

대구경 화포용 소음기 개발을 위한 실험적 연구

An experimental study for developing of silencer to be adapted large gun

이해석* · 박성호* · 김상민* · 강태엽* · 김응수*

Hae suk lee, Sung ho park, Sang min kim, Tae yeop kang and Heung soo kim

Key Words : Silencer(소음기), Impulse noise(충격소음), Howitzer(곡사포), CFD(전산유체역학)

ABSTRACT

To reduce the transmission of large gun-generated noise from the firing test range to the community, we have tested a silencer to be used with howitzer(155mm KM114A2) after simulation. Numerical analysis was conducted by using a commercial CFD code, FLUENT. To analyze complex blast flow fields, the Spalart-Allmaras model was applied under 2 dimensional and axisymmetric conditions. Firing tests were also performed with the KM114A2 howitzer while the silencer was installed. This paper describes a result of comparison between results of computer analysis and test outcomes which were gotten by firing 155mm projectiles at the testing range. This paper will also be informative to the muffler design which will be adapted to 155mm large gun in the future.

위하여 폭넓은 연구를 수행하고 있으며, 국내에서도 충격 소음을 줄이기 위해 소음감소 장치에 대하여 빠른 시간 안에 저렴하게 예측할 수 있는 전산유체 해석에 대한 연구를 실시하고 있다.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

기 호 설 명

- L_p : 임의의 음압레벨
- T : 사격음의 계측시간
- $\frac{D}{Dt}$: 전 미분(total derivative)

1. 서 론

총포/탄약 시험 시 발생하는 충격소음은 운용자에게 치명적인 청각손실과 주위시설 및 사용 장비 등에 큰 영향을 미칠 수 있으며 발사장 인근 주민들로부터 여러 법적 문제를 야기 시킬 수 있다. 충격소음이 발생하는 주요원인으로는 사격시 발생하는 포구주위의 압력 유동현상 및 탄자의 이탈 등의 원인으로 발생하게 된다.⁽¹⁾⁽²⁾ 화포 운용 시 발생하는 높은 충격 소음을 저감하기 위해 해외 선진국에서는 효과적으로 소음을 저감시킬 수 있는 해결방안을 찾기



Figure 1. A silencer for 155mm KM114A2 Howitzer

본 연구에서는 155mm 화포용 소음기 개발을 위한 개념설계 단계로서 Fig. 1과같이 대구경 화포인 155mm KM114A2에 적용되는 화포용 소음기를 설치하여 소음기 장착 전, 후의 소음특성을 검토하였다. 논문의 전반부에서는 사격시 발생하는 충격

† 교신저자; 비회원, 국방과학연구소
 E-mail : suk@add.re.kr
 Tel : (041)671-2161, Fax : (041)673-1122
 * 국방과학연구소

소음에 대한 이론식과 화포용 소음기의 기본구조를 설명하였으며, 중반부에서는 화포용 소음기 유, 무에 따른 CFD 해석과 소음기 장착에 따른 실험 자료와 CFD 해석자료를 비교 검토하였다. 결론에서는 향후 대구경 화포용 소음기 설계개발 시 수치해석 활용가능성에 대하여 고찰하였다.

2. 화포용 소음기 해석

2.1 화포용 소음기 특성

(1) 3차원 음파 방정식

소음이 발생하는 임의의 3차원 공간에 위치한 미소체적에 대한 질량보존 법칙에 의하면, 단위 시간당 미소체적의 질량의 증가는 그 미소체적의 표면을 통해 들어오고 나가는 단위 시간당 질량과 같다. 편의상 들어오고 나가는 단위 시간당 질량을 고려하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \left(\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right) dV$$

$$= \nabla \cdot \vec{\rho u} dV \quad (1)$$

과같이 표현할 수 있다. 여기서, $\vec{u} = (u, v, w)$ 이다. 식(1)에 질량보존의 법칙을 적용하여 운동량 보존식은 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\vec{\rho u} (\nabla \cdot \vec{u}) + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{\rho u} + \rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} - (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{\rho u}$$

$$= \rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u}$$

$$= \rho \frac{D\vec{u}}{Dt} \quad (2)$$

여기서, $\frac{D}{Dt}$ 는 전미분(total derivative), 혹은 물질미분(material derivative)을 표현한다. 결과적으로, 힘과 운동량의 균형은 $\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = -\nabla p$ 와 같이 정리된다.

