

## 화포소음 저감을 위한 차폐재 설치에 관한 실험적 연구

이해석<sup>1)</sup> · 홍준희<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제8기술연구본부

<sup>2)</sup> 충남대학교 기계공학과

## An Experimental Study on Installation of the Shielding Material to Reduce the Shock Noise of a Gun

Haesuk Lee<sup>1)</sup> · Junhee Hong<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup> The 8th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Korea

(Received 22 January 2016 / Revised 31 March 2016 / Accepted 17 June 2016)

### ABSTRACT

The paper represents the experimental analysis of the shock noise of medium caliber guns when a projectile is passed through the shielding material. In the study, the shielding material was constructed and tested in three separate experiments. The shielding material was not installed for medium caliber gun in Case 1. A medium caliber gun was fully covered with shielding material in Case 2, and another one was put with shielding material near muzzle in Case 3. In each experiment, the experimental data was compared with each other. Results showed the firing shielding material achieved a significant noise reduction in 90° to the noise source. Case 3 is confirmed to be better effective than Case 2 in the near field. But, the noise reduction in the far field is small in quantity due to the low frequency. The paper is considered that further study is necessary for the shielding material which can absorb a low frequency noise in the future.

Key Words : Shock Noise(충격소음), Shielding Material(차폐재), Noise Reduction(소음감소)

### 1. 서론

충격소음은 소리의 세기가 매우 빠른 속도로 증가하고 지속시간이 짧은 소음으로 소음레벨의 최대세기

(peak intensity)까지 35 ms 이하의 상승시간과 피크레벨로부터 20 dB 감쇠되는 소리로서 정의된다<sup>1)</sup>.

이와 같이 충격소음은 140 dB 이상으로 사격 요원의 청각 또는 인체에 심각한 손상을 줄뿐만 아니라 사격장 주위 민가로 부터 많은 민원 발생소지가 있어 이에 대한 대책방안 마련이 필요한 실정이다<sup>2-4)</sup>.

사격장에서 포탄발사에 의해 발생하는 충격소음의

\* Corresponding author, E-mail: hongjh@cnu.ac.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

원인은 크게 세가지로 분류할 수 있으며 그 첫째는 포탄의 포구이탈에 앞선 공기 분출로 발생하는 선입충격파(Precursor shock wave), 둘째로는 포탄 이탈로 발생하는 탄자 파열음(Projectile burst shock wave), 셋째로는 포탄 이탈 후 추진가스의 고풍분출(High explosive emission)로 인해 발생하는 추진가스 폭풍파(Propellant shock wave)이다. Fig. 1은 추진가스의 분출로 발생하는 충격파의 개략도이다.

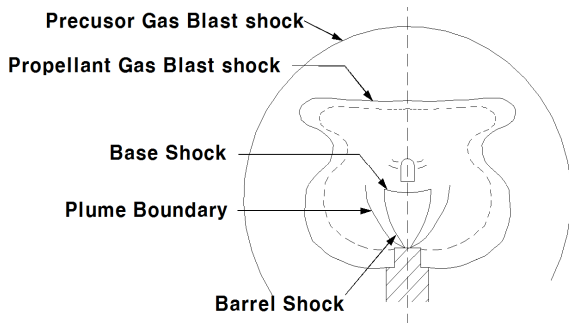


Fig. 1. Propellant shock wave

충격파 경계를 둘러싸고 원형의 형태로 진행하며 형성되는 것이 연기 기둥이며 기둥 내부에는 경사충격파인 배럴 충격파(Barrel shock)와 수직 충격파인 마하디스크(Mach disk)가 존재한다. 이 연기 기둥을 경계로 외부는 내부에 비해 매우 낮은 온도와 높은 온도를 갖는 유동이 형성된다<sup>5-7)</sup>.

포탄사격 시 Fig. 1과 같이 포구쪽에서 주로 발생하는 충격소음을 저감하기 위한 방안으로 방음시설 또는 차폐재 분야에 대한 연구는 극히 제한적으로 이루어져 왔으며 주요 연구결과는 다음과 같다. 정아영, 김재수<sup>8)</sup>는 군부대 방음사격장의 음향특성 분석 및 사격소음 예측을 위하여 방음사격장을 대상으로 AutoCAD를 이용하여 모델링 후 ODEON이라는 음향시뮬레이션 프로그램을 이용하여 사격장 내부의 음향특성을 파악하여 이를 토대로 사로에서의 사격시 방음 사격장 출구부분의 음압레벨을 예측하였다. 이상우<sup>9)</sup> 등은 현재 군에서 운용되고 있는 소화기 사격장에서 실제 사격간 발생하는 소음을 측정하여 일부 군부대에서 설치 및 운용되고 있는 차폐재, 간이소음저감 장치 및 실내사격장을 비롯한 여러 가지 소음저감 방법들의 실제 소음의 저감 정도를 평가하였다.

