

파이프 구조물의 구조진동 및 소음특성

류봉조*, 신광복(한밭대학교 기계공학부), 한현희(한밭대학교 대학원 기계설계공학과),
이규섭((주)텍트리)

Structural Vibration and Noise Characteristics of Pipe Structures

B. J. Ryu, G. B. Shin(Mech. Eng. Dept., HNU), H. H. Han(Graduate School, Mech. Eng. Dept., HNU)
and G. S. Lee(Tektree, Ltd)

ABSTRACT

The paper deals with the structural vibration and noise characteristics of pipe structures. In general, A structure bone noise has a great effect on the drain noise of toilets, and depends on the natural frequency of the related structures. In order to measure and to find the relationships between structural vibration and noise of the pipe structures, some experiments have been performed. Through the experiments, impact acceleration signal in time domain and magnitude of transfer function in the frequency domain have been investigated for three kinds of pipes. Transmission loss of pipes depending on the frequency ranges was also found by using small speakers as a sound source.

Key Words : A Drain Noise(배수소음), Structural Vibration and Noise(구조진동 및 소음), Pipe Structures(파이프 구조물), Transmission Loss(투과손실)

1. 서론

오늘날 현대생활은 물질문명의 이기속에, 생활의 안락함과 쾌적함이 증대되고 있는 반면에, 인간의 심리적 민감도는 더욱 예민해짐으로써 생활환경에 대한 관심이 날로 증가되고 있는 실정이다. 최근의 아파트 및 공동생활 주거지역은 이러한 생활소음을 고려한 설계가 크게 반영되고 있어 공기 중 전파소음(air born noise)은 크게 개선되었으나, 바닥충격소음이나 화장실, 욕조 등의 배관계통에 의해 발생하는 구조소음(structure born noise)은 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 갖게 되는 것은 자명한 일이고, 이로 인하여 파이프 소음저감 효과에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다⁽¹⁾⁻⁽³⁾.

본 논문에서는 오배수관으로 사용되는 파이프의 소재특성들이 차음효과에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 파이프 종류에 따른 진동특성과 그에 따른

투과손실 특성의 변화를 실험방법으로 고찰하였다.

2. 이론

공동생활 주거지역이나 아파트 주거소음 중 명쾌하게 해결이 되지 않고 있는 것은 바닥충격음과 배관소음으로, 구조소음의 성격이 강한 소음원들이다.

배관계 소음은 유체와 파이프 벽면의 충돌 및 마찰에 의한 소음과 공기방울의 생성 및 소멸에 의해 주로 발생하는 것으로 알려지고 있다.

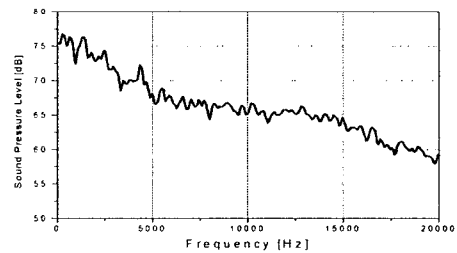


Fig. 1 Frequency characteristics of a drain noise for toilet.

화장실 배수소음은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 2 kHz 미만의 주파수 특성은 갖는 pink noise의 특성을 가지고 있으므로 구조소음 영역이 크다고 볼 수 있다. 이러한 구조소음은 구조체의 진동에 의해 소음이 재차 발생하는 것으로 소음전달 구조체의 고유진동수에 크게 의존하게 된다.

일반적으로 벽체를 통과하는 소음의 양은 투과손실로 표현된다. 실험적으로 투과손실을 결정한 식을 사용할 때는 다음 식을 사용한다.

$$\text{수직입사} : TL_0 = 20 \log(mf) - 43 \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$\text{난입사} : TL_0 = 18 \log(mf) - 44 \text{ [dB]} \quad (2)$$

여기서, m 은 면밀도, f 는 주파수를 의미한다.

3. 실험장치 및 결과분석

3.1 구조진동과 소음의 연관성

Fig. 2는 구조진동 실험을 위한 실험장치의 개략도를 제시하고 있다. 수직 프레임의 상단에 가늘은 실을 사용하여 파이프의 한단을 매달고 타단은 자유로운 상태를 유지하였다. 충격망머로 충격력을 파이프 계에 주어 발생하는 진동 및 소음의 크기를 측정하고 전달함수를 구하였다. 실험은 경계조건의 영향을 최소화하기 위하여 양단 자유의 경계조건이 유지되도록 매달아 놓은 상태에서 수행하였다.