(2) 소음 성분 분석

소리는 공기의 압력 변화가 인간의 고막에 가해질 때 느끼게 된다. 이와 같이 소리로서 느끼게 되

는 최소음압은 1kHz에서 $P_0 = 2 \times 10^{-5} N/m^2$ 이다. 따라서 소리의 크기는 이 음압의 크기에 비례하여 들리게 된다. 인간의 소리에 대한 감각은 로그 척도에 대응하므로 소리의 크기는 최소 음압을 기준값으로 한 로그척도, 즉 음압 레벨(sound pressure level)로써 아래식과 같이 정의 하였다. 이때 음압 레벨은 단위 면적당 소리에 의해 가해지는 힘의 크기를 나타낸 것이다.

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P(t)}{P_0} \right) dt \quad (3)$$

여기서, T 는 사격음의 계측시간, L_p 는 임의의 음압 레벨이다. 한편 소음은 음압뿐만 아니라 주파수나 수음자의 심리적 상태에 따라서 다를 수 있다. 이 때문에 귀의 특성을 고려한 *A-weighted*된 소음원의 강도, 즉 음압강도를 사용하였다.

(3) 155mm KM114A2 화포용 소음기 구조

155mm KM114A2 화포용 소음기는 Fig. 2에서와 같이 소음기 내부에는 3개의 챔버가 있어 탄자이동 후 발생하는 많은 양의 가스압이 챔버에서 머문 후에 포구로 이탈하게 된다. 즉, 포구를 떠난 가스가 포구 밖으로 바로 분출되지 못하고 소음기 내부에서 일정기간동안 머물기 때문에 소음이 현저하게 줄어 들게 된다.

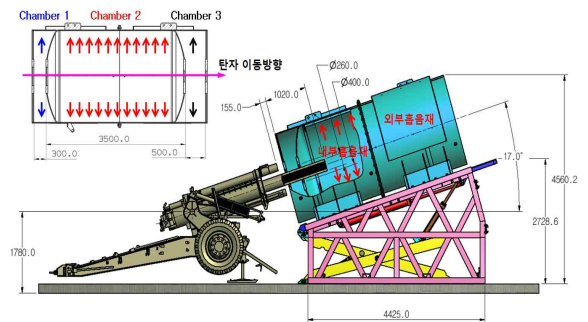


Figure 2. A effect of noise reduction

2.2 CFD해석 및 사격시험 결과비교

(1) CFD 해석조건

본 해석을 위하여 사용된 프로그램은 Ansys사의

Fluent Ver. 14를 사용하였으며, 난류모델은 항공 우주분야의 공기역학에 최적화되어 사용되고 있는 Spalart Allmaras 모델을 사용하였다. 유동계산은 시간에 대한 해석을 위하여 비정상상태를 적용하였으며, 시간 구간은 0~0.02초까지를 해석범위로 적용하였으며, 시간간격은 2.0×10^{-6} 초로 적용하여 해석을 진행하였다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

격자생성은 격자생성 전문프로그램인 ICEM-CFD를 이용하여 Hexa Mesh를 사용하여 포구 및 소음기 출구를 중심으로 반경방향으로 방사형의 형태를 가진 격자를 생성하였다. 수치해석의 종료는 각 격자점(Grid Node)에서 이전Step의 계산결과와 이후Step의 계산결과를 비교하여 차이를 계산한 잔차값(Residual)이 1×10^{-3} 에 도달할 때 까지 계산을 진행하였다.

