

대구경 화포용 소음기 개발을 위한 실험적 연구

Experimental Study for Developing Silencer Adapted by Large Caliber Gun

이해석[†]·박성호^{*}

Hae-Suk Lee and Sung-Ho Park

(Received February 23, 2015 ; Revised August 18, 2015 ; Accepted August 18, 2015)

Key Words : Silencer(소음기), Impulse Noise(충격소음), Howitzer(곡사포), Structure Analysis(구조해석)

ABSTRACT

In this paper, the silencer for large caliber gun to reduce the propagation of gun-generated noise was studied. The results of structural analysis and firing test were described. Structural analysis was conducted by using a commercial program, ANSYS, and showed that there was not any structural problem. The sound pressure level was diminished about 10 dB by the silencer adapted in front of the gun and the soundness of the material was verified from the internal pressure measurement. The reduction of weight, improvement of durability and speed-up of actuating device have to be studied later to improve the usability of silencer for large caliber gun.

1. 서론

총포 탄약 시험 시 발생하는 충격소음은 운용자에게 치명적인 청각손실과 주위시설 및 사용 장비 등에 영향을 미칠 수 있으며 발사장 인근 주민들이 민원을 제기하는 원인이 되기도 한다. 사격시험 시 포구 주위에 형성되는 유동 압력장과 탄자의 이탈은 충격소음의 주요 원인이다⁽¹⁾. 충격소음의 전파를 억제하기 위한 적극적인 방안의 하나로 소음기의 사용이 있다. 미국의 애버딘(Aberdeen) 시험장에서는 전차포용 소음기의 개발과 소음기 내부형상에 따른 소음저감 특성을 연구하였다^(2,3). 국내에서는 소구경 화기용 소음기가 주로 연구되어 왔으며^(4,5) 최근에 중구경 화포용 소음기의 설계 및 실 사격시험에 의한 성능 검증이 연구되었다⁽⁶⁻⁸⁾.

이 논문은 대구경 화포용 소음기의 개발을 위한 개념설계 연구결과이다. Fig. 1과 같은 형상을 가

지고 있는 155 mm 견인곡사포용 소음기를 제작하였으며 전산구조해석과 실 사격시험을 통한 소음저감도를 확인하였다. 논문의 전반부에서는 대구경 화포용 소음기의 구조를 기술하였으며 중반부에서는 전산구조 해석과 실 사격시험 결과를 분석하였다. 후반부에서는 이 연구로 얻어진 결과와 향후 유사무기체계에 적용하기 위해 필요한 연구내용을 고찰하였다.

2. 소음기의 구조 및 특징

2.1 소음기의 구조

소음기의 형상은 사격시험 시 발생하는 유동압력이 축대칭으로 확산된다고 가정할 수 있으므로 폭압이 소음기에 구조적으로 미치는 영향이 최소화되도록 원통형으로 설계하였다.

소음기의 내부는 3개의 격실로 구성하였으며 격실 내부에는 Fig. 2와 같이 Table 1의 사양으로 흡음

[†] Corresponding Author ; Member, Agency for Defence Development
E-mail : suk@add.re.kr