이진호<sup>10)</sup>는 K2 소총 사격 시 발생하는 폭발소음을 감소시킬 수 있는 장치 개발에 필요한 기초자료를 조

사하여 탄자가 대형튜브를 통과할 때 감음효과를 측정함으로써 소음차폐용 튜브를 제작하기 위한 기초 설계 데이터를 획득하였다.

지금까지의 연구결과에서는 주로 소총류에 대한 소음 저감목적으로 방음사격장에 대한 소음저감 시뮬레이션 또는 차폐재등에 대한 실험을 수행해 왔다.

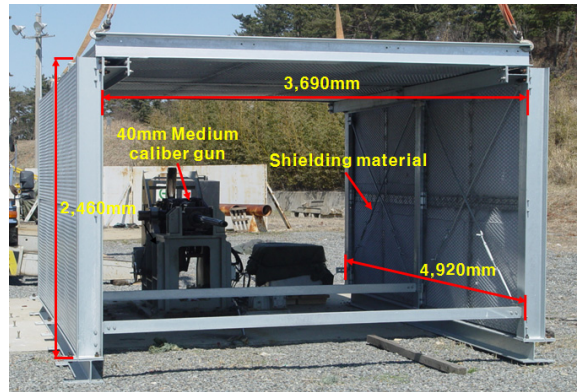


Fig. 2. A figure installed a shielding material around 40 mm medium caliber gun

따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 중구경 화포에서 발생하는 충격소음을 저감할 수 있는 이동식 차폐재(가로 : 3,690 mm, 세로 : 2,460 mm, 길이 : 4,920 mm)를 포구 전방에 설치하여 감음효과를 측정 분석함으로써 향후 화포소음 저감용 차폐재 연구를 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 논문의 전반부에서는 음압특성에 대한 관련이론을 고찰하였으며 중반부에서는 소음계측방법과 차폐재의 구조안전성등에 대하여 기술하였다. 후반부에서는 거리 및 각도변화에 따른 충격소음특성, 차폐재유무에 따른 소음저감도 비교, 차폐재 위치변경등에 따른 소음저감비교등을 하였으며, 결론으로 화포소음 저감을 위한 차폐재 설치 위치 및 설계 방안등을 제시하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 소음성분 분석

인간은 공기의 압력 변화가 고막에 가해질 때 소리로 느끼게 된다. 인간의 소리에 대한 감각은 로그 척도에 대응하며 소리의 크기는 최소음압을 기준값으로 한 음압 레벨로 식 (1)과 같이 정의된다. 최소 음압은

1 kHz에서  $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ 이며  $T$ 는 계측시간,  $L_p$ 는 음압 레벨이다. 음압 레벨은 소리를 만들어내는 공기진동의 압력, 즉, 소리가 나타내는 물리적인 압력을 측정하는 것으로서 그것은 고정된 기준압력( $P_0$ )과 실제의 음압( $P$ )과의 비로서 측정되는 상대적인 양으로, 사람이 감지하는 음압범위(20  $\mu\text{Pa}$  ~ 60  $\mu\text{Pa}$ )가 크기 때문에 수를 다루는데 편의성을 제공하기 위하여 데시벨 단위(dB)를 가지는 대수눈금에 의하여 측정한다<sup>[11]</sup>.

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{P^2(t)}{P_0^2} \right) dt \quad (1)$$

소음은 음압뿐만 아니라 주파수나 수음자의 심리적 상태에 따라서 다를 수 있기 때문에 귀의 특성을 고려한 *A-weighted*된 소음원의 음압레벨을 적용한다.

### 3. 실험장치 및 차폐재 구조설계

#### 3.1 실험 장치 및 신호획득 방법

Fig. 3은 40 mm 중구경 화포를 이용하여 탄자가 차폐재를 통과할 때 소음저감효과를 확인하기 위해 설계된 실험장치의 개략도이다. Case 1에서는 차폐재를 설치하지 않은 상태에서 시험을 수행하였으며 Case 2는 차폐재를 포마운트를 감쌀 수 있도록 하여 시험을 수행하였다.

최종적으로 Case 3에서는 차폐재가 포구 끝단을 차폐할 수 있도록 설치하여 소음 저감량을 확인하였다.