(2) 수치해석모델

Fig. 3와 Fig. 4는 화포에 소음기 적용 전과 적용 후에 대한 3차원 모델링을 나타낸 것이다. 3차원 모델링을 기준으로 하여 수치해석에 필요한 유체영역과 고체영역을 도출하여 해석을 진행하였다.⁽⁸⁾

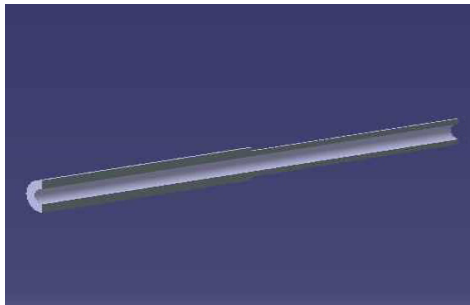


Figure 3. 3D model for gun

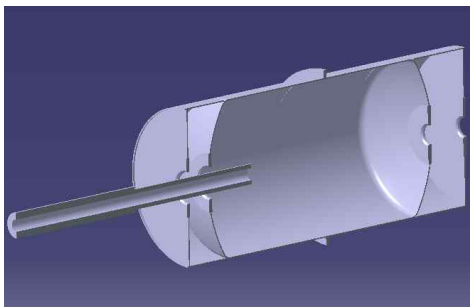


Figure 4. 3D model for gun with silencer

Fig. 5와 Fig. 6은 수치해석을 위한 유체영역을 나타낸 것으로서 2차원 영역으로 실제형상에서 수평방향으로 각도를 0°에서 180°, 반경 7m까지 해석영역으로 설정하였으며, 반경 6m까지의 결과를 도출하였다.



Figure 5. Fluid region for numerical analysis(without silencer)

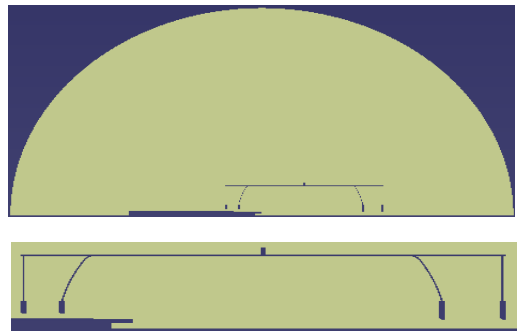


Figure 6. Fluid region for numerical analysis(with silencer)

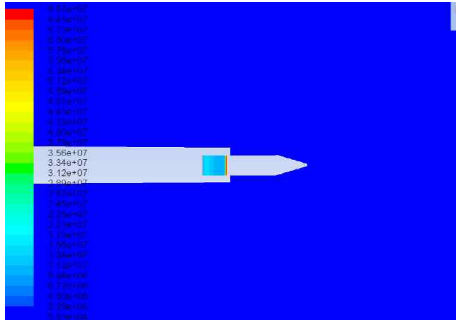
또한, 탄자의 움직임을 고려하기 위해 격자를 전체 유동장 영역과 탄자가 진행되는 영역으로 나누어 구성하였다. 사용된 격자의 특성은 Table. 1과 같다.

Table 1. Mesh properties for numerical analysis

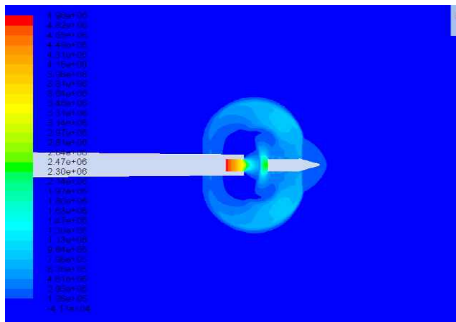
Type	Mesh Type	Element	Node
Without	Quad	82,415	81,603
With		133,041	131,150