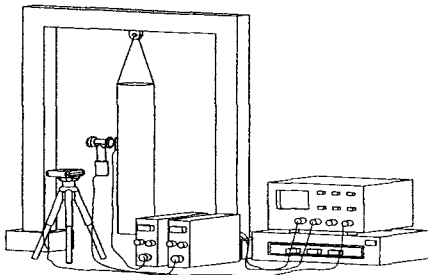


Fig. 2 Schematic diagram for experimental setup.

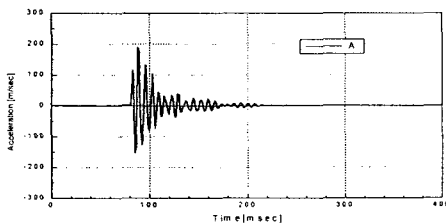


Fig. 3 Impact acceleration signal in time domain (pipe A).

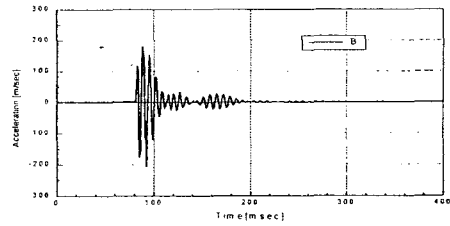


Fig. 4 Impact acceleration signal in time domain (pipe B).

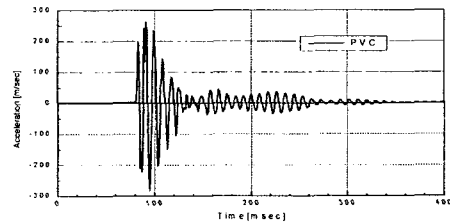


Fig. 5 Impact acceleration signal in time domain (pipe PVC).

Fig. 3-Fig. 5는 PP계열 파이프 Type A, B와 PVC 파이프의 각각에 대해 시간 축에서 나타낸 충격 가속도신호를 보여주고 있다. 가속도 신호들은 맥놀이 현상을 보이고 있어 좁은 주파수 구간에 몇 개의 공진점이 모여 있음을 알 수 있다. 시간 축에서 나타낸 주요 주파수들은 Table 1과 같다.

Table 1 Dominant frequency of acceleration signals due to impact.

Test pipes	Type A	Type B	PVC
Dominant frequency (Hz)	145	160	120

고유진동수 $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 이므로, PVC를 기준으로 강성 k 는 Table 2와 같이 상대값으로 평가할 수 있다.

Table 2 Relative stiffness of various pipes

Test pipe	Type A	Type B	PVC
Mass(kg)	1.805	1.870	1.650
Ratio of stiffness	1.335	1.569	1.000

Table 2의 결과로 PP계열 파이프 시편 A와 B는 PVC 파이프와 비교하여 면밀도는 약 10% 높으며, 강성은 35~55% 정도 높은 것으로 나타났다. 본 논문에서는 충격력에 의해 발생한 충격소음도 측정

하였는데 소음은 가속도 신호와는 달리 시간 축에서 명백한 주파수 구분이 되지 않았지만 전체 경향은 가속도 신호와 유사하였다.

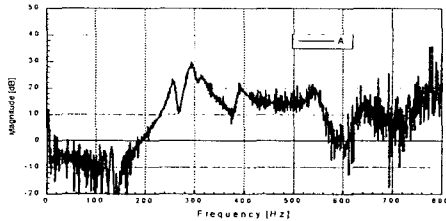


Fig. 6 Magnitude of transfer function(acceleration vs impact force) (pipe A).

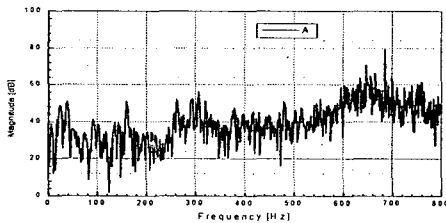


Fig. 7 Magnitude of transfer function(noise vs impact force) (pipe A)

Fig. 6은 파이프 시편 A에 대한 충격력과 가속도 신호의 전달함수를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 260Hz와 290Hz 부근에서 peak 점이 나타나고 있고, 이것은 파이프 시편 A의 공진점으로 사료된다.