^{*} Member, Agency for Defence Development

[‡] Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering



Fig. 1 Silencer for 155 mm Howitzer

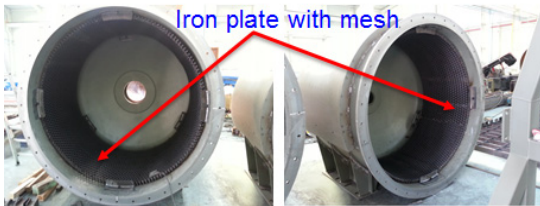


Fig. 2 Installation of sound-absorbing material inside silencer

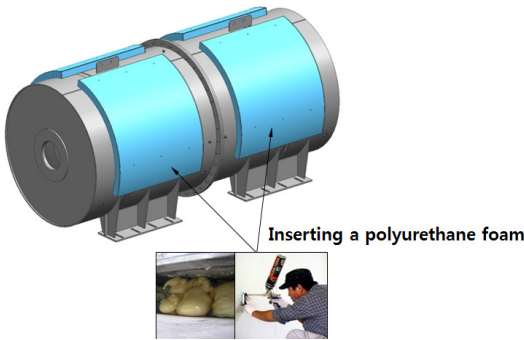


Fig. 3 Installation of sound-absorbing material outside silencer

재로서 격자형 철망을 부착하였다. 각 격실은 사격 시험 시 포구 전방으로 분출되는 유동의 흐름이 일정시간 동안 머물면서 에너지가 감소되어 주변으로 전파되는 소음을 저감시키는 기능을 한다. 내부 흡음재의 상태확인 및 교체의 용이성을 위하여 2개로 분리가 가능하도록 제작하였다.

소음기의 외부에는 Fig. 3과 같이 Table 2의 사양으로 폴리우레탄 폼을 주입하여 사격시험 시 소음기의 내부에서 발생하는 유동의 충돌에 의한 공명으로 발생하는 소음이 감소되도록 하였다.

Table 1 Specification of sound-absorbing material inside silencer

Section	Specification
Item	Iron plate with mesh
Application	Install iron mesh plate in the silencer
Dimension (mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Inner and outside diameter(mm) : 1,980/1,880 • Thickness : 50 • Length : 1,050

Table 2 Specification of materials to the surface of silencer

Section	Specification
Item	Polyurethane
Application	Insert a polyurethane form (Time of hardening : 24 hour)
Dimension (mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Outside diameter : 2,230 • Thickness : 100 • Length : 1,520

2.2 소음기의 구동장치와 작동원리

소음기의 총 중량은 약 8 ton이며 견인곡사포의 포구에 직접 장착할 수 없기 때문에 별도의 구동장치가 필요하다. 구동장치의 외형은 Fig. 4와 같으며 상·하 조절용 실린더로 소음기를 상부로 올리고 각도 조절용 실린더로 사격각과 동일한 각도로 조절한 후에 전·후진용 실린더로 화포의 포구가 소음기의 입구에 삽입되도록 조절한다.

2.3 소음성분 분석과 팽창형 소음기의 특성

(1) 소음성분 분석

인간은 공기의 압력 변화가 고막에 가해질 때 소리로 느끼게 된다. 인간의 소리에 대한 감각은 로그 척도에 대응하며 소리의 크기는 최소음압을 기준으로 한 음압 레벨로 식 (1)과 같이 정의된다. 최소음압은 1 kHz에서 $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$ 이며 T 는 측정시간, L_p 는 음압 레벨이다. 음압은 단위 면적당 소리에 의해 가해지는 힘의 크기를 의미한다⁽⁹⁾.

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

소음은 음압뿐만 아니라 주파수나 수음자의 심리적 상태에 따라서 다를 수 있기 때문에 귀의 특성을

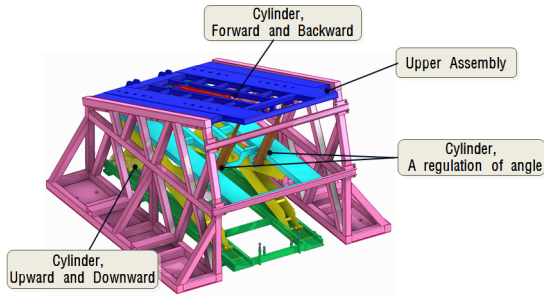


Fig. 4 Driving equipment to the lower part of silencer

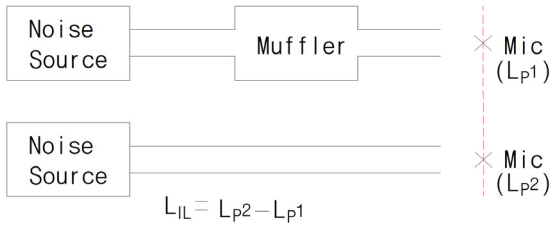


Fig. 5 A diagram of insertion loss

고려한 *A-weighted*된 소음원의 음압강도를 적용한다.