각 Case별로 5발씩 단발사격을 수행하여 최대 피크치(Peak)를 측정하였으며 소음 측정지점은 포구주위로 부터 Fig. 4와 같이 포구 반경 45°, 90°, 135°의 4 m, 8 m, 20 m 지점과 포구 우측으로 200 m 떨어진 지점에서 측정하였다<sup>[12,13]</sup>. 음압센서는 지상 1.5 m 위치에 삼각대를 이용하여 설치하였으며 기상상태는 흐린날씨, 기온은 영하 1도에 습도는 25 % 조건이다.

사격에 따른 순간적인 최대음압 계측을 위해 신호 획득 장치는 DEWE-5000으로 분해능 24 bit와 샘플링 2 kS/sec가 적용되어 졌으며 신호조절기는 DAQP-ACC-A가 사용되었다.

자료처리는 Dewesoft 6.6.7을 이용하였으며 사용된 센서는 포구주위에 PCB 106B50(9개)와 포구에서 우측으로 200 m 이격된 지점에 B&K 4954-B(2개)를 설치하였다.

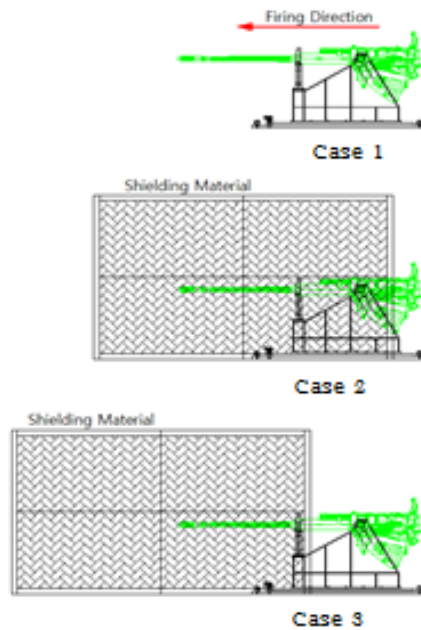


Fig. 3. Designed shape of shielding material for medium caliber gun

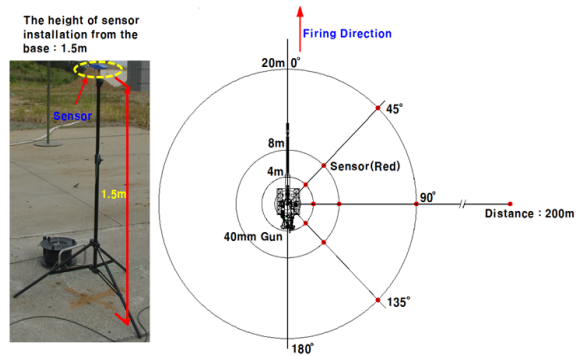


Fig. 4. Measurement of sound pressure

#### 3.2 차폐재가 설치된 구조물 설계

본 실험에 사용된 차폐재는 방음재를 형강에 부착시킨 구조로 국부적으로 발생하는 폭압에 대한 영향만을 고려하여 H형강(194 × 150 × 6 × 9)과 C형강(100 × 50 × 5 × 7.5)을 사용하여 제작하였다. 방음재는 도로, 고속도로, 철도 및 공장등으로 부터 발생되어 주거지로 확산되는 소음을 차단하는 수단으로 널리 사용되고 있다.

방음재의 성능은 소음원으로부터 방음재를 회절하는

음과 방음재를 직접 투과하는 음의 함에 의해 설명된다. 일반적으로 방음재를 투과하는 음은 회절음에 비해 매우 작기 때문에 방음재의 성능은 회절음의 크기에 의해 좌우되게 된다.

H형강이 부착된 방음재는 2,450 mm × 1,230 mm의 크기로 규격화 되어 있는 재료로 H형강의 좌, 우 및 상부에 각각 4개씩 설치하였다. 방음재 두께는 110 mm로 후면에는 체크스틸판으로 고정하였으며 소음을 흡수하는 내부는 10 mm 철망을 사용하여 방음재를 고정하였다. 사격실험은 평각만으로 수행할 수 있도록 설계되어졌으며, 방음재가 부착되는 구조물은 Solidworks 2012를 이용하여 모델링한 후 Cosmosworks를 이용하여 응력해석을 실시하였다.

