

다공관 출구로부터 방사된 충격성 소음의 전파특성에 관한 실험적 연구

허성욱* · 이명호** · 이동훈*** · 황 윤****

An Experimental Study on the Propagation Characteristics of the Impulse Noise from the Exit of a Perforated Pipe

Sung-Wook Heo* · Myeong-Ho Lee** · Dong-Hoon Lee*** · Yoon Hwang****

ABSTRACT

This experimental study describes the propagation characteristics of the impulse noise emitted from the exit of a perforated pipe attached to the open end of a simple shock tube facility. The pressure amplitudes and directivities of the impulse wave propagating outside from the exit of pipe with several different configurations are measured and analyzed for the range of the incident weak shock wave Mach number between 1.02 and 1.2. In the experiments, the impulse waves are visualized by a Schlieren optical system for the purpose of understanding their propagation characteristics. The results obtained show that for the near sound field the impulse noise strongly propagates toward the pipe axis, but for the far sound field the impulse noise uniformly propagates toward the omnidirections, indicating that the directivity pattern is almost same regardless of the pipe type. For this non-directivity in the far sound field, it is shown that the perforated pipe has little performance to suppress the impulse noise.

초 록

본 연구에서는 다공관의 출구로부터 전파하는 충격성 소음의 전파특성을 실험적으로 파악하였다. 다공관은 공극율, 구멍지름 그리고 관의 길이를 각기 다르게 제작하여 충격파 관 출구에 부착하여 실험하였다. 충격파 전파마하수는 실제의 적용조건을 참고하여 1.02-1.2의 범위로 하였다. 지향성은 근음장과 원음장으로 구분하여 측정하였다. 또한 충격성 소음원인 펄스파의 전파과정을 조사하기 위하여 쉐리렌 광학장치를 이용하였다. 실험결과로부터 다공관의 소음저감 성능은 음장조건에 좌우됨을 알았다. 즉 근음장 조건에서는 다공관의 공극율과 관의 길이가 소음저감에 다소간의 영향을 미치지만, 원음장 조건에서는 다공관이 충격성 소음의 저감에 거의 기여하지 못하였다. 이와 같이 음장조건에 따라 충격성 소음의 저감능력이 다르게 되는 것은 근음장 조건에서는 관축방향으로 강한 지향성을 보이지만, 원음장 조건에서는 모든 방향으로 같은 세기로 전파하는 무지향성이기 때문이다.

Key Words: Directivity(지향성), Impulse Noise(충격성 소음), Impulse Wave(펄스파), Perforated Pipe(다공관), Shock Wave(충격파), Unsteady Flow(비정상 유동)

† 2003년 3월 3일 접수 ~ 2003년 5월 8일 심사완료

* 학생회원, 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

** 비회원, 서울산업대학교 기계공학과

*** 정회원, 서울산업대학교 기계공학과

**** 비회원 서울산업대학교 기계공학과

연락처, E-mail: ldh@snut.ac.kr

1. 서 론

관내를 전파하는 압축파나 충격파가 관의 출구로부터 대기로 방출하게 되면 강력한 세기의 소음과 함께 펄스형의 강한 압력파를 발생하게

된다. 이 때 대기로 전파하는 압력파의 동적거동이 펄스형태를 취하기 때문에 통상 펄스파라고 부르며, 펄스파에 의한 소음을 충격성 소음이라 한다[1]