(2) 팽창형 소음기 특성

이 연구를 수행한 소음기는 팽창형 소음기로서 소음기가 장착되기 전과 후의 음압레벨(SPL: sound pressure level)을 출구로부터 일정한 거리에서 측정하여 그 차이를 dB로 표시하였다. 이와 같이 소음기의 성능을 표시하는 것을 삽입손실(insertion loss)이라 하며 Fig. 5와 같이 소음기계(연결용 관들과 미관포함), 미관 출구에서의 방사 등 모든 관련계의 특성이 포함되어 있어서 가장 실제적인 값이라고 할 수 있다⁽¹⁰⁾.

(3) 소음기 내부에서 발생하는 응력

사격시험 시 발생하는 압력에 의한 소음기의 구조적 안전성은 얇은 원통이 내압을 받을 때 발생하는 응력을 계산하여 확인할 수 있다.

내경 d , 두께 t , 길이 l 의 얇은 원통이 내압 P 를 받고 있을 때 전압력은 pdl , 전응력은 $2\sigma_t l$ 이며 전압력과 전응력이 평형을 이루므로 원주방향 응력 σ_t (kg/cm^2)과 길이방향 응력 σ_s (kg/cm^2)으로 구분된다.

3. 소음기 강도분석

3.1 해석 조건

155 mm 견인곡사포용 소음기의 강도분석을 위하여 구조해석프로그램 ANSYS ver.14를 사용하여 해석하였으며, 유동해석으로 얻어진 소음기 내부의 각 챔버에 발생하는 최대 압력값을 구조해석을 위하여 소음기 내부에 적용하였다. 챔버가 지지대에 고정되어 있으므로 정적 구조 해석을 실시하였으며, 해석 소요시간은 17 CPU, Memory 24GB, Hex Core를 사용하여 약 1시간 정도 소요되었다.

3.2 구조해석 모델링 및 격자

Fig. 5는 구조해석을 위한 모델이며 중심 단면을 기준으로 절반의 영역을 해석범위로 선정하여 Table 3의 격자 특성을 사용하였다.

3.3 구조해석 경계조건

Table 4는 유동해석의 경계조건을 나타낸 것으로 소음기 외부는 대기압, 탄자토출 이후는 실 사격 시 압력선도상의 포구 출구압력을 이용하였다. 또한 온도조건은 화염 온도로서 포구토출이후 압축과정의 반경방향으로 팽창을 고려하여 부여하였다.

Fig. 6은 소음기 구조해석을 위해 부과한 경계조건이다. 포구 토출이후 압력하부면은 바닥에 고정된 조건을 부과하였으며, 중심단면은 대칭방향으로 변형이 발생하지 않도록 변위조건을 부과하였다. 압력조건은 유동해석으로 계산된 결과값을 적용하기 위해서 12개의 벽면으로 나누었으며, 유동해석에서 압력의 영향을 가장 크게 받는 8번째 벽면과 압력토출 시 평판으로 되어 있는 11번째 벽면을 기준으로 2가지 경우에 대하여 압력조건을 부과하였다.

유동해석에서 가장 높은 압력이 발생하는 시간이 1E-6초이기 때문에 두 벽면에서 가장 높은 압력이 발생하는 시점을 기준으로 전·후 1E-4초까지의 시간에 따라 변화하는 압력값을 적용하여 비정상구조해석을 실시하였다.

다른 벽면의 경우 8번째 벽면과 11번째 벽면에서 최대압력이 발생하는 동일 시간대의 비정상 유동 해석값을 적용하였다.