Fig. 7은 파이프 시편 A에 대한 충격력과 소음 신호의 전달함수를 나타낸다. 가속도 신호가 크게 나타나는 260~290 Hz 대역에서 소음의 크기가 크게 나타나고 있어 가속도와 소음의 상호관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 충격력에 의한 소음의 발생은 파이프 진동에 의해 파생된다는 것을 의미한다.

소음 신호는 가속도 신호와 같이 뚜렷한 모드(mode)가 나타나지 않으므로(시간 영역이나 주파수 영역에서 확인할 수 있음) 소음은 1/1 octave band로 표현하는 경우가 많다.

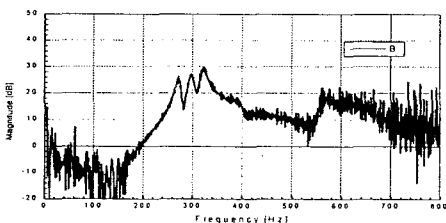


Fig. 8 Magnitude of transfer function(acceleration vs impact force) (pipe B)

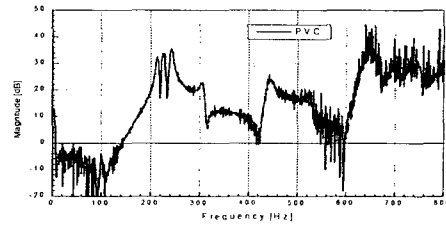


Fig. 9 Magnitude of transfer function(acceleration vs impact force)(pipe PVC)

Fig. 6, Fig. 8, Fig. 9는 각각 PP파이프계 시편 A, B 그리고 PVC에 있어, 충격력에 대한 가속도의 전달함수를 보여준다. 이 그림들로부터 공진주파수와 가속도 크기를 비교하면 Table 3과 같다.

Table 3 Magnitude of acceleration at resonance point

Contents		Type A	Type B	PVC
#1	Freq.(Hz)	256	271	212
	Mag.(dB)	23.3	26.5	32.7
#2	Freq.(Hz)	295	297	223
	Mag.(dB)	29.6	27.3	33.8
#3	Freq.(Hz)	313	322	241
	Mag.(dB)	25.9	30.0	35.8

파이프는 쉘(shell) 구조로 여러 개의 모드가 복합적으로 나타난다. 이들 파이프 계의 경우 1차 고유진동수 부근에 3개의 모드가 복합적으로 나타나고 있다. 주된 모드는 굽은 글씨체로 표현하였다.

Table 2의 시간영역에서 나타난 모드의 주파수는 Table 3의 주된 주파수의 약 1/2로 1/2차 분수조파 진동이 나타나고 있음을 알 수 있다. 시간영역에서 확인한 바와 같이 PP파이프계 시편 A와 B의 강성이 상대적으로 커서 공진 주파수가 높으며, 가속도 레벨은 작은 값으로 나타나고, PVC의 강성은 낮아 가속도 레벨이 높다. 이것은 구조 소음의 영역에서는 PP파이프계 시편 A, B가 PVC 파이프보다 우수한 특성을 가지고 있다는 것을 의미한다.

3.2 투과손실 실험 및 결과

Fig. 10과 같이 실험장치를 구성하여 파이프 시편들의 투과손실을 측정하였다. 파이프 내부에 위치한 소음원 스피커에 음원을 주어 발생하는 소음을 파이프 외부에서 측정하여 투과손실을 계측하였다.

스피커 음원 입력에 대해 파이프를 투과한 소음원 크기의 상호관계로써 투과손실을 결정하였다.

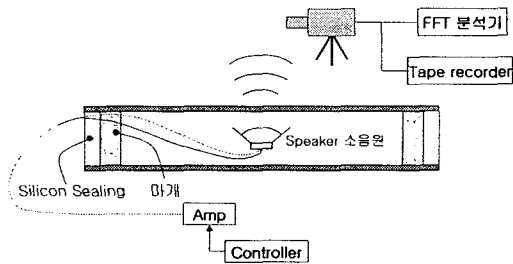


Fig. 10 Experimental setup for transmission loss of various pipes.