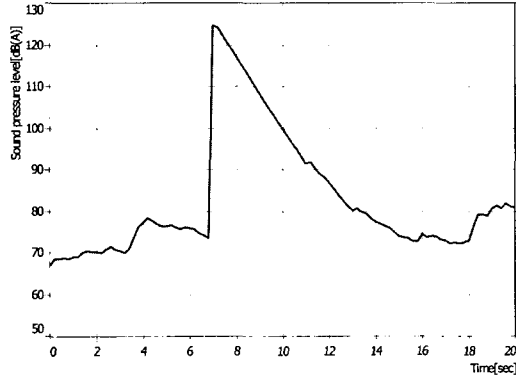


Fig. 1 Time history of impulse noise emitted from a cannon

충격성 소음은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 비록 지속시간이 짧더라도 순간적인 피크압력이 매우 높기 때문에 수음자가 충격성 소음에 노출되면 청력장애를 불러 일으킬 뿐만 아니라 심한 경우 주변 구조물의 진동파괴까지도 야기할 수 있다. Fig. 1은 전차포 발사시 발생한 충격성 소음의 음압레벨을 시간축에 대하여 나타낸 것으로서 포신출구로부터 발사방향으로 70 m 떨어진 곳에서 측정한 결과이다. 충격성 소음은 대포나 화기류 뿐만 아니라 고속열차/터널시스템, 자동차의 배기관 그리고 건설현장의 발파시공을 비롯한 각종 고압 플랜트의 배관계 등과 같은 광범위한 분야에서 발생하는 환경소음[2]으로서 이에 대한 저감대책 수립이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 충격성 소음에 대한 저감장치 개발의 일환으로 배기형 소음기의 소음 억제 요소로 널리 쓰이는 다공관[3,4]을 대상으로 하여, 다공관 출구로부터 전파하는 충격성 소음의 전파특성과 함께 소음저감 성능을 파악하고자 한다. 다공관은 공극율, 구멍지름 그리고 관의 길이가 각기 다른 9종류로 제작하였으며, 다공관을 대기 개방형 충격파관 출구에 부착하

여 실험하였다. 충격성 소음의 전파특성은 근음장과 원음장 두 음장 모두에서 측정하였으며, 직관에 대해서도 동일한 실험을 하여 다공관 실험결과와 비교하였다. 또한 펄스파의 전파과정은 쉘리펜 광학장치를 이용하여 조사하였다. 충격파 전파마하수는 실제의 적용조건을 참고하여 $M=1.02\sim 1.2$ 의 범위로 하였다.

2. 실험

Fig. 2는 실험장치의 개략도로서 대기 개방형 충격파관을 도시한 것이다.

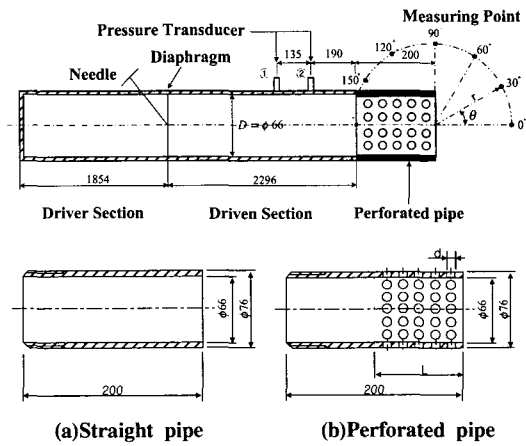


Fig. 2 Experimental apparatus and tested pipes

충격파관은 안지름 66 mm인 원형 강관이며, 고압실과 저압실 사이에 위치한 격막재료로는 두께 0.02 mm인 셀로판 시트를 이용하였다. 고압실은 압축된 건조공기로 충전되어 있고 격막을 파막시키기 위한 격침이 장착되어 있다. 시험대상체인 다공관은 Table 1에 도시된 제원으로 제작하였다.

충격성 소음의 측정은 음장종류에 따라 달리 하였다. 근음장에서의 충격성 소음은 압력센서(PCB 112A21)를 이용하여 측정하였으며, 측정신호는 증폭기를 거쳐 오실로스코프(Lecroy, LT584)에 입력하여 분석하였다. 반면에 원음장에서의 충격성 소음은 1/2인치 콘덴서 마이크로

폰(B&K, 4191)을 이용하여 측정하였으며, 주파수분석기(B&K, 2825)에서 분석하였다. 마이크로폰이나 압력센서의 설치높이는 지면으로부터 1500 mm이다. 참고로 원음장 및 근음장 영역의 구분은 음압진폭 측정값이 거리의 역이승법칙에 만족하는지의 여부를 조사하여 결정하였다. 또한 펄스파의 전파과정은 쉐리렌 광학장치를 이용하여 가시화하였다.

마하수를 변화시키면서 충격성 소음의 피크음압을 측정한 결과이다. 종축의 값 $\Delta P_m / Pa$ 는 충격성 소음의 피크음압 ΔP_m 을 대기압 P_a 로 무차원화한 근음장내에서의 음압진폭을 나타낸다. 그림 (a)에 도시된 $\theta = 0^\circ$ 결과에서는 다공관출구로 방사된 충격성 소음의 피크음압이 직관에서와 같이 충격파 전파마하수에 의존하고 있음