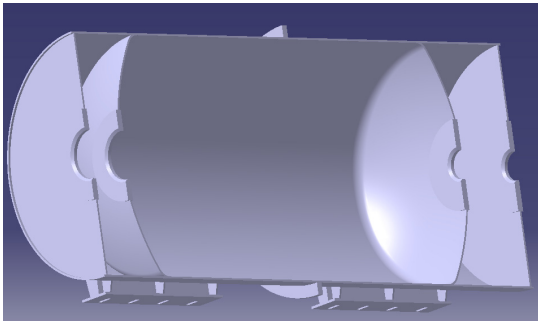


Fig. 5 Structural analysis model for silencer

Table 3 Mesh properties for structural analysis

Mesh property	Value
Curvature normal angle(°)	10
Minimum size(mm)	0.4
Maximum size(mm)	50
Maximum face size(mm)	30
Number of nodes	269,407
Number of elements	51,312

Table 4 Boundary conditions

Positions	Conditions
Outside	Pressure-far-field
Inlet	56 MPa
	2,700 °C

3.4 구조해석 결과

Table 5는 8번째 벽면에서 최대 압력이 작용할 경우 구조해석 결과에 따른 최대 응력, 변형량 및 안전율을 계산결과이다. 소음기의 내부 챔버의 우측 격판에서 최대 173 MPa의 응력이 발생하며 소재의 항복강도(325 MPa)보다 낮은 값이다. 최대 변형량은 소음기 내부 우측 격판에서 0.279 mm이며 안전율은 1.87이다.

Table 6은 11번째 벽면에서 최대 압력이 작용할 경우 구조해석 결과에 따른 응력, 변형량 및 안전율을 계산결과이다. 챔버와 지지대의 연결부위에서 113 MPa의 최대 응력이 발생하였고, 11번째 벽면에서 격판과 셸(shell)이 연결된 부위에서 73 MPa의 응력이 발생하여 소재의 항복강도(325 MPa)보다 낮은 값으로 계산

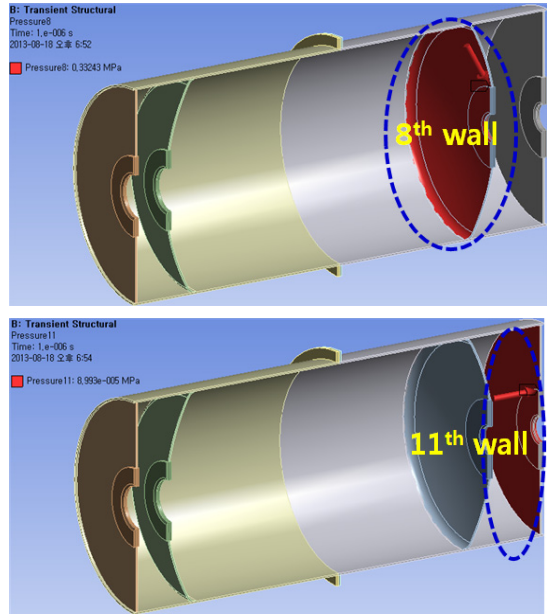


Fig. 6 Boundary conditions for silencer

Table 5 Results of structure analysis at 8th wall

Max. stress (MPa)	Max. deformation (mm)	Min. safety factor
172.88	0.27974	1.8799

Table 6 Results of structural analysis at 11th wall

Max. stress (MPa)	Max. deformation (mm)	Min. safety factor
113.03	0.14485	2.8754

되었다. 최대 변형량은 토출구의 마지막 격판에서 0.1448 mm이며 안전율은 2.87로 계산되었다.

4. 사격시험에 의한 검증

4.1 음압 계측 위치 및 신호획득 방법

사격시험시 포구 주변에 발생하는 음압을 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 포구 반경 4 m, 8 m, 16 m, 32 m와 포구 후방으로 400 m 떨어진 지점에 음압센서를 설치하였다.

