

## 실사격에 의한 소음기 특성 평가

An Evaluation of Silencer Characteristics by Live Firing Test

강국정\*    고성호\*\*    곽영균\*\*    이덕주\*\*\*    이인철\*\*\*  
Kang, Kuk-Jeong    Ko, Sung-Ho    Kwak, Young-Kyun    Lee, Duck-Joo    Lee, In-Cheol

### ABSTRACT

The present work addresses an experimental study on sound attenuation characteristics of silencer by live firing test. When a gun fires, there exists excessive noise which propagates as a form of blast wave. As muzzle energy of the weapon systems increases, the level of impulsive noise also increases. It is well known that the impulsive noise from a gun gives a serious damage to human bodies and structures. The adverse effects of impulsive sound also cause both social and military problems. So it is very important to study the characteristics of the impulsive sound attenuation. The live firing test is performed to evaluate the effect of four different silencers. The test result is compared with the case of bare muzzle which is not installed the silencer. The frequency characteristics are also analyzed to investigate the diminution of sound pressure level. The results of this study will be helpful to the designing silencer for large caliber weapon systems.

주요기술용어(주제어) : Silencer(소음기), Blast Wave(폭풍파), Impulsive Noise(충격 소음)

### 1. 서론

소음은 물리적 현상에 의해 발생하는 소리 가운데 사람이 불쾌하게 느끼는 소리를 의미한다. 대구경 화포 사격시 폭풍파(blast wave)의 형태로 전파되는 과도한 수준의 충격소음이 발생한다. 충격소음 수준은 무기 체계의 포구에너지 증대 추세에 따라 계속적으로 증가하고 있다. 과도한 수준의 충격소음은 운용자

에게 치명적인 영향을 미칠 수 있으며, 인근 주거 지역에 청각 소음 등 여러 가지 환경 문제를 야기시킬 수 있다.

국내에서도 각종 군 사격장에서 발생하는 사격 소음은 주민들과의 갈등과 여러 가지 법적인 문제 및 민원을 야기시키고 있는 실정이다. 국내에서는 대구경 화포의 충격소음에 대한 연구가 아직 많이 진행되지 않고 있으나, 최근에 와서 충격소음을 감소시키기 위한 연구가 많은 관심을 끌고 있다. 소구경 화기를 대상으로 한 소음 저감 연구는 실험적 방법을 중심으로 일부 시도되고 있으나, 대구경 화포를 대상으로 한 연구는 소음기의 효율에 대한 한계 및 실사격에 의한 평가의 어려움 등으로 인해 많은 연구가 이루어지지 않고 있다.

† 2007년 2월 9일 접수~2007년 4월 27일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

\*\* 충남대학교(ChungNam National University)

\*\*\* 한국과학기술원(KAIST)

주저자 이메일 : kjkang@add.re.kr

미국, 독일 등 여러 국가들에서도 사격시 발생하는 높은 충격소음은 사회적인 문제가 되고 있으며, 사격장에서 약 20km 떨어진 거리에서도 소음 수준이 90 dB에 달하는 것으로 보고된 외국의 사례도 있다. 이에 대한 해결 방안을 찾기 위하여 폭 넓은 연구를 수행하고 있으나 아직까지 대구경 화포 사격시의 충격소음을 근원적이며 효과적으로 해결할 수 있는 방안은 제시되지 못하고 있다.

1980년대 중반부터 독일 국방부는 군 훈련지에서의 사격소음을 체계적으로 관리하기 위한 연구를 시작하였다. 소음 전파 모델을 수립하고 사격소음에 대한 객관적 평가 기준을 설정하기 위하여 소음 수준을 측정하였다. 또한 복잡한 지형에서의 사격 소음을 예측하고 평가하기 위해 필요한 추가 자료에 대하여 연구하였다. 이러한 과정을 통하여 사격 폭풍 전파 모델을 수립하고 사격 소음을 관리할 수 있는 기법을 구축하였다. 그러나 사격시의 충격소음을 저감시킬 수 있는 구체적 기술 방안에 대한 연구는 발표되지 않았다<sup>[1]</sup>.

