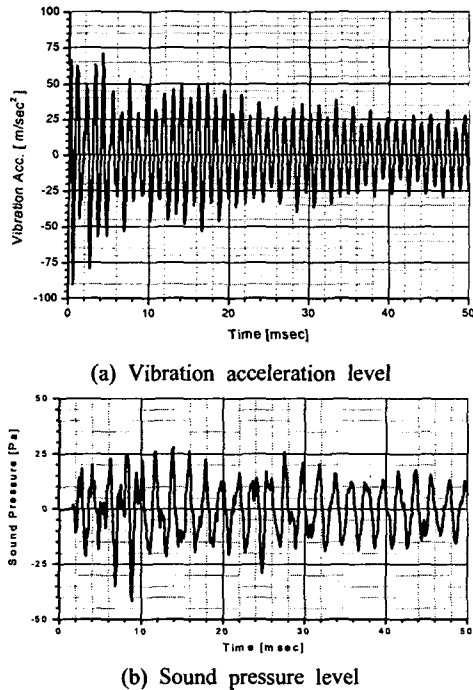


Fig. 4 Vibration and noise level for cast steel pipe in time domain.

Fig. 4(a)와 (b)는 주철관의 진동 및 소음의 크기를 시간축에 도시한 것이다. 주철관 진동이 10~20 msec 사이에서 일부 증가된 것은 고정부에서 반사된 진동파의 영향이며 이것은 곧 소멸된다. 50 msec 동안 진행된 진동신호를 보면 감쇠가 거의 이루어지고 있지 않으며, 소음의 크기도 줄지 않고 있다. Modal testing 에 의하면 주철관의 고유진동수는 500 Hz부근이나, 발생하는 진동은 super harmonic인 1 kHz부근이 지배적이다. 반면에 소음은 500 Hz가 지배적으로 나타나고 있다.

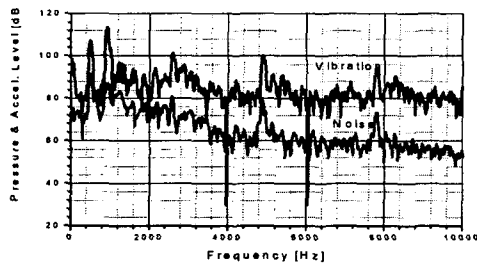


Fig. 5 Vibration and noise level for cast steel pipe in frequency domain.

Fig. 5의 주파수영역 그림은 진동과 소음의 상사성을 잘 보여주고 있다. Fig. 6은 PP관의 진동크기

를 시간축에 도시한 것이다. 진동뿐만 아니라 소음의 크기도 상당히 감쇠되고 있음을 알 수 있다. 즉, PP관은 주철관에 비해 감쇠성능이 우수하다는 것을 보여주고 있으며, Fig. 7 및 8의 PP와 PVC관의 주파수 영역결과에서 저주파영역(진동영역)에서 공진현상이 뚜렷이 나타나지 않는 것도 같은 이유이다.

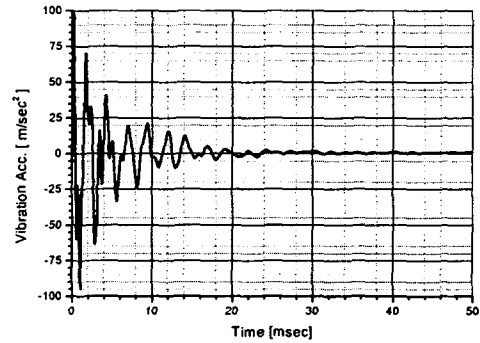


Fig. 6 Vibration acceleration level for PP pipe in time domain.

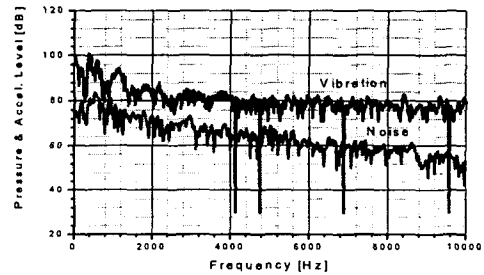


Fig. 7 Vibration and noise level for PP pipe in frequency domain.

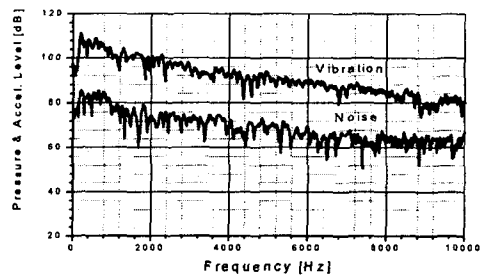


Fig. 8 Vibration and noise level for PVC pipe in frequency domain.

Table 2는 3가지 배관에 대한 구조소음 및 진동에 대해 실험한 결과를 보여주고 있으며, 소음/진동의 최대 발생량을 비교해보면 감쇠가 큰 PP관이 가장 효과가 큰 것을 알 수 있다. 이는 PP관의 감쇠능력이 좋아 충격으로 발생한 진동이 급격히 감소

함으로써 구조소음도 함께 감소한다는 것을 말한다.

Table 2 Vibration level and structural noise level due to impact.