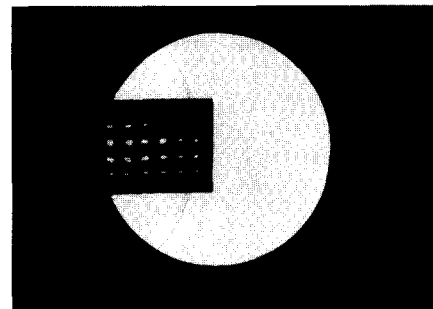
Table 1. Dimensions of perforated pipes

Porosity, σ (%)	Hole diameter, d (mm)	Perforated length, L (mm)	Adjusted parameters
6	7	132	Porosity
10			
19			
10	3	132	Hole diameter
	7		
	12		
10	7	66	Perforated length
		132	
		198	

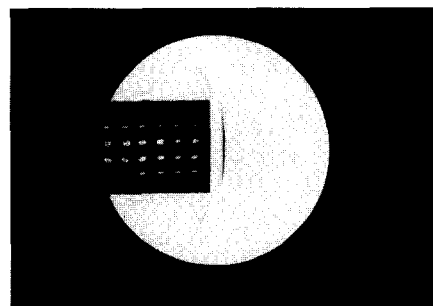
3. 결과 및 고찰

Fig. 3는 다공관 출구로부터 전파하는 펄스파의 전파과정을 시간대별로 촬영한 가시화 결과이다. 충격파 전파마하수 $M=1.2$ 이며, 전파시간 t 는 펄스파가 충격파관에 부착된 센서 ①를 통과한 시점부터 관출구로 방출되어 촬영되기까지 소요된 시간을 의미한다. 먼저 그림 (a)의 결과는 펄스파가 다공관의 원주방향으로 방출되어 전파하는 것을 보여주고 있다. 또한 그림 (b)와 같이 펄스파가 관출구로 방출될 때는 원주방향보다는 관측방향으로 강한 평면파 형태로 전파하는 것을 볼 수 있다. 즉 다공관의 경우도 근음장영역 내에서는 직관에서와 같이 관측방향으로 강한 빔형태의 지향특성[2]을 가짐을 알 수 있다. 그러나 시간이 경과할수록 펄스파는 그림 (d)와 같이 점차 구면파 형태로 변환되어 전파하는 것을 볼 수 있다.

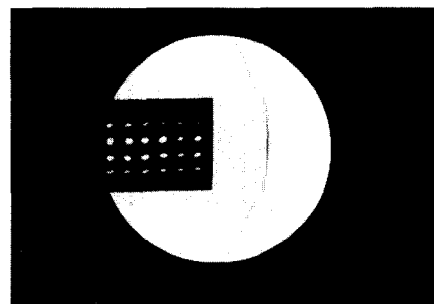
Fig. 4는 각기 다른 공극율을 갖는 다공관을 충격파관 출구에 부착한 상태에서 충격파 전파



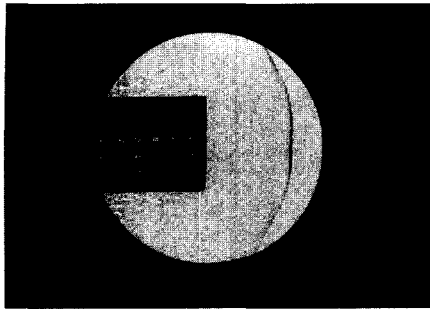
(a) $t=1.27ms$



(b) $t=1.33ms$



(c) $t=1.39ms$

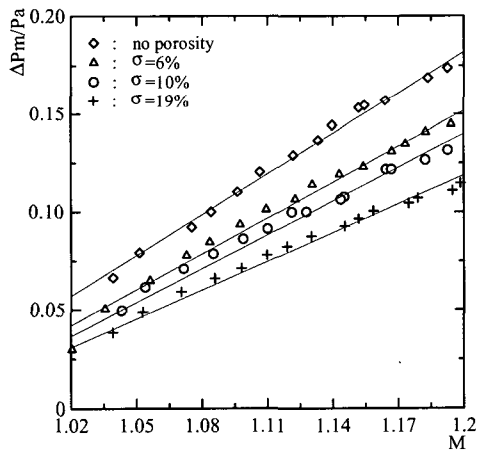


(d) $t=1.45\text{ms}$

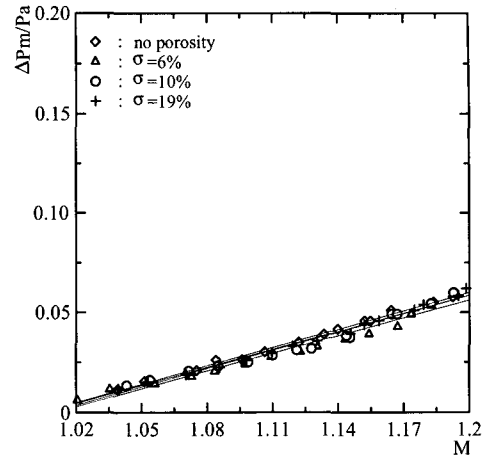
Fig. 3 Schlieren pictures showing impulse wave discharged from the exit of a perforated pipe ($\sigma=19\%$ and $M=1.2$)

을 보여주고 있다[2].

