

다공관 출구로부터 방출되는 펄스파에 관한 실험적 연구

허 성 욱* · 이 동 훈** (서울산업대) · 김 회 동*** (안동대)

An Experimental Study on the Impulse Wave Discharged from the Exit of a Perforated Pipe

Sung-Wook Heo* · Dong-Hoon Lee** and Heuy-Dong Kim***

ABSTRACT

The propagation characteristics of the impulse wave discharged from the exit of a perforated pipe is investigated through a simple shock tube facility. The pressure histories and directivities of the impulse wave propagating outside from the exit of pipe with several different configurations are analyzed for the range of the incident weak shock wave Mach number between 1.02 and 1.2. In the shock tube experiments, the impulse wave are visualized by a Schlieren optical system for the purpose of understanding its propagation characteristics. The experimental results show that for the near sound field the impulse noise strongly propagates toward to the pipe axis, but for the far sound field the impulse noise uniformly propagates toward to the omnidirections, indicating that the directivity pattern is almost same regardless of the pipe type. Especially, it is shown that the perforated pipe has a little performance to reduce the impulse noise only for the near sound field

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 한다1).

충격성 소음은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 비록 지속시간이 짧더라도 순간적인 피크압력이

매우 높기 때문에 수음자가 충격성 소음에 노출되면 청력장애를 불러 일으킬 뿐만아니라 심한

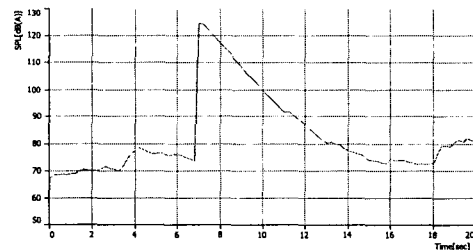


Fig. 1 Time history of impulse noise emitted from a cannon

* 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과 (SNUT, Graduate School, Dept. of Mechanical Eng.)

** 서울산업대학교 기계공학과 (Seoul National University of Technology, Dept. of Mechanical Eng.)

*** 안동대학교 기계공학과 (Andong University, Dept. of Mechanical Eng.)

경우 주변 구조물의 진동파괴 까지도 야기할 수 있다. Fig. 1은 전차포에서 전파된 충격성 소음의 음압레벨을 시간축에 대하여 나타낸 것으로서 포신출구로부터 방사방향으로 70m떨어진 곳에서 측정된 것이다.

이와 같은 충격성 소음은 대포나 총기류뿐만 아니라 고속열차/터널시스템, 자동차의 배기관 그리고 건설현장의 발파시공을 비롯한 각종 플랜트의 배관계 등과 같은 광범위한 분야에서 발생되는 환경소음²⁾으로서 이에 대한 저감대책 수립이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 충격성 소음에 대한 저감장치 개발의 일환으로 배기형 소음기에 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 9종류의 관을 대기개방형 충격파관 출구에 부착하여 충격성 소음의 전파특성과 저감효과를 실험하였다. 음압진폭, 지향성 및 거리감쇠 등으로 특성지워지는 충격성 소음의 전파특성은 근음장과 원음장에서 측정하였으며, 직관에 대해서도 동일한 실험을 하여 다공관 결과와 비교하였다. 특히 근음장에서는 충격성 소음원인 펄스파의 전파형태를 실리콘 시스템을 이용하여 전파시간대별로 촬영하였다. 또 충격파 전파마하수 $M=1.02\sim 1.20$ 의 범위로 하였다.

