

원음장에서의 충격성 소음전파에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Propagation of Impulse Noise in the Far Sound Field

송화영* · 제현수* · 이주원** · 이성태*** · 이동훈****

Hwa-Young Song, Hyun-Su Je, Ju-Won Lee, Sung-Tae Lee, Dong-Hoon Lee

Key words : Compressible Flow(압축성 유동), Directivity(지향성), Impulse Noise(충격성 소음), Shock Tube(충격파관), Shock Wave(충격파), Unsteady Flow(비정상 유동)

ABSTRACT

This experimental study describes the propagation characteristics of the impulse noise emitted from the exit of a straight pipe attached to the open end of a simple shock tube. The sound pressure level and directivity of the impulse noise propagating from the exit of pipe with several different diameters are measured in the far sound field for the range of the incident shock wave Mach number between 1.07 and 1.26. The experimental results showed that the peak values of impulse noises had a strong dependance on the exit diameter of a pipe and the shock wave Mach number. The impulse noise had the directivity propagating toward to the pipe axis and the characteristics of inverse square law of propagation distance. Moreover, it was shown that the one-third octave band SPL of impulse noise was almost constant regardless of the frequency band.

1. 서 론

동력보일러나 고압가스 배관계를 비롯한 자동차의 배기관관을 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⁾

충격성 소음은 노즐 또는 오리피스로 방출되는 정상유동에서 발생한 제트소음에 비하여 매우 높은 피크압력 특성을 갖기 때문에 산업현장에서 작업자가 충격성 소음에 노출되면 청각기능이 손상될 뿐만 아니라, 심한 경우 주변구조물을 진동 파괴시키는 주요한 원인이 되기도 한다.⁽²⁾ 이와 같은 특성을 갖는 충격성 소음은 고압가스 배관계 뿐만 아니라 대포나 총기류, 건설현장의 발파시공 그리

고 고속열차/터널시스템 등과 같은 광범위한 분야에서 발생되고 있으므로, 이에 대한 효과적인 저감 대책 수립이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

지금까지의 충격성 소음의 저감에 관한 연구는 소음저감 장치가 부착된 관출구 가까이의 근음장 영역내에서 펄스파의 지향성과 압력진폭을 측정하여 충격성 소음의 전파특성이나 저감정도를 파악하여 왔으며⁽³⁾, 원음장에 위치한 수음자 측면에서의 충격성 소음에 대한 구체적인 연구조사는 이루어진 바 없다. 또한 충격성 소음에 대한 주파수 특성이라든가 충격파관 출구의 지름크기가 소음특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 조사된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 충격파관의 출구지름을 변화시키면서 원음장영역으로 전파하는 충격성 소음의 동적거동과 지향성 측정을 통하여 충격성 소음의 전파특성에 대해서 충분한 이해를 갖고자 한다. 아울러 관지름 변화에 따른 소음특성도 조사하였으며, 충격파의 전파마하수 범위는 1.07-1.26으로 하였다.

* 서울산업대학교 대학원
E-mail:ldh@snu.ac.kr, Tel:02-970-6331

** 서울산업대학교 소음진동연구센터

*** 육군사관학교 물리학과

**** 서울산업대학교 기계공학과

2. 실험

실험장치는 Fig. 1과 같이 관지름이 각기 다른 저압실의 부착이 용이하도록 제작된 대기 개방형 충격파관을 이용하였다. 충격파관은 고압실과 저압실로 이루어져 있으며, 고압실은 내경 $D=\varnothing 66$ 이고, 길이는 1854mm이다. 저압실은 내경 $d=\varnothing 66$, $\varnothing 43$ 및 $\varnothing 29$ 로서 길이는 세 종류 모두 2296mm이다. 고압실 및 저압실 사이에 위치한 격막재료로는 두께 0.03mm인 셀로판 시트를 사용하였다. 고압실은 압축된 건조공기로 충전되어 있고 격막을 파막시키기 위한 격침이 장착되어 있다.