응력해석 시 방음재는 금속이 아닌 재질이므로 구조적으로 안전하다는 판단하에 H형강에 대하여 포구 압력을 70 kg/cm<sup>2</sup>(6,865 Pa)으로 가정하여 해석하였다. Table 1은 구조 해석 시 사용된 물성치를 나타낸 것으로 방음재가 설치되는 H형강은 안전율이 2이상으로 구조적으로 안전성이 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1. Mesh properties for structural analysis

Mesh property	value
A size of element(mm)	19.907
Allowable tolerance(mm)	0.99538
Qualification	High
Number of element	446,158
Number of nodes	877,271

#### 4. 실험 및 분석결과

##### 4.1 거리변화에 의한 충격소음 비교(Case 1)

Fig 5, 6, 7은 차폐재를 설치하지 않은 상태에서 Weighting을 부여하지 않은 상태에서 각도별로 거리에 따른 충격소음을 측정된 결과로서 포구에 가까울수록 높은 충격소음이 발생 하며 각도가 커질수록 대체적으로 거리에 따른 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

그러나 포 마운트를 중심으로 20 m 이격된 지점에서의 소음감소량은 각도별로 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

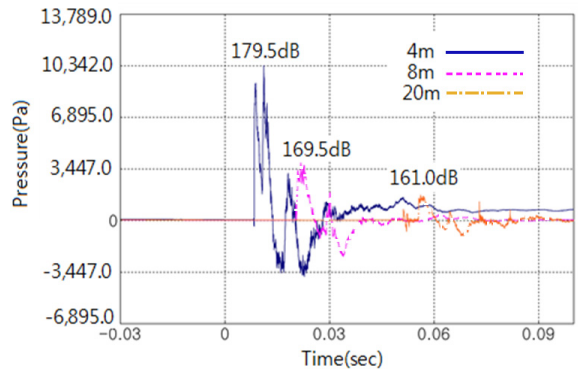


Fig. 5. A test result of Case 1(45°)

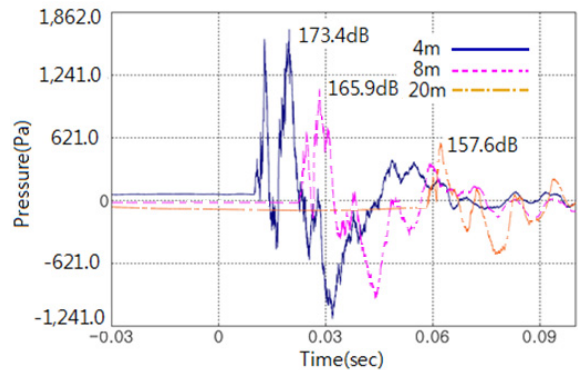


Fig. 6. A test result of Case 1(90°)

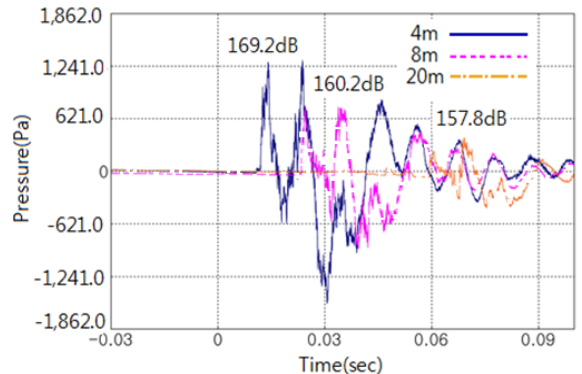


Fig. 7. A test result of Case 1(135°)

##### 4.2 각도 변화에 의한 충격소음비교(Case 1)

Fig. 8, 9, 10은 차폐재를 설치하지 않은 상태에서 거리 별로 각도에 따른 소음을 측정된 결과이다. 포구에서 나오는 압력은 주로 전방으로 분사되기 때문에

각도가 커질수록 소음이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 대체적으로 45° ~ 135° 구간에서 약 5 dB 정도의 소음저감효과가 있으나 20 m 이격된 지점에서의 90° ~ 135° 구간에서는 소음 저감효과가 적은 것을 알 수 있다.

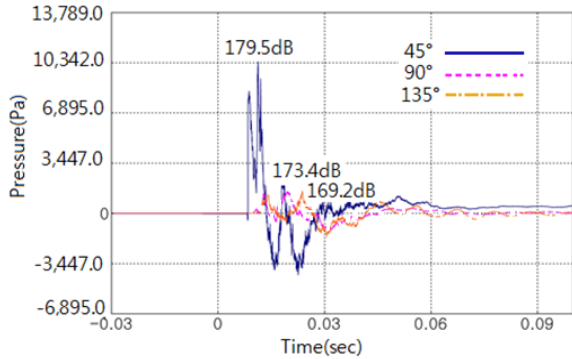


Fig. 8. A test result of Case 1(4 m)