2. 실험

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

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

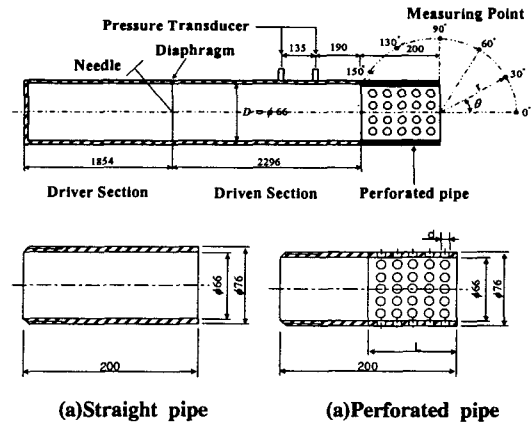


Fig. 2 Experimental apparatus and tested pipes

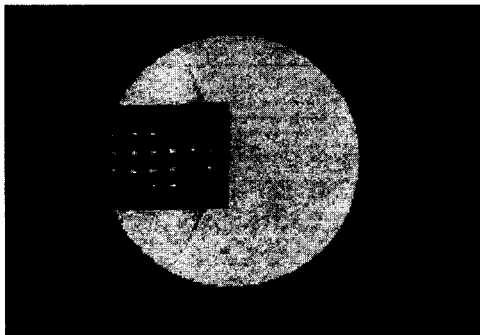
Table 1 Dimensions of perforated pipes

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	

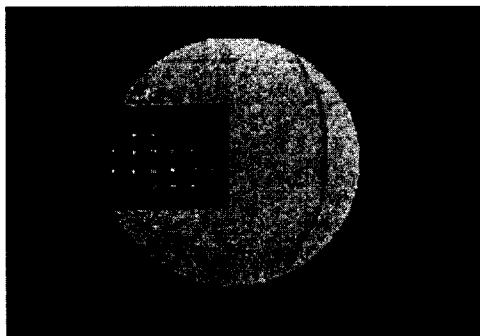
충격성 소음값의 분석은 측정센서의 종류에 따라 달리 하였다. 근음장내에서의 충격성 소음은 압력센서(PCB 112A21)를 이용하여 측정하였으며, 측정신호는 증폭기를 거쳐 오실로스코프(Lecroy, LT584)에 입력하여 분석하였다. 반면에 원음장에서의 충격성 소음은 1/2인치 콘덴서 마이크로폰(B&K, 4191)을 이용하여 측정하였으며, 주파수분석기(B&K, 2825)에서 분석하였다. 또한 전파시간대별 펄스파 촬영을 위해서는 시간조절을 할 수 있는 별도의 시간지연 제어기를 제작하여 사용하였다. 즉 충격파관에 설치된 상류측 압력센서의 신호가 셋팅된 시간지연값 만큼 지연된 후 순간광원에 입력되어 광원이 작동되도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3는 다공관 출구로부터 전파하는 펄스파의 전파형태를 전파시간대별로 촬영한 가시화 결과이다. 충격파 전파마하수는 $M=1.2$ 이며, 전파시간 t 는 펄스파가 상류측 센서를 통과한 시점부터 관출구로 방출되어 대기중으로 전파하는데 소요된 시간을 의미한다. 결과에서 보듯이 펄스파가 직관과 같이 관출구로만 방출되지 않고 다공관의 원주방향으로도 방출되어 전파하는 것을 볼 수 있다. 그러나 다공관의 경우도 직관 2)에서와 같이 관축방향으로의 강한 빔형태의 지향성을 보여주고 있다. 참고로 펄스파 후방의 다공구멍으로 강한 제트가 방출되는 것도 관찰할 수 있다.



(a) $t=1.27\text{ms}$

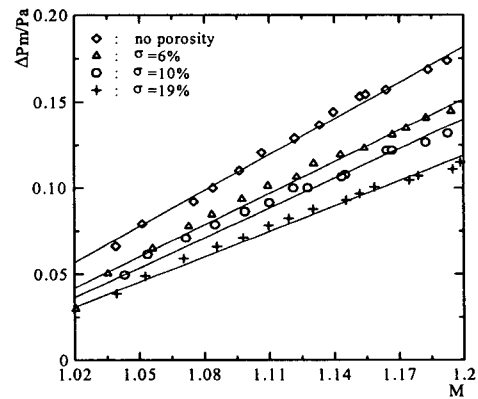


(b) $t=1.45\text{ms}$

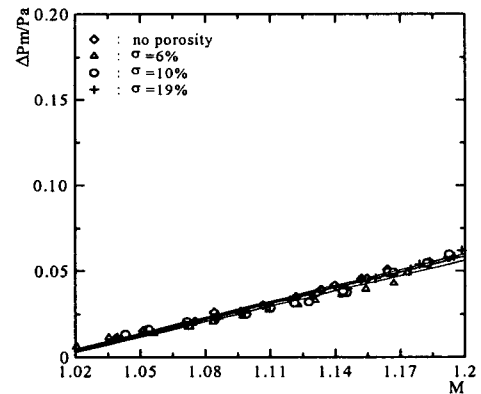
Fig. 3 Schlieren pictures showing impulse wave discharged from the exit of a perforated pipe ($\sigma=19\%$ and $M=1.2$).

Fig. 4는 각기 다른 공극율을 갖는 다공관을 충격파관 출구에 부착한 상태에서 충격파 전파마하수를 변화시키면서 충격성 소음의 피크음압을 측정된 결과이다. 종축의 값 $\Delta P_m/Pa$ 는 충격성 소음의 피크음압 ΔP_m 을 대기압 Pa 로 무차원화한 근음장내에서의 음압진폭을 나타낸다.

그림 (a)에 도시된 $\theta=0^\circ$ 결과에서는 다공관 출구로 방사된 충격성 소음의 피크음압이 직관에서와 같이 충격파 전파마하수에 의존하고 있음을 보여주고 있다. 특히 다공관의 공극율이 커질수록 충격성 소음의 감소폭 역시 더 커지는 것을 알 수 있는데, 이것은 Fig. 3에서도 확인하였듯이 관내로부터 방출된 펄스파가 관축방향은 물론 원주방향으로도 전파되었기 때문이다.