사격시험으로 소음기의 유무에 따른 최대음압을 비교하였으며 신호 획득 장치는 DEWE-5000, 자료

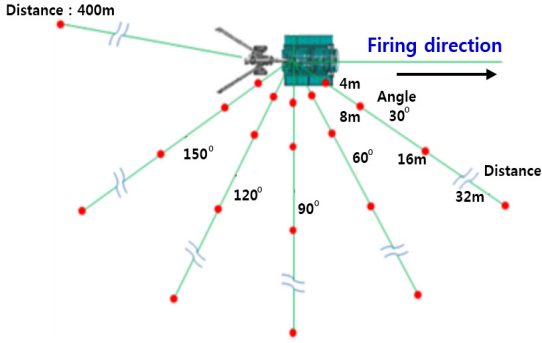


Fig. 7 Measurement of sound pressure

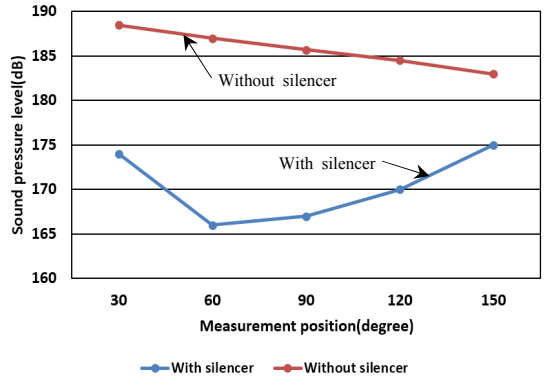


Fig. 8 Effects of silencer for SPL

처리는 Dewesoft 6.6.7를 이용하였다.

4.2 소음기 유무에 따른 소음저감도 비교

Fig. 8은 소음기 유무에 따른 소음저감도 비교결과로 포구 중심 4 m 지점에서 측정된 값이다. 소음기의 적용으로 약 10 dB정도의 소음이 저감되었음을 알 수 있으며 60°, 90°, 120° 순으로 소음 저감량이 감소하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 포구 후방으로 400 m 이격된 지점에서 측정된 소음 스펙트럼이다. 소음기의 적용으로 약 10 dB의 소음이 저감되었으며 소음저감 효과는 고주파수 대역(125~3,150 Hz)이 상대적으로 더 크다.

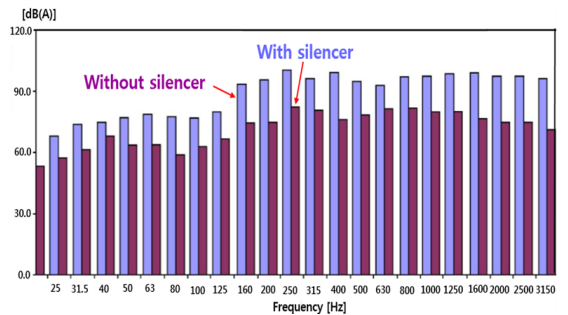


Fig. 9 Measurement of noise at 400 m

4.3 소음기 내부압력 계측

사격시험 전 화포용 소음기에 대해 구조해석을 실시하여 안전성이 확보되었음을 확인하였으며 실사격시험을 통하여 소음기 내부압력을 측정하여 구조안전성을 검토해 보았다. 압력측정을 위해 Fig. 10과 같이 소음기 측면에 압력센서 3개를 동일한 간격으로 설치하였다. 탄두 이탈 시 발생하는 화염과 내부형상에 의해 소음기 전방, 후방 및 격막이 설치된 구간은 센서 설치가 불가하여 소음기 측면에 일정간격으로 센서를 설치하였다.

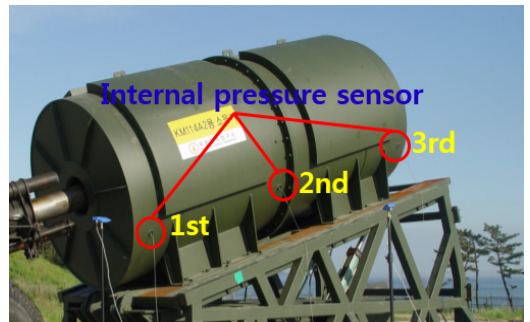


Fig. 10 Installation of internal pressure sensors

Fig. 11은 센서 위치에 따른 압력측정 결과로 최대 압력은 2번 센서에서 1.2 MPa로 계측되었다.