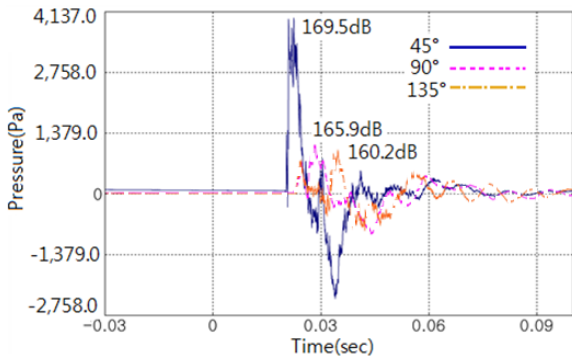


Fig. 9. A test result of Case 1(8 m)

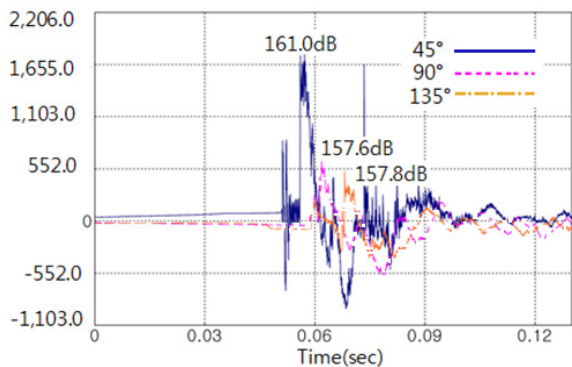


Fig. 10. A test result of Case 1(20 m)

#### 4.3 차폐재 유무에 의한 충격소음비교

Fig. 11, 12, 13, 14는 45°의 4 ~ 20 m 와 포마운트 우측인 90° 방향의 200 m 지점에서 Case1과 Case2을 비교한 그래프로서 차폐재 유무에 따라 약 5 dB의 소음저감효과가 있으나 20 m 구간과 200 m 구간에서는 소음감소량이 크지 않음을 알 수 있다.

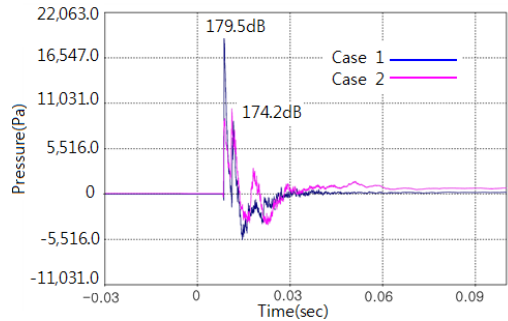


Fig. 11. A comparative result with shielding material and shielding material(4 m)

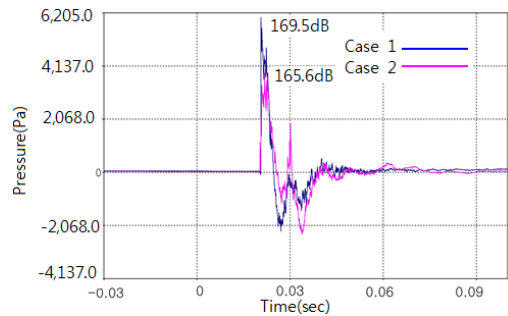


Fig. 12. A comparative result with shielding material and shielding material(8 m)

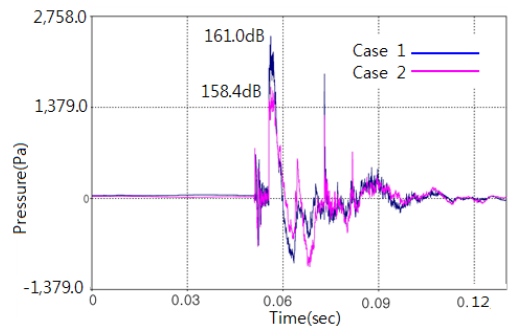


Fig. 13. A comparative result with shielding material and shielding material(20 m)



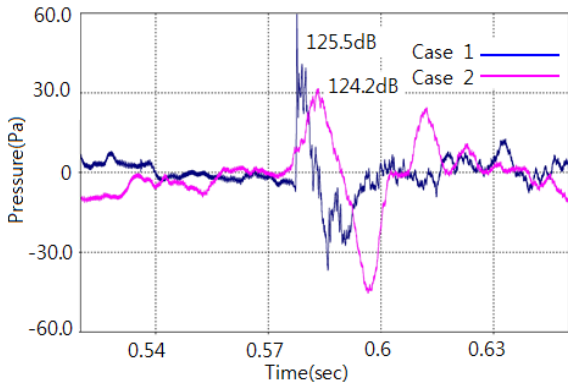


Fig. 14. A comparative result with shielding material and shielding material(200 m)