(3) 소음기 미적용 유동/음압분포

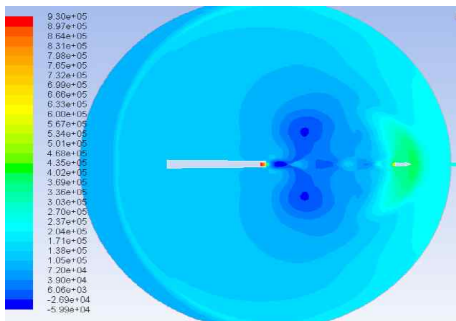
Fig.7은 소음기가 적용되지 않은 경우에 대한 사격시 압력분포를 나타낸 그림이다. 약 1.67×10^{-4} 에 압력파가 포구를 이탈하기 시작하여 시간이 지나면서 탄자의 영향으로 압축파형이 상하로 넓게 타원형의 형태로 퍼져나가는 형상이다.



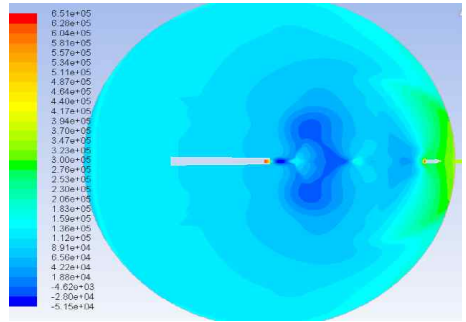
(a) 1.0×10^{-4} sec.



(b) 1.0×10^{-3} sec.



(c) 1.5×10^{-2} sec.

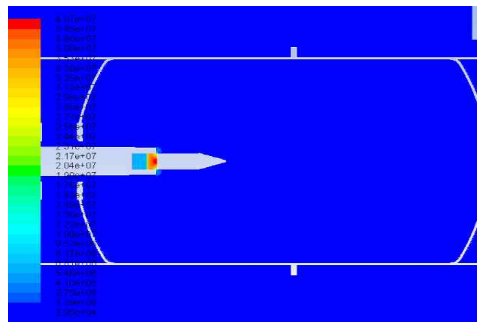


(d) 1.8×10^{-2} sec.

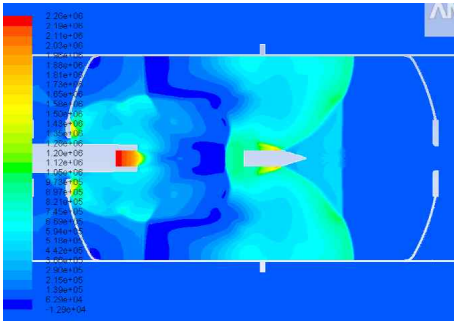
Figure 7. Without silencer, pressure contours

(4) 소음기 적용 내부 및 외부 유동/음압분포

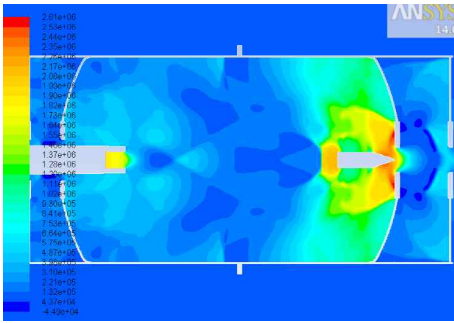
Fig.8은 155mm KM114A2 화포 소음기가 적용된 경우에 대한 사격시 발생하는 압력분포를 나타낸 그림이다. 입구조건이 부과된 후 약 1.6×10^{-4} 초에 포구를 이탈하여 압축파형이 형성되고 있다. 형성된 압축파형은 시간이 경과함에 따라 소음기의 벽면과 부딪히면서 압축파형의 형태가 사라진 후 격판 중앙부분의 좁은 공간을 통과하여 약 5.0×10^{-3} 초에는 소음기 출구부분으로 압력이 토출되어 대기공간으로 새로운 형태의 파형을 생성하면서 소음기 출구부분을 중심으로 원형의 형태로 퍼져나가는 형상이다. 소음기 내부에서는 압축파형이 포구를 통해 한번에 토출되지 않고 오른쪽에 설치된 격판에 부딪히면서 포구의 뒷부분으로 파형이 이동한 후 소음기 뒷부분의 대기로 압축파형이 원형으로 토출되어 대기로 전파되고 있다.