특히 다공관의 공극율이 커질수록 충격성 소음의 감소폭 역시 더 커지는 것을 알 수 있는데, 이것은 Fig. 3에서도 확인하였듯이 관내로부터



(a) $\theta=0^\circ$, $r/D=2$, $d=7$, $L=2D$

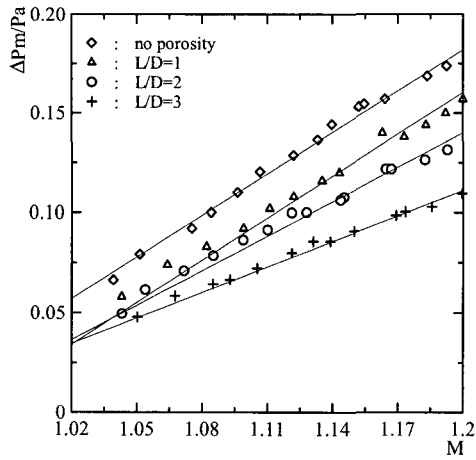


(b) $\theta=60^\circ$, $r/D=2$, $d=7$, $L=2D$

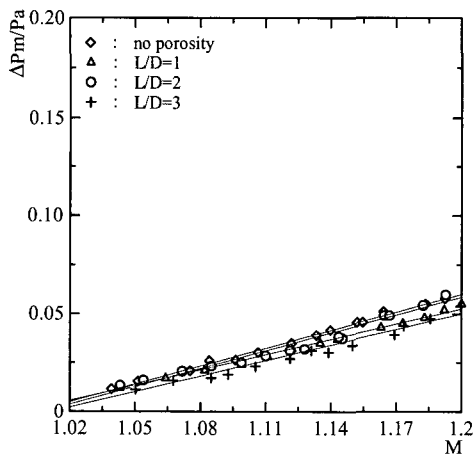
Fig. 4 Variation of the peak sound pressure with porosity for the perforated pipe

방출된 펄스파가 관측방향은 물론 원주방향으로도 전파되었기 때문이다. 또한 Fig. 4 (b)에 도시된 $\theta=60^\circ$ 결과에서는 충격성 소음의 피크음압 모두가 관측방향의 결과와 비교하여 훨씬 감소된 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 Fig. 3에서도 확인하였듯이 충격성 소음이 관측방향으로 강한 지향성을 갖고 전파하기 때문이다.

Fig. 5는 서로 다른 길이의 다공관을 충격파관 출구에 부착한 상태에서 충격파 전파마수를 변화시키면서 충격성 소음의 피크음압을 측정된 결과이다. 도시된 Fig. 4 (a)의 결과에서도 Fig. 4 (a)에 도시된 공극율 결과와 같이 다공관의 길이가 길어질수록 관내를 전파



(a) $\theta = 0^\circ$, $r/D = 2$, $d = 7$, $\sigma = 10\%$



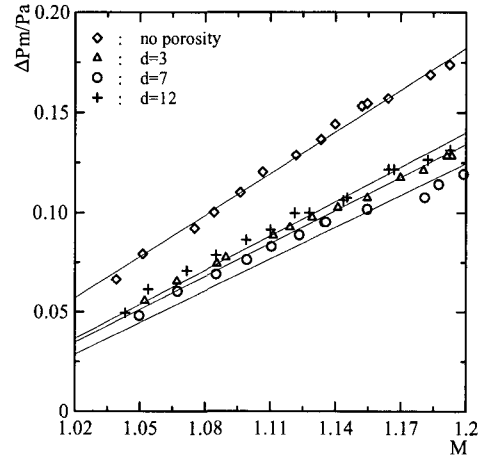
(b) $\theta = 60^\circ$, $r/D = 2$, $d = 7$, $\sigma = 10\%$

Fig. 5 Variation of the peak sound pressure with perforated length for the perforated pipe