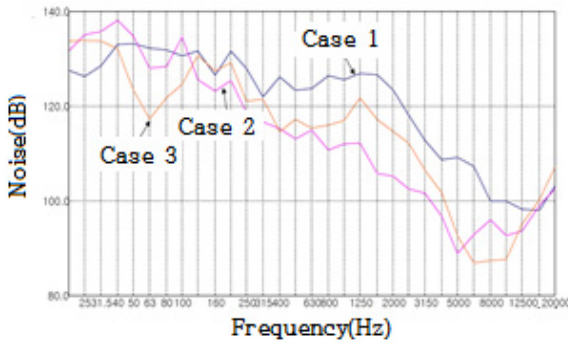


Fig. 15. A result of frequency analysis by Case changing(45°, 20 m)

Fig. 15는 Case를 변화시키면서 45° 방향의 20 m 이 격된 장소에서 주파수에 따른 소음감소 특성을 나타낸 그래프로서 저주파수 대역에서는 소음감소량이 큰 차이를 보이지 않지만 2,500 Hz ~ 12,500 Hz 구간의 고주파수 영역에서는 충격소음이 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.4 차폐재 위치 변경에 의한 충격소음 비교

Fig. 16, 17, 18, 19는 차폐재의 설치 위치 변화에 따른 충격소음 측정결과를 비교한 그래프로서 근거리인 45°의 4 m 지점에서 Case 2의 충격소음값이 Case 3보다 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 차폐재에 의한 소음 감소 효과는 고주파영역에서만 해당되기 때문에 4 m 지점 이후인 원거리에서는 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있다. 본 실험 결과를 통해 근거리(4 m, 45°)에서 화포 소음저감을 위

해서는 차폐재가 포구 앞으로 많이 도출되면 될수록 소음저감 효과가 좋은 것으로 확인되었다.

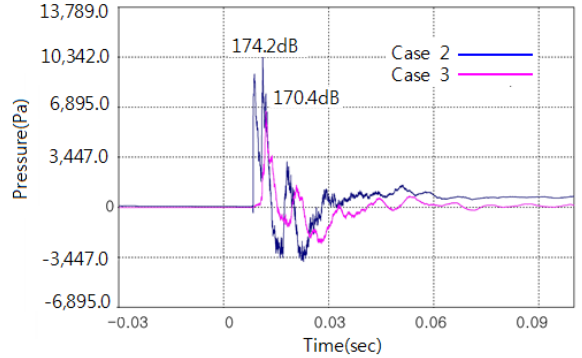


Fig. 16. A test result by location changing of shielding material(4 m)

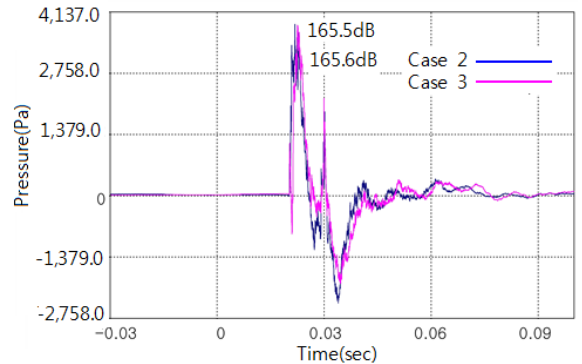


Fig. 17. A test result by location changing of shielding material(8 m)

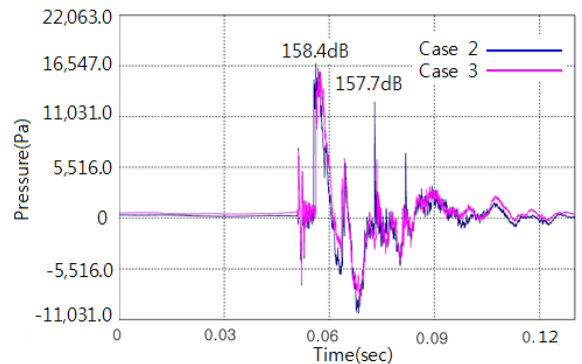


Fig. 18. A test result by location changing of shielding material(20 m)

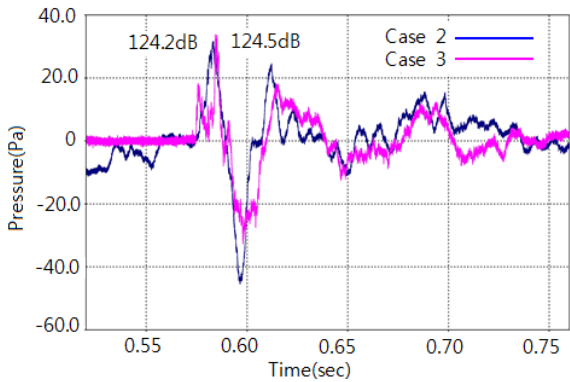


Fig. 19. A test result by location changing of shielding material(200 m)

4.5 총격소음 평균값 비교

Fig. 20은 Case 변경과 센서 위치에 따른 소음저감 평균값을 나타낸 것이다. 사격 시 사격음은 최대 약 16 dB(4 m,  $\theta = 90^\circ$ ), 최소 약 4 dB(8 m,  $\theta = 45^\circ$ )가량 감소하는 것을 볼 수 있으며 포구를 중심으로 우측 약 200 m 이격된 거리에서는 약 3 dB의 소음저감이 있음을 확인할 수 있다.