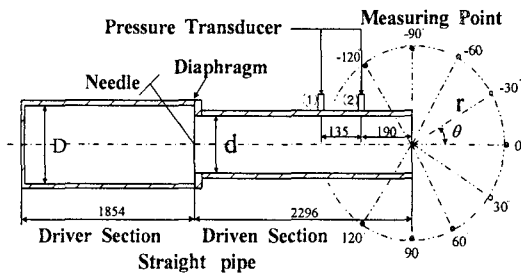


Fig.1 Shock tube facility

압력센서(PCB pressure transducer, type 112A21)는 파막시에 관내에서 발생한 충격파 전파마하수 M_s 를 구하기 위하여 저압실의 관출구로부터 상류방향 190mm와 325mm위치에 설치하였다. 압력센서로부터 얻어진 모든 출력신호는 직류증폭기를 거쳐 증폭된 후 오실로스코프(Lecroy, LT584)에 기록됨과 동시에 컴퓨터에 저장된다.

충격성 소음은 반무향 공간을 만족시키는 건물 옥상에 충격파관을 설치하고, 1/4인치 및 1/2인치 콘덴서 마이크로폰(B&K 4938, 4191)을 관출구로부터 2m, 4m, 8m 그리고 16m에 위치시켜 측정하였다. 또 충격성 소음의 지향성은 관축방향을 중심으로 하여 시계방향으로 $\theta=0^\circ \sim 120^\circ$ 그리고 반시계방향으로 $\theta=0^\circ \sim 120^\circ$ 까지 $\theta=30^\circ$ 간격으로 음압을 측정하여 구하였다. 음압신호는 증폭기를 거쳐 주파수 분석기(B&K, FFT Analyzer 2825)에 입력하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2 는 관내를 전파하는 충격파의 동적거동을 도시한 것으로서 충격파의 전파마하수 $M_s=1.1$ 인

조건에서 충격파관의 지점 ①과 지점 ②를 통과하는 충격파의 압력파형을 측정된 결과이다. 그림에 도시된 종축은 충격파의 과잉압력 ΔP_{max} 을 대기압력 P_a 로 무차원화한 압력진폭을 나타내고, 횡축은 파막 후로부터 경과한 시간을 나타낸다. 압력파형 1에서 진폭의 급격한 상승은 충격파관의 지점 ①을 통과하는 충격파 때문이며, 파형 2에서의 급격한 압력진폭의 상승은 지점 ②를 통과하는 충격파 때문이다. 또 압력파형이 다시 급격히 감소하는 것은 관 출구에서 발생한 팽창파가 상류측으로 반사되어 지점 ②와 지점 ①을 통과하였기 때문이다. 충격파의 전파마하수는 바로 이 두 압력파형의 시간차인 Δt 로부터 산출된다.

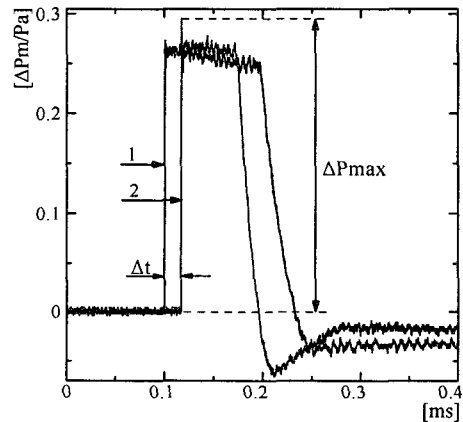
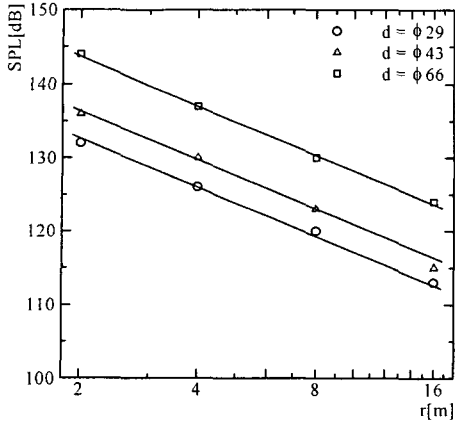


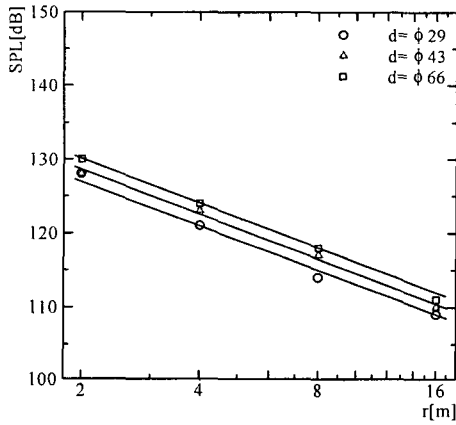
Fig. 2 Shock wave forms at ① and ②

Fig. 3은 관축방향과 관의 직각방향에서 전파거리별로 충격성 소음을 측정된 결과이다. 충격파관의 저압실 출구지름은 $d=\varnothing 29$, $\varnothing 43$ 그리고 $\varnothing 66$ 이며, 충격파 전파마하수는 모두 $M_s=1.1$ 일 때이다.