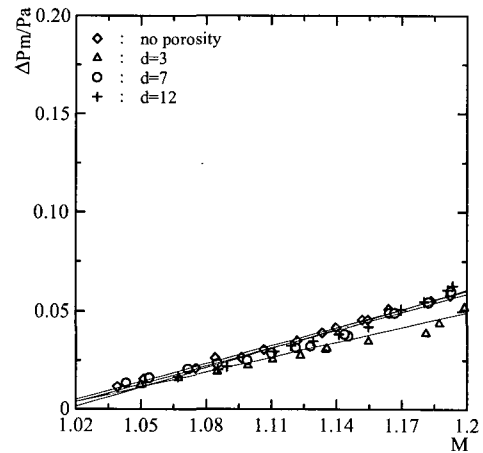
하는 충격파의 압력감소로 인하여 충격성 소음의 피크음압이 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 함께 그림 (b)의 $\theta = 60^\circ$ 방향으로 전파하는 충격성 소음의 피크음압 역시 Fig. 4 (b)와 거의 같은 경향을 나타내고 있다.

Fig. 6은 서로 다른 크기의 구멍지름을 갖는 다공관을 충격파관 출구에 부착한 상태에서 충격파 전파마하수를 변화시키면서 충격성 소음의 피크음압을 측정된 결과이다. 그림 (a)에 도시된 결과를 보면 구멍지름이 변화한 만큼 충격성 소

음의 음압진폭이 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 충격성 소음의 저감에는 구멍지름보다는 공극율 및 다공관 길이가 미치는 효과가 더 크다는 것을 알 수 있다.



(a) $\theta = 0^\circ$, $r/D = 2$, $\sigma = 10\%$, $L = 2D$



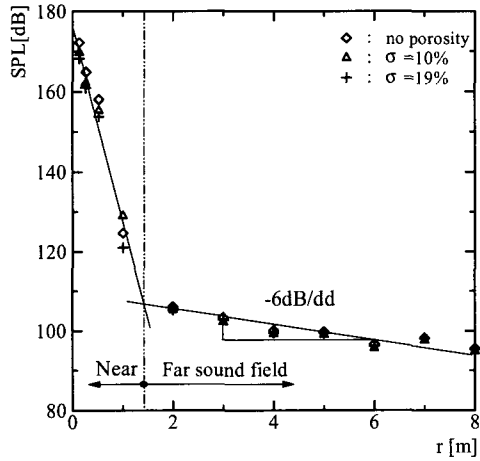
(b) $\theta = 60^\circ$, $r/D = 2$, $\sigma = 10\%$, $L = 2D$

Fig. 6 Variation of the peak sound pressure with hole-diameter for the perforated pipe

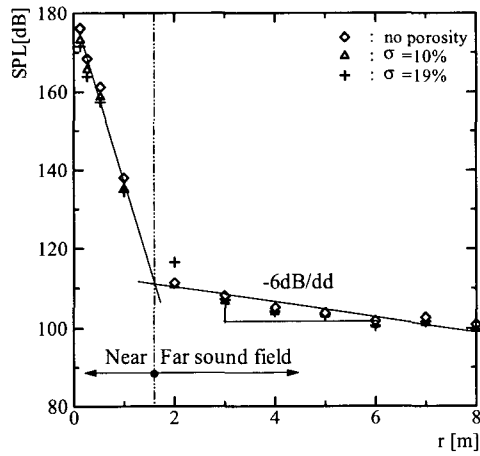
Fig. 7은 전파거리별로 측정된 충격성 소음의 피크음압을 나타낸 것이다. 피크음압은 충격파관 안지름을 D 라 할 때, 관의 출구로부터 관축 방향으로 $2D$, $4D$, $8D$ 지점에서 그리고 1 m에서 8 m까지는 1 m씩 거리를 증가시키면서 측정하였다. 도시된 결과에서 보듯이 추세선이 교차하는 1 m와 2 m사이가 근음장과 원음장을 구분짓

는 경계가 됨을 알 수 있다. 즉 근음장에서는 전파거리가 증가함에 따라 음압레벨이 급격히 감소하는 반면에, 원음장에서는 전파거리가 2배로 증가할 때마다 음압레벨이 약 6 dB씩 감소하는 즉, 거리의 역 이승법칙을 잘 나타내주고 있다.