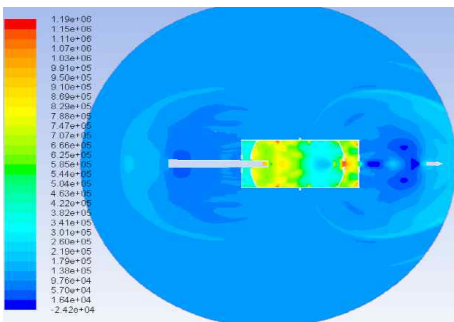
(a) 2.0×10^{-4} sec.



(b) 3.2×10^{-3} sec.



(c) 6.8×10^{-3} sec.



(d) 1.8×10^{-2} sec.

Figure 8. With silencer, pressure contours

(5) 실 사격시 계측방법

소음기 개발을 위한 측정항목으로는 소음기내부 압력, 사격음압 등이 있으며, 신호획득장치는 DEWE-5000을 이용하였다. 자료처리 소프트웨어는 Dewesoft 6.6.7을 사용하였으며 소음계측센서는 포구 반경 4m, 8m, 12m, 20m와 포구 뒷쪽으로 400m떨어진 구간에 설치하여 소음기 장착

전, 후의 소음 저감효과를 확인하였다.

(6) 각 지점의 압력 및 음압 분포

Fig.9는 포구를 기준으로 수평단면에서 반경방향으로 최대압력분포에 의한 음압분포를 도출하기 위한 위치를 나타낸 것이다. 반경방향은 $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 까지 30° 의 각도로 나누었으며, 각 각도에 대하여 포구에서 1m 간격으로 6m까지 30곳의 위치를 정하였다. 0° 는 탄자의 진행 방향이므로 제외 하였다. 각 위치에 대한 압력을 음압으로 환산하기 위해서 식(3)이 사용되었다.

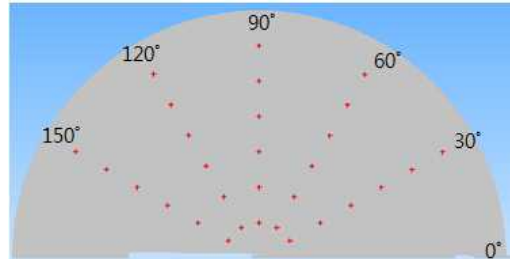
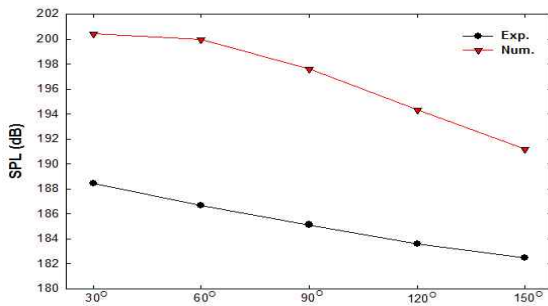


Figure 9. Selecting points to obtain the max. pressure for radial direction

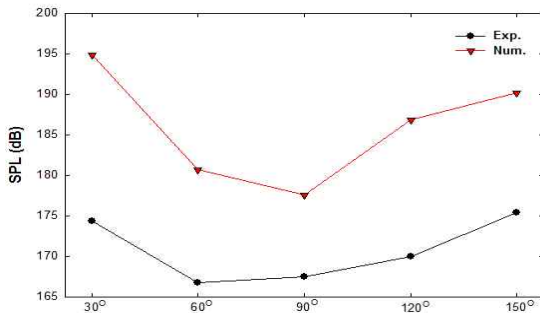
(7) 사격시험과 수치해석 비교 분석

Fig.10은 155mm KM114A2 화포용 소음기가 적용된 경우와 소음기가 적용되지 않은 경우에 대하여 포구를 중심으로 4m 지점에서의 시험값과 수치해석값의 비교를 나타낸 것이다.