결과에서 보듯이 전파거리가 2배씩 증가할 때마다 충격성 소음의 음압레벨이 약 6dB정도씩 감소하는 거리의 역 2승법칙이 성립함을 알 수 있다. 그리고 거리감쇠 특성이 관축방향이나 관의 직각방향에서 모두 만족하는 것으로 보아 충격파관의 출구로 방사되는 충격성 소음은 점음원으로 간주할 수 있다. 또한 충격파 전파마하수가 같더라도 관의 지름이 클수록 충격성 소음의 피크음압이 커지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 관출구로 방출되는 질량유량이 방사음압과 비례관계를 갖기 때문이다. 특히 관지름 변화에 따른 피크음압의 폭이 그림 (a)에서 보듯이 관축방향에서 더 큰 것은 관축방향으로 강한 지향성을 갖고 전파하기 때문이다.

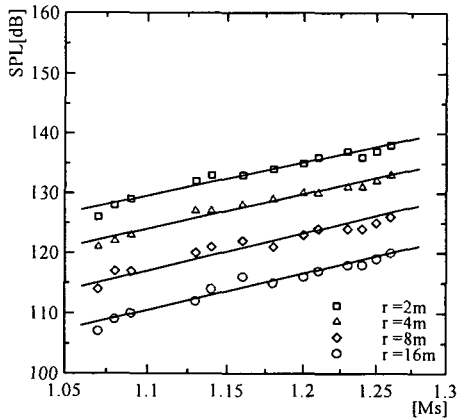


(a) $\theta = 0^\circ, M_s = 1.1$

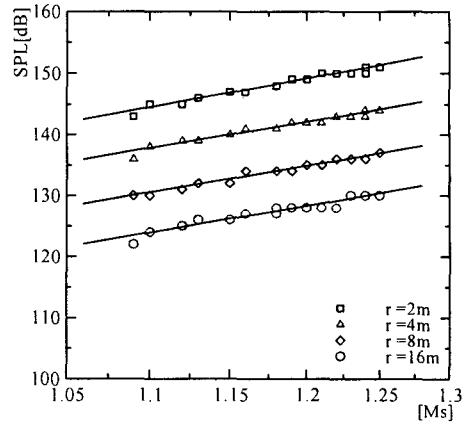


(b) $\theta = 90^\circ, M_s = 1.1$

Fig. 3 Measured peak sound pressure level vs. propagation distance.



(a) Exit diameter, $d = \phi 29$



(b) Exit diameter, $d = \phi 66$

Fig. 4 Measured peak sound pressure level vs. shock wave Mach number.

Fig. 4는 충격파 전파마하수를 변화시키면서 관 축방향으로 전파하는 충격성 소음의 피크음압을 측정된 결과이다. 그림 (a)는 충격파관의 저압실 출구지름이 $\phi 29$ 일 때이며, 그림 (b)는 출구지름이 $\phi 66$ 일 때이다. 충격성 소음의 피크음압은 전파마하수 증가와 함께 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 거리의 역 이승법칙이 충격파 전파마하수 전체에 걸쳐서 성립함을 알 수 있다.

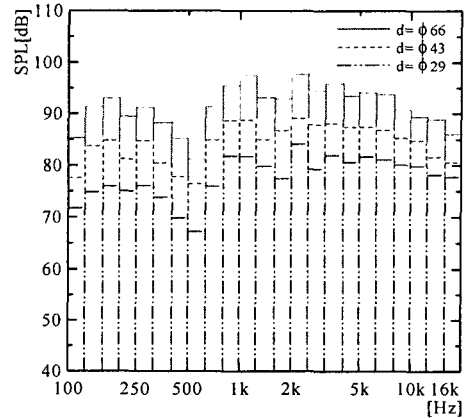
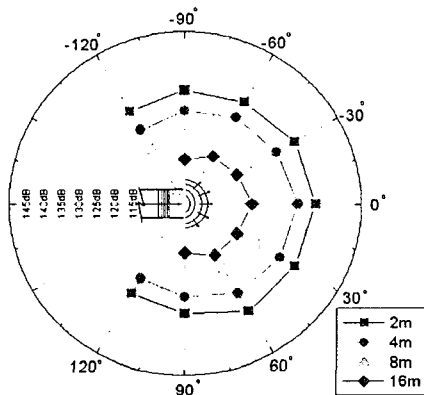