특히 근음장에서는 공극을 증가에 따라 음압레



(a) $\theta=0^\circ$, $M=1.1$, $d=7$, $L=2D$



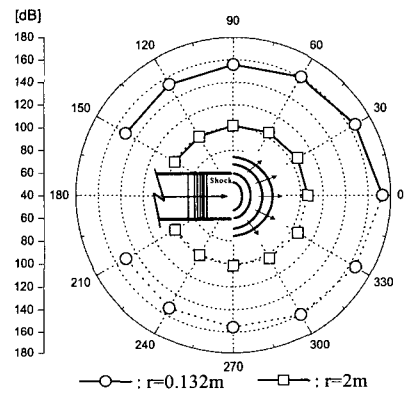
(b) $\theta=60^\circ$, $M=1.1$, $d=7$, $L=2D$

Fig. 7 Measured peak sound pressure level vs. propagation distance($\theta=0^\circ, M=1.2$, $d=7$, $L=2D$)

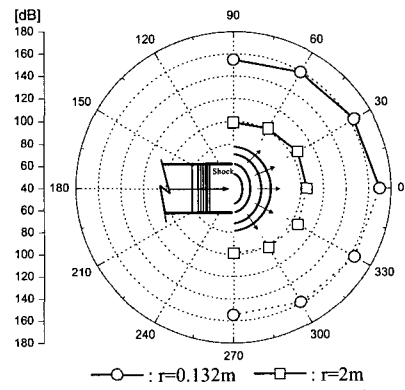
벨이 감소하는 것을 볼 수 있으나, 원음장에서는 공극율이 증가하더라도 충격성 소음은 거의 감소하지 않는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 음

장조건에 따라 충격성 소음의 감소폭이 다른 것은 충격성 소음원인 펄스파의 전파형태가 음장 조건에 따라 바뀌는 지향성 문제로 해명할 수 있다. 충격성 소음의 지향성은 다음에 제시되는 결과에서 토의된다.

Fig. 8은 직관 출구로부터 전파하는 충격성 소음의 피크음압을 근음장과 원음장에서 방위각도별로 측정하여 비교도시한 지향성 결과이다. 참고로 도시된 두 결과에서 실선은 측정값의 결과를 나타내며, 점선은 다공관의 대칭성을 고려하여 측정값을 투영시킨 가상의 값을 나타낸 것이다.



(a) Straight pipe ($M=1.1$)



(b) Perforated pipe ($M=1.1, \sigma=10\%$)

Fig. 8 Directivity pattern of the impulse noise emitted from the straight pipe and the perforated pipe

도시된 결과에서 보듯이 충격성 소음은 근음장 조건에서는 관축방향으로 강한 지향성을 보이지만, 원음장 조건에서는 모든 방향으로 거의 같은 세기로 전파하는 무지향성임을 알 수 있다. 이와 같이 음장조건에 따라 지향특성이 서로 다른 것은 충격성 소음원인 펄스파가 관 출구 가까이에서는 평면파 형태로 전파되다가 일정한 시공간이 지난 후에는 구면파 형태로 전환되어 전파되기 때문이다[5].

4. 결 론

다공관의 충격성 소음 저감성능은 음장조건에 따라 다르다. 근음장 조건에서는 다공관의 공극율과 관의 길이가 소음저감에 다소간의 영향을 미치지만, 원음장 조건에서는 다공관이 충격성 소음의 저감에 거의 기여하지 못하였다. 이와 같이 음장조건에 따라 충격성 소음의 저감성능이 다르게 되는 것은 충격성 소음원인 펄스파의 지향성이 음장조건에 따라 바뀌기 때문이다. 즉 근음장 조건에서는 관축방향으로 강한 지향성을 보이지만, 원음장 조건에서는 모든 방향으로 같은 세기로 전파하는 무

지향성으로 변환되기 때문이다.

참고 문헌

1. 이동훈, 김희동, 강성황, “관출구로부터 방출하는 약한 충격파의 평판충돌에 관한 연구”, 한국소음진동공학회지, 제10권, 제6호, 2000, pp.1035-1040
2. Kim, H.D., Lee, D.H., and Setoguchi, T., “Study of the Impulse Wave Discharged from the Exit of a Right-Angle Pipe Bend”, Journal of Sound and Vibration, 259(5), 2003, pp.1147-1161
3. Maa, D.Y. and Li, P.Z., “Pressure Dependence of Jet Noise and Silencing of Blow-Offs”, Noise Control Engineering Journal, Vol. 17, 1981, pp.104-112
4. Floyd, J.K., “Control of Steam Venting Noise I in Power Plants”, Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Power, Vol. 100, 1978, pp.369-373
5. 이동훈, 김희동, 이명호, 박종호, “관의 경사 출구로부터 방출되는 펄스파의 전파특성”, 한국소음진동공학회 논문집, 제12권, 제12호, 2000, pp.943-949