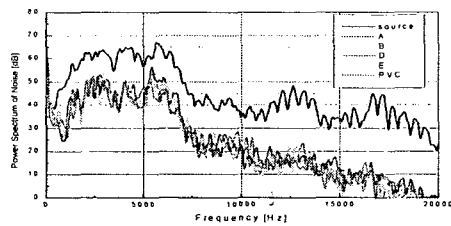


Fig. 11 Power spectrum of noise source and transmitted sound.

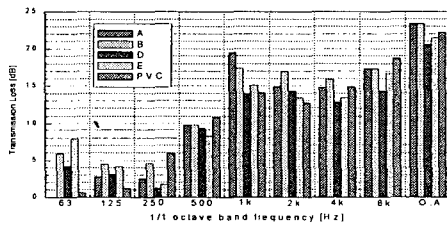


Fig. 12 Transmission loss in frequency domain.

Fig. 11은 소음원, 4개의 PP계열 파이프, PVC파이프 시편들을 통과한 소음원의 음압레벨을 제시하고 있다. 5개의 파이프 시편들이 유사한 수준을 보이고 있는데, 일반적으로 환경소음에서는 63Hz에서 8kHz까지의 중심주파수 만을 취급한다.

Fig. 12는 1/1 옥타브밴드에서 63Hz부터 중심주파수를 중심으로 나타낸 투과손실 그림이다. 이를 표로 제시하면 Table 4와 같다. 전체 소음레벨(Over All)을 살펴보면, 파이프 시편 A, B와 파이프 시편 D, E는 2-3 dB 차이가 나므로, 차음성능이 파이프 시편 A, B가 우수하다고 할 수 있다. 그러나, 파이프 시편 A, B와 PVC파이프의 비교는 약 1 dB의 투과손실 차이가 있으므로 그다지 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 250Hz 및 500Hz의 1차 공진점이 존재하는 구간에서 PVC의 투과손실이 상대적으로 우수하게 나타난 것은 구조감쇠의 영향으로 보이며, 시편 파이프는 그 외의 저주파 영역과 1~4

kHz 영역에서 우수한 투과손실을 갖는 것으로 나타났다. PP파이프계 시편소재 A, B의 경우, 구조감쇠를 개선시키면 기존의 PVC 파이프에 비해 우수한 특성을 가질 것으로 예상되며, PP파이프계 시편의 가공 내면이 매우 불균일하여 투과손실 성능을 저하시킨 한 원인이 되었을 것으로 추측된다.

Table 4 Transmission loss for various pipes

Freq (Hz)	63	125	250	500	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	O. A.
Test pipe A	0.0	2.8	2.5	9.8	19.5	14.9	14.8	17.3	23.4
Test pipe B	5.9	4.5	4.6	9.8	17.4	16.9	15.9	17.3	23.3
Test pipe D	4.2	3.1	1.2	9.2	14.0	14.4	12.8	14.3	20.5
Test pipe E	7.9	4.1	1.7	8.2	15.1	13.4	13.4	16.7	21.5
PVC	0.6	1.2	5.9	10.9	14.1	12.7	14.9	18.7	22.3

4. 결론

첫째, 기존의 PVC 배관에 비하여 새로운 재료의 시험용 파이프 A, B는 면밀도 (PVC파이프에 비해 10% 정도 큼)에 비하여 강성이 큰 재료(PVC 파이프에 비해 40% 내외 큼)로써 공진주파수를 높임으로써 구조소음 제거에 효과가 있는 재료로 판단되었다. 둘째, 투과손실 실험 결과, 파이프 시편 A, B는 파이프 시편 D, E에 비해 2~3 dB의 높은 차음특성을 가지고 있으며, PVC 파이프에 대해서는 1 dB 수준의 높은 차음특성을 가지고 있다. 일반적으로 차음성능의 차별화는 3 dB 이상이 요구된다. 실험에 사용된 PP파이프계 시편 A, B의 내부 가공이 불균일하여 차음특성에 악영향을 미쳤을 것으로 예상되며, 이의 개선과 구조감쇠 개선으로 기존의 PVC파이프보다 소음저감의 파이프소재로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 김광준의 4인 공역, "소음과 진동(I)" 피어슨에듀케이션코리아, 1996.
2. 김광준의 4인 공역, "소음과 진동(II)" 피어슨에듀케이션코리아, 1996.
3. 박상규의 3인 공역, "소음진동학", 도서출판 동화기술, 1998.