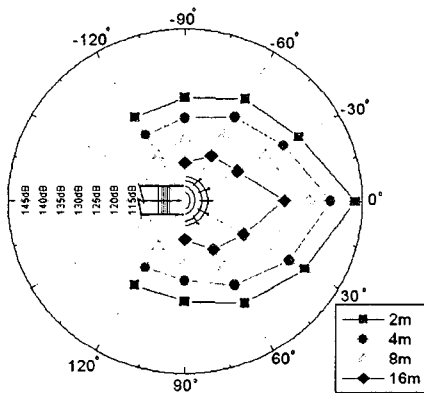
Fig. 5 Comparison of the 1/3 octave band sound pressure levels for impulse noises emitted from the pipe with different exit diameters.

Fig. 5는 충격파관 저압실의 관지름 크기에 따라 충격성 소음의 주파수 특성을 측정된 결과이다. 측정은 관축방향으로 출구로부터 8m떨어진 위치에서

이루어 졌으며, 충격파 전파마하수 $M_s = 1.2$ 일 때이다. 결과에서 보듯이 충격성 소음은 관지름 크기에 따라 옥타브 대역별로 음압레벨의 차이는 있지만, 하나의 관출구 조건에서의 옥타브 대역별 음압분포는 모든 주파수 대역에서 거의 일정함을 보여주고 있다. 다만, 500Hz 대역에서는 모든 관지름 조건에서 음압레벨이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 충격파관의 공명모드와 음파의 상호간섭의 결과로 사료된다.



(a) Exit diameter, $d = \varnothing 29$



(b) Exit diameter, $d = \varnothing 66$

Fig. 6 Comparison of the directivities for impulse noises emitted from the pipe with different exit diameters.

Fig. 6은 충격파관 저압실의 관지름 크기에 따라 충격성 소음의 지향성을 측정된 결과이다. 충격파 전파마하수 $M_s = 1.2$ 일 때이다. 결과에서 관의 출구지름과 상관없이 충격성 소음은 관축방향으로 강하게 전파하는 지향 특성이 있음을 알 수 있다. 특히 관 지름 $\varnothing 66$ 인 경우는 관지름이 작은 경우보다 관 축방향으로 더 강한 지향특성을 보이는데, 이것은 Fig. 3의 결과에서도 언급하였듯이 관축방향으로 더 큰 질량유량의 방출로 충격성 소음의 방사음압이 더 강해졌기 때문이다. 또 이러한 지향 특성은 관축방향을 기준으로 하여 대칭성이 있는 것도 확인할 수 있다.

4. 결 론

- 1) 충격파관 출구로 방사된 충격성 소음은 관축방향이나 관의 직각방향 모두에서 전파거리가 2배 증가할 때마다 약 6dB씩 감소하는 점음원 형태의 전파특성을 보였다.
- 2) 충격성 소음의 세기는 충격파 전파마하수 및 관의 출구지름과 강한 의존성을 나타냈다.
- 3) 충격성 소음은 관의 지름이 클수록 관축방향으로 더 강한 지향특성을 나타내었다. 또 충격성 소음은 모든 주파수 대역에서 거의 일정한 음압분포를 보여주었다

참 고 문 헌

1. 제현수, 양수영, 이동훈, 2003, "다공관 출구로부터 방사된 충격성 소음의 전파특성", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp.168-173.
2. H.D. Kim, D.H.Lee and T.Setoguchi, 2003, "Study of the impulse wave discharged from the exit of a right-angle pipe bend", Journal of Sound and Vibration, Vol. 259(5), pp.1147-1161.
3. 이동훈, 김희동, 이명호, 박중호, 2002, "관출구로부터 방출하는 펄스파 특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 논문집, 제12권, 제1호, pp.48-56.