G. Helwolt는 소음 분포 지도 작성을 위한 소음 예측 모델을 연구하였다. 사격 지점, 사격 모드와 빈도 및 무기체계별 소음 전파 특성에 대한 자료를 종합적으로 분석하여 사거리 배치와 소음원에 소음저감 장치를 직접 부착하는 방안 및 거주지역에 소음 차폐 장치를 설치하는 방안 등을 결정하였다. 저주파 충격소음을 감소하기 위한 소음감소장치를 설계하여 약 10dB의 소음 저감을 확인하였다. 그러나 이 장치는 부피가 너무 커서 대구경 화포 사격시에만 제한적으로 사용되었으며 이에 대한 세부 설계 내용은 발표되지 않았다<sup>[2]</sup>.

미국의 BRL(Ballistic Research Lab)은 1980년대 APG(Aberden Proving Ground)에서 전차포 사격시 인근 주거지역으로 전파되는 소음을 줄이기 위하여 대형 구조물 형태의 소음기에 대하여 연구하였다. 고정마운트에서 운용하고 있는 전차포를 대상으로 구조물형 소음기를 제작하여 시험하였으나, 소음 저감 효과는 크지 않으며 구조적으로 취약한 단점이 나타났다<sup>[3,4]</sup>.

미국에서는 이 외에도 사격시의 소음을 감소시키기 위한 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 알려져 있

다. 음향차단벽에 흡음재로 사용이 가능한 에너지 흡수 물질 개발, 화포를 둘러 싸는 차폐구조물 개발 및 사격시의 에너지 방사량과 압력장 분포를 계량화하여 특정지역에서의 음압을 감소시키는 방법 등에 대한 연구를 수행하고 있으나, 현재까지 실용화되어 있는 소음 저감 방안은 없는 것으로 보여진다. 그러나 이 분야에 대한 광범위한 연구는 계속 진행중인 것으로 보인다.

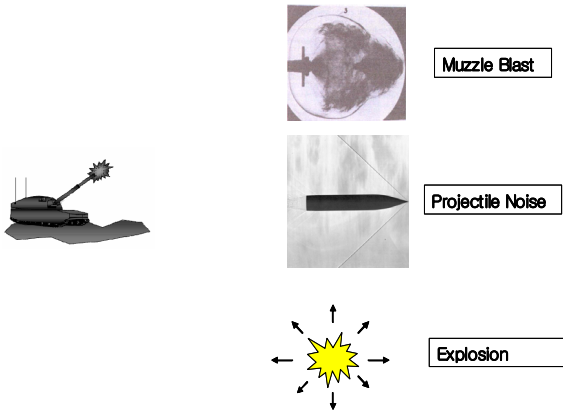
본 연구에서는 소음기의 소음 저감 특성 평가에 대한 연구 내용을 기술하고자 한다. 대구경화포 사격시 발생하는 고압수준에 대한 소음 저감 수준을 고찰하기 위해서는 대용량의 소음기를 설계, 제작하여 시험을 수행하여야 한다. 그러나 중량이 수백 kg 수준인 소음기를 제작하여 시험을 하는 것은 대단히 소모적이며 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 따라서 대구경화포와 마하수가 비슷한 초음속 유동장이 형성되며 유체역학적 상사 법칙을 만족하는 소화기를 대상으로 하여 실사격에 의한 소음기 효과를 평가하고자 한다.

## 2. 소음기 작동 원리

### 가. 충격소음 특성

일반 소음과 달리 충격소음은 최대 140dB 이상인 소음이 1초 이상의 간격으로 발생하는 것을 말한다. 화포 사격시의 충격소음에 대한 기준은 미국이 제정하여 운용중인 MIL-STD-1474D(1997. 2)<sup>[5]</sup>을 참고할 수 있다. 이 기준에 따르면 140dB를 초과하는 충격 소음에 사람이 노출되는 경우, 청각 보호 장구를 의무적으로 착용하도록 하며, 최대 압력과 소음의 에너지 개념이 포함된 B-지속시간에 따라 하루에 노출이 가능한 횟수를 규정하고 있다. 보호 장구를 착용하지 않고 사격 발수에 제한없이 사격을 하기 위해서는 소음 수준이 140dB 이하가 되어야 한다.

충격소음은 일반 소음과 다른 고에너지, 짧은 지속 시간, 저주파 특성, 강한 방향성 및 원거리 전파 등의 특성을 가지고 있다. 화기 사격시 발생하는 소음은 그림 1에 나타낸 것과 같이 추진가스의 팽창에 의한 포구폭풍(muzzle blast), 초음속 탄두에 의한 공기파 열음(sonic boom) 및 탄두 폭발 소음(explosion)의 3



[그림 1] Schematic configuration of sound generation and propagation

가지로 나눌 수 있다. 포구 폭발 및 초음속 탄두에 의한 소음은 강한 방향성을 가지며, 원거리에서 소음 문제를 야기시키는 것은 주로 저주파 특성을 갖는 소음성분이다.