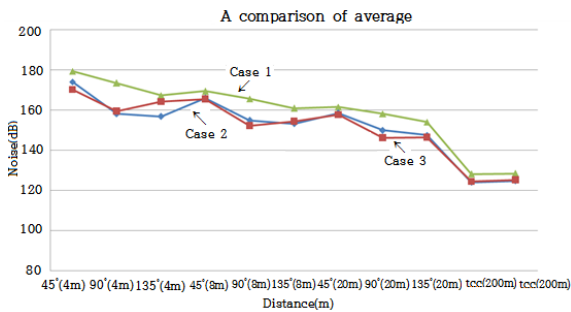


Fig. 20. An effect of noise reduction by Case changing

본 결과로부터 도출해 볼 때 포구 근처에서 많은 소음이 저감되므로 실제 사격을 수행하는 사수들에게 차폐재 설치 시 많은 도움이 될 것으로 판단되나 원거리에서의 소음은 크게 감소하지 않으므로 이에 대한 방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 21, 22, 23은 Case변화에 따라 사격된 평균값을 음압센서 설치 위치별로 세부적으로 나타낸 것으로 포구를 기준으로  $\theta = 225^\circ \sim 315^\circ$ 에서의 계측값은 필요할 경우  $\theta = 45^\circ \sim 135^\circ$ 의 값을 사격 방향을 중심으로

대칭 이동시켜 사용해도 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

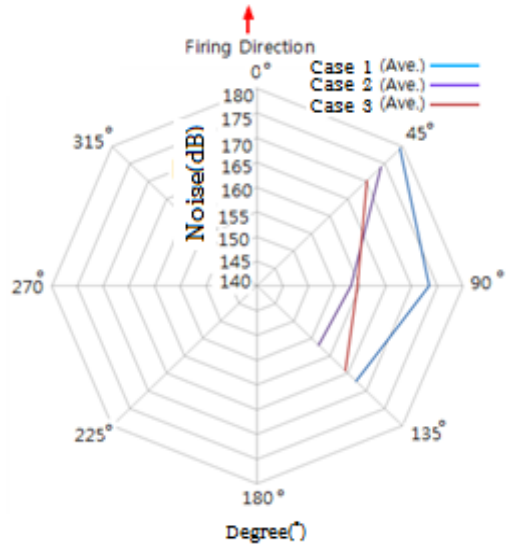


Fig. 21. A comparative result with shielding material and without shielding material cover(4 m)

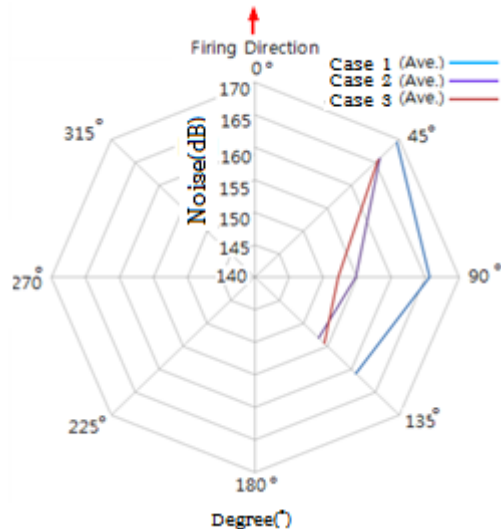


Fig. 22. A comparative result with shielding material and without shielding material cover(8 m)

Fig. 21에서는 거리가 4 m 이격 되었을 때 Case변화에 따른 계측값을 나타낸 것으로 사격음은 Case 1과 Case 2에서 최대 약 16 dB( $\theta = 90^\circ$ ), Case 1과 Case 3

에서 최소 4 dB( $\theta = 135^\circ$ )가량 감소한 것을 확인할 수 있다. 따라서 중구경 화포에서 발생한 추진가스의 팽창과 포탄에 의한 충격파로 발생한 소음은 차폐재 설치위치 및 각도에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig. 22에서는 거리가 8 m 이격 되었을 때의 그래프로서 사격음은 Case 1과 Case 3에서 최대 약 12 dB( $\theta = 90^\circ$ ), Case 1과 Case 2에서 최소 약 4 dB( $\theta = 45^\circ$ )가량 감소한 것을 확인할 수 있다. Fig. 23은 거리가 20 m 이격 되었을 때의 그래프로서 최대 약 15 dB( $\theta = 90^\circ$ ), 최소 약 4 dB( $\theta = 45^\circ$ )가량 소음이 감소한 것을 볼 수 있다.