(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.

또한 Fig. 4의 그림 (b)에 도시된 $\theta=60^\circ$ 방향으로 전파하는 충격성 소음에 대한 결과에서는 충격성 소음의 피크음압 모두가 관측방향의 결과와 비교하여 훨씬 감소된 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 충격성 소음이 관측방향으로 강한 지향성을 갖기 때문이다. 이상의 결과는 관 길이 및 구멍지름을 변화시키면서 실험한 결과에서도 확인할 수 있었다.

Fig. 5은 전파거리별로 측정된 충격성 소음의 피크음압레벨을 나타낸 것이다. 피크음압은 충격파관 안지름을 D 라 할 때, 관의 출구로부터 관측방향으로 $2D$, $4D$, $8D$ 지점에서 그리고 $1m$ 에서 $8m$ 까지는 $1m$ 씩 거리를 증가시키면서 측정하였다. 도시된 결과에서 보듯이 추세선이 교차하는 $1m$ 와 $2m$ 사이가 근음장과 원음장을 구분짓는 경계가 됨을 알 수 있다. 즉 근음장에서는 전파거리가 증가함에 따라 음압레벨이 급격히 감소하는 반면에, 원음장에서는 전파거리가 2배로 증가할 때마다 음압레벨이 약 $6dB$ 씩 감소하는 즉, 거리의 역이승법칙을 잘 나타내주고 있다.

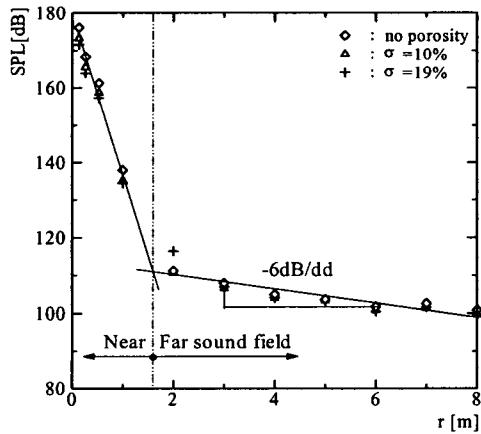


Fig. 5 Measured peak sound pressure level vs. propagation distance ($\theta=0^\circ, M=1.2, d=7, L=2D$).

특히 근음장에서는 공극을 증가에 따라 음압레벨이 감소하는 것을 볼 수 있으나, 원음장에서는 공극율이 증가하더라도 충격성 소음은 거의 감소하지 않는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결

과는 다공관이 충격성 소음을 저감시키는데 큰 효과가 없다는 것을 의미한다.

Fig. 6은 직관 출구로부터 전파하는 충격성 소음의 피크음압레벨을 근음장과 원음장에서 방위각도별로 측정하여 비교도시한 지향성 결과이다. 참고로 도시된 두 결과에서 실선은 측정값의 결과를 나타내며, 점선은 대칭성을 고려하여

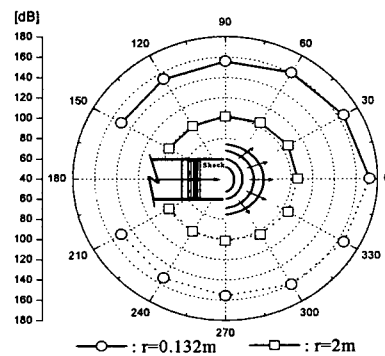


Fig. 6 Directivities of the impulse noise for the straight pipe ($M=1.1$).

측정값을 투영시킨 가상값을 나타낸 것이다. 결과에서 보듯이 충격성 소음은 근음장 조건에서는 관측방향으로 강한 지향성을 보이지만, 원음장 조건에서는 모든 방향으로 거의 같은 세기로 전파되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 음장조건에 따라 지향성이 서로 다른 것은 충격성 소음 원인 펄스파가 관출구가까이에서는 평면파 형태로 전파되다가 일정한 시공간이 지난 후에는 구면파 형태로 전환되어 전파되기 때문이다. 다공관의 결과도 직관과 유사한 지향특성이 있음을 확인하였다.

4. 결 론

1. 다공관이나 직관으로부터 전파된 충격성 소음은 관의 형식에 관계없이 거의 같은 지향성을 나타내었다. 즉, 근음장 조건에서는 관측방향으로 강한 지향성을 갖지만, 원음장 조건에서는

모든 방향으로 같은 세기로 전파하는 지향성을 보였다.

2. 다공관은 근음장 조건에서는 공극율이 증가함에 따라 음압레벨이 감소하지만, 원음장 조건에서는 공극율이 증가하더라도 충격성 소음의 피크음압은 거의 감소하지 않는 것을 알았다.

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 in Power Plants”, Transactions of the ASME, Jr. of Engineering for Power, Vol. 100, 1978, pp.369-373.