구조해석 시 격판부위의 압력과 센서가 설치된 곳의 압력값을 비교해 보았을 때 많은 차이가 발생하는 것을 볼 수 있는데 이는 압력측정 위치가 서로 다르고 포탄이 소음기 외부로 이탈 시 소음기 내부 압력은 탄자이동방향으로 발생되고 있으나 계측센서는

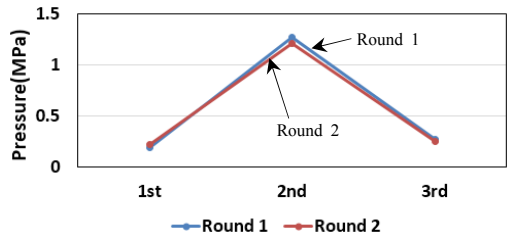


Fig. 11 Internal pressure in the silencer

원주 방향으로 설치되어 있어 차이가 있는 것으로 판단된다. 향후 구조해석 시 수행한 압력값과 정확한 비교를 위해서는 화염에 의해 발생하는 영향을 최소화 하면서 정확한 측정이 가능한 측정기법 개발이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

대구경 화포용 소음기의 개발을 위한 구조해석 및 사격시험에 의한 검증 결과, 소음기용 소재는 구조적 안전성이 확보되었다. 소음저감도는 약 10 dB이며 소음저감 효과는 고주파수 대역에서 상대적으로 더욱 크다.

대구경 화포용 소음기의 실용화를 위해서는 소음기의 경량화와 구동장치에 대하여 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Reference

(1) Kang, K. J., An, S. T., Choi, H. J. and Hong, S. K., 2009, A Studying Trend of Shock Noise by the Gun Firing, Journal of KSNVE, Vol. 19, No. 2, pp. 4~8.

(2) Fansler, K. S., Von Wahlde, R., 1991, A Muffler Design for Tank Cannon Acceptance Testing, Memorandum Report BRL-MR-3931.

(3) Cooke, C. H. and Fansler, K. S., 1989, Numerical Simulation and Modeling of a Muffler, Memorandum Report BRL-MR-3735.

(4) Kang, K. J., Ko, S. H., Kwak, Y. K., Lee, D. J., and Lee, I. C., 2007, An Evaluation of Silencer Characteristics by Live Firing Test, Journal of the KIMST, Vol. 10, No. 3, pp. 217~224.

(5) Park, M. S., Ku, T. W. and Kang, B. S., 2003, Performance Evaluation for Noise Suppression of a Silencer in Small Arms, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 151~159.

(6) Kang, T. Y., Kim, S. M., Choi, S. H., Lee, H. S.

and Park, S. H., 2013, Numerical and Experimental Study on Improving Performance of Baffle-type Silencers Applied to Medium-Caliber Cannons, Proceedings of the KIMST Annual Conference, pp. 1629~1630.

(7) Kim, S. M., Kang, T. Y., Choi, S. H., Lee, H. S. and Kim, B. S., 2012, Comparison of the Results of Firing Test and CFD Analysis on Baffled Silencer of 40mm Ordnance, Proceedings of the KIMST Annual Autumn Conference, pp. 1262~1266.

(8) Lee, H. S., Joe, Y. S., Kim, E. S., Choi, S. H., Kim, S. M. and Kim, K. I., 2012, An Experimental Consideration for Muffler Development, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 677~678.

(9) Cha, I. W., 1994, Noise and Vibration Engineering, Moon Woon Dang, Korea, pp. 44~47.

(10) Lee, J. K., 1994, Acoustic Analysis and Design of Exhaust Mufflers : II. Expressions of Acoustical Performance, Transactions of KSAE, Vol. 16. No. 5. pp. 10~11.



Hae-Suk Lee received B.S. degree in the Dept. of mechanical engineering from Konkook University and M.S. degree in the Dept. of information & communication engineering from A-ju university. He is currently a senior researcher at Agency for Defense Development.



Sung-Ho Park received B.S. and M.S. degree in the Dept. of industrial automation engineering from Inha University and Ph.D. degree in the Dept. of Mechanical Design engineering from Choongnam National university. He is currently a principal researcher at Agency for Defense Development.