수치해석과 시험 결과를 비교해 보았을 때 수치해석이 시험에 비해 전체적으로 높은 값을 나타내고 있지만 정성적인 경향이 일치하고 있는 것으로 확인되었다. Fig.10에서 수치해석이 시험에 비해 전체적으로 높은 이유는 수치해석에서 구현할 수 없는 요소들에 대한 실제상황과의 차이에서 발생하는 오차로 판단된다. 예로서, 수치해석에서는 “장약의 폭발과 탄자의 이동” 대신 포구에서의 압력값을 적용하는 입구조건을 적용하였으며, 실제 사격시에는 소음기 내부 및 외부 흡음재, 포마운트 구조물, 지형 등의 영향요소들이 있으나, 수치해석에서는 고려하지 않음으로 인한 차이가 발생된 것으로 판단된다.



(a) Without silencer



(b) With Silencer

Figure 13. Comparison with exp. & num. of SPL

3. 결 론

대구경 화포용 소음기 개발을 위한 선행 단계로 수행된 155mm KM114A2 화포용 소음기에 대한 CFD 해석 및 실험 결과는 다음과 같다.

첫째, 155mm KM114A2 화포용 소음기에 대한 사격시험과 CFD 해석 결과를 서로 비교해보았을 때 수치해석이 실험에 비해 전체적으로 높은 값을 나타내고 있으나 향후 CFD 해석 방법을 일부 보완하여 적용한다면 하나의 설계도구로서 신뢰성 있게 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

둘째, 향후 지속적인 사격시험을 통해 화포소음기와 고각조절장치에 대한 구조안전성과 내구성이 검증될 경우 군 또는 시험장에서 운용이 가능 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

(1) G. J. Hokenson, 1998, "Evaluation of an Add-on Muzzle Exhaust Flow Manipulator for

Noise Suppression on Large Caliber Guns", DA196-601, 1998

(2) Dumond, J., et al, "A Determination of the Wave Forms and Laws of Propagation and Dissipation of Ballistic Shock waves", JASA, Vol 18, No. 1, July 1946

(3) Hae Suk Lee, "A fundamental design on of silencer and a study of noise reduction, Agency Defence development report, ADDR-519-120906(2012. 5)

(4) Kim, D.H, Kim, B.S, Kim, H.S, Choi, S.H, Kim, S.M, 2012, "The Measurement Technique on Rate of Fire using Sound Pressure Sensor", The Korean Society for Noise and Vibration(Annual Spring Conference), pp. 574~575

(5) Lee, H.S, Joe, Y.S, Kim, E.S, Choi, S.H, Kim, S.M, Kim, K.I 2012, "An experimental consideration for muffler development", The Korean Society for Noise and Vibration(Annual Autumn Conference), pp. 677~678

(6) Kang, T.Y, Kim, S.M, Choi, S.H, Lee, H.S, Park, S.H 2013, "Numerical and Experimental Study on Improving Performance of Baffle-type Silencers Applied to Medium-caliber Cannons", The Korean Institute of Military Science and Technology(Annual Conference), pp. 1629~1630

(7) Kim, S.M, Kang, T.Y, Choi, S.H, Lee, H.S, Kim, B.S 2012, "Comparison of the results of firing test and CFD analysis on baffled silencer of 40mm ordnance", The Korean Society of Mechanical Engineers(Annual Autumn Conference), pp. 1262~1266

(8) ANSYS FLUENT User's Guide-RELEASE 14.0