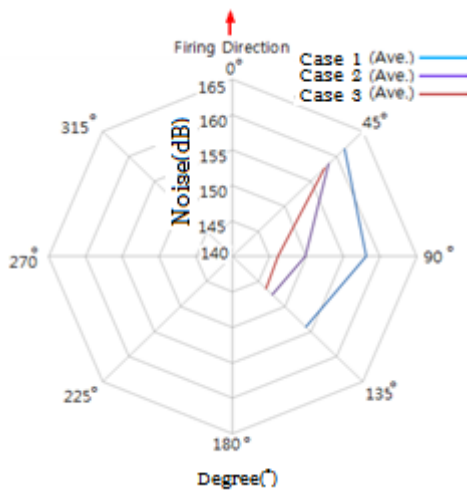


Fig. 23. A comparative result with shielding material and without shielding material cover(20 m)

## 5. 결론

40 mm 중구경화포의 포구주위에 흡음재가 포함된 차폐재를 설치하여 소음 저감효과 실험을 실시한 결과 전체적으로 차폐재 설치 시 소음이 감소하였으며 대체적으로 근거리 4 m( $\theta = 135^\circ$ ) 지점을 제외하고 Case3에서의 충격소음이 Case2보다 더 많이 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

차폐재에 의한 소음 감소는 주로 근거리영역에서 발생하는 것으로 확인되었으며 방사나 투과소음이 저감되었다는 것은 감소한 양 만큼 반사될 가능성이 있으므로 향후 반사소음에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

## References

- [1] John. E. K. F, "Sound Analysis and Noise Control," Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 208-209, 1990.
- [2] William J. Murphy, Randy L. Tubbs, "Assessment of Noise Exposure for Indoor and Outdoor Firing Ranges," Journal of Occupational and Environmental Hygiene, ISSN:1545-9624, pp. 688-697, September 2007.
- [3] I. S. Moon, H. S. Choi, H. S. Kim, J. Kim, W. S. Lee, "Clinical Characteristics of Acoustic Trauma Caused by Rifle Gunshot Noise," Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg, DOI 10.3342, pp. 699-704. 2004.
- [4] MIL-STD-1474D, "Department of Defense Design Criteria Standard, NOISE LIMITS," 1997.
- [5] K. J. Kang, S. H. Ko, D. S. Lee, "A Study on Impulsive Sound Attenuation for a High-Pressure Blast Flowfield," Journal of Mechanical Science and Technology, 2008.
- [6] K. J. Kang, S. H. Ko, Y. K. Kwak, D. J. Lee, I. C. Lee, "An Evaluation of Silencer Characteristics by Live Firing Test," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology Vol. 10, No. 3, pp. 217-224, September 2007.
- [7] M. S. Park, T. W. Koo, B. S. Kang, "Performance Evaluation for Noise Suppression of a Silencer in Small Arms," Journal of the Korea Society of Precision Engineering Vol. 20, No. 9, pp. 151-158, September. 2003.
- [8] A. Y. Jeong, J. S. Kim, "A analysis of Acoustic Characteristics and Shooting Noise Prediction for Shooting Range shielding in Military," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 11, pp. 833-839, November 2011.
- [9] S. W. Lee, H. S. Kim, S. J. Jeong, "Measurement of Noise and Evaluation of Noise Control Methods for Military Rifle Shooting Ranges," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology Vol. 12, No. 1, pp. 123-132, February. 2009.
- [10] J. H. Lee, "An Experimental Study on shielding



- Apparatus for the Impulse Noise of K2 Rifle,”  
Journal of the Korea Institute of Military Science  
and Technology Vol. 13, No. 3, pp. 486~492, July.  
2010.
- [11] I. W. Cha, “Noise and Vibration Engineering,” Mood  
Woon Dang, Korea, pp. 301-302, 1994.
- [12] US Army TECOM, “Sound Level Measurement,”  
TOP 1-2-608, 1981.
- [13] Arnold P. G. Peterson, “Handbook of Noise  
Measurement,” GenRad Inc., USA, pp. 3-18, 1984.