	PP pipe	Cast steel pipe	PVC pipe
Vibration	101 dB	113 dB	114 dB
Noise	84 dB	92 dB	86 dB

### 3.2 투과손실 실험장치 및 실험결과

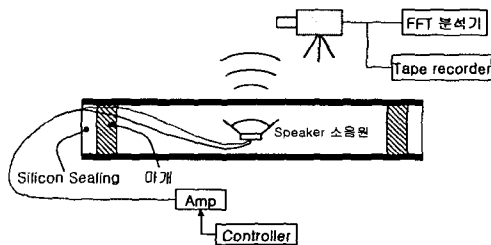


Fig. 9 Experimental set-up for transmission loss of pipes.

배관 내부에서 발생한 소음이 외부로 방출되는 것을 막을 수 있는 능력을 정량적으로 나타낸 것이 투과손실이다. 그러나 공기중 소음  $P_0$ 로 인해 배관벽이 진동(특히 공진점)을 하게 되면 구조소음이 발생하여 투과손실이 저하되게 된다. 따라서 배관의 소음차폐능력을 실험적 방법에 의한 투과손실로 결정될 수 있다. 실험장치의 개략도는 Fig. 9와 같다. 소음원은 Audio용 스피커를 사용하였으며 200watt power amp.를 제작하여 스피커를 구동시켰다. 음은 불규칙음(pseudo-random noise)을 사용하여 가청주파수(16 Hz ~ 20 kHz)내에서 음을 발생시켰다. 배관 벽을 투과하는 음에 대해서만 투과손실을 평가하기 위해 배관의 양단은 10 mm 두께의 아크릴로 막고 실리콘으로 단단히 차폐하였다. 투과손실 측정방법은 배관내 스피커 음의 크기와 배관밖에서 측정된 투과된 음의 비를 dB로 나타낸다.

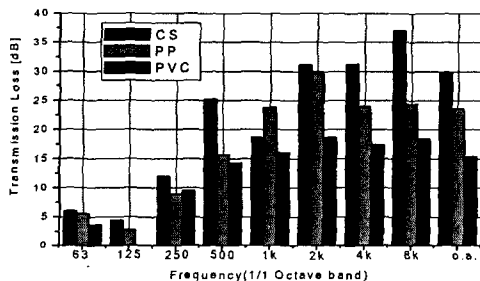


Fig. 10 Transmission loss of pipes for 1/1 octave band.

Fig. 10은 Fig.9의 실험장치를 통해 측정된 결과를 이용하여 계산한 각 배관별 투과손실량이다. 1/1 옥타브 밴드의 각 중심 주파수 대역별에 있어, 전체적으로 주철관의 경우가 PP관이나 PVC관보다 투과손실이 큼을 알 수 있다. 그러나 협대역(narrow band) 분석에 있어서는 PP관의 경우 구조진동 영역인 약 700에서 1500 Hz대역에서 주철관보다 높은 투과손실을 나타내 보였다.

실제로 한 공동주거지역의 화장실 배수소음의 최고 음압레벨을 측정해 본 결과, 주파수대역이 600-2000 Hz 대역인 것으로 나타났으며, 이러한 점에서 PP관은, 화장실 배수소음과 같이 구조소음이 큰 경우에는 높은 차음효과를 줄 수 있는 재료로 평가할 수 있다.

1/1 octave band로 표시한 막대그래프의 마지막 값은 각 중심 주파수에서의 투과손실을 합한 전체 투과손실량을 의미하며 Fig. 10에서 투과손실은 PP관, 주철관 및 PVC관의 순으로 투과손실이 크게 나타났으며, 투과손실의 총량을 정량적으로 제시하면, 주철관은 29.8 dB, PP관은 23.6 dB, PVC관은 15.4 dB의 순으로 투과손실이 감소된다.

### 4. 결론

- 1) 충격에 의한 파이프의 진동/소음 특성시험으로부터, 진동으로부터 구조소음이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 구조소음은 진동을 감쇠 시킴으로써 소거가 가능하며, PP관과 같은 감쇠가 큰 재질을 사용하는 것이 효과적 이라는 것을 확인하였다.
- 2) 재질이 다른 3가지 파이프에 대한 투과손실 측정시험으로부터 감쇠가 우수한 재질을 사용함으로써 면밀도가 작은 PP관이 PVC관보다 투과손실이 월등히 우수했으며, 주철관에 비해서는 주철관의 질량효과 영향으로 인해 전체 주파수대역에서 평균적으로 낮은 투과손실을 나타내 보였다. 그러나, 실제로 한 공동주거지역의 화장실 배수소음의 최고 음압레벨을 측정해본 결과 그 주파수대역이 600에서 2000 Hz 대역인 것으로 나타났고, 약 700에서 1500 Hz대역에 있어서는 PP 파이프의 경우가 주철관에 비해 약간 높은 투과손실을 나타내었다.

### 참고문헌

1. 김광준, 김정태, 김중희, 이원경, 임병덕, "소음과 진동(I)", 피어슨 에듀케이션 코리아, 1996.
2. 김광준, 김정태, 김중희, 이원경, 임병덕, "소음과 진동(II)", 피어슨 에듀케이션 코리아, 1996.
3. 박상규, 이도원, 류봉조, 장태사 공역, "소음진동학", 도서출판 동화기술, 1998.