추진가스의 팽창에 의한 소음은 사격시 포강내 고온, 고압의 추진제 가스가 포구를 이탈하는 순간에 발생하는 소음원으로, 음원 주변에서 매우 높은 수준의 소음이 발생한다. 약실 내부에서 발생하는 추진제의 폭발연소는 추진 가스의 급속한 팽창을 발생시키며, 탄두를 가속시키는 압력파를 생성하게 되는데 이러한 폭발파가 포구폭풍으로 들리게 된다. 포구 폭발에 의한 소음은 일반 소음과는 다른 2가지 특성을 갖는데 짧은 지속시간 및 큰 진폭을 들 수 있다. 이것은 화기 소음의 주원인으로 작용하므로 소음을 낮추기 위해서는 소음감소 장치를 활용하여 대기로 분출되는 가스의 압력과 온도를 최대한 낮추는 것이 필요하다.

충격소음의 또 다른 요인은 초음속으로 비행하는 탄두에 의해 발생하는 소닉붐(sonic boom)이다. 이것은 탄두의 초음속 운동에 의한 공기과열음이며, 초음속으로 진행하는 탄두가 공기벽을 뚫고 나갈 때 발생한다. 이 소음은 포구초속을 음속 이하로 유지해야 줄일 수 있는 소음원이기 때문에, 소화기의 경우는 아음속탄을 사용하여 소음을 줄일 수 있으나, 대구경 화포는 현실적으로 이 소음을 효과적으로 줄이기가 매우 어렵다. 초음속으로 비행하는 탄두에 의해 발생

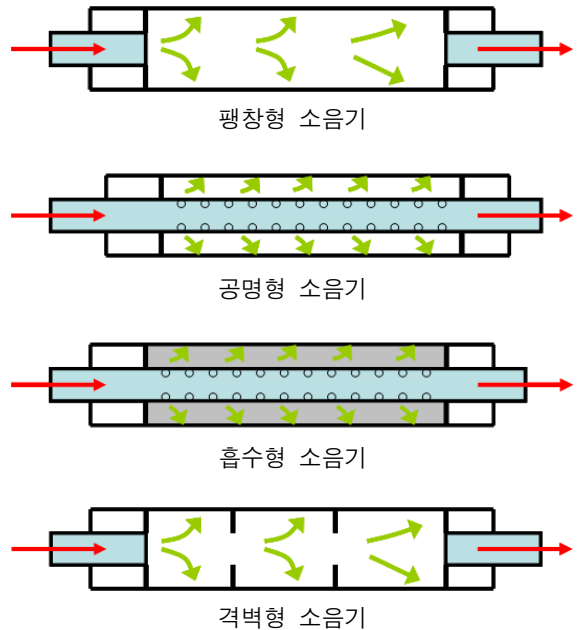
하는 압력은 탄두의 비행 궤적을 벗어날 수 없으므로 원추형으로 팽창하는 충격파가 생성이 된다.

탄두가 표적에 명중된 후 폭발할 때 발생하는 소음은 소화기의 경우는 중요하지 않으나, 대구경 화포의 경우 탄착지 부근에서는 비교적 높은 소음을 발생시킬 수 있다.

충격 소음을 발생시키는 3가지 요인 가운데 포구 폭풍이 가장 지배적인 영향을 미치므로 이 소음원을 줄이는 것이 중요하다.

#### 나. 소음기 작동 원리

소음감소 장치는 화포 사격시 발생하는 소음을 줄이는 장치이다. 화포 사격에 의한 충격 소음을 저감시키기 위한 많은 방법이 연구되었는데, 그 중 대표적인 것이 차폐물과 소음기이다. 차폐물의 경우는 크기가 화포보다 매우 커야 하므로 공간상의 제약을 받는다. 소음기는 포구로 분출되는 고온 고압 가스의 압력을 낮춰서 급격한 공기의 팽창으로 발생하는 소리를 줄이는 역할을 한다. 소음기는 탄자가 내부를 통과하는 과정에서 상당 부분의 에너지를 열에너지로 소산시킨다.



[그림 2] Schematic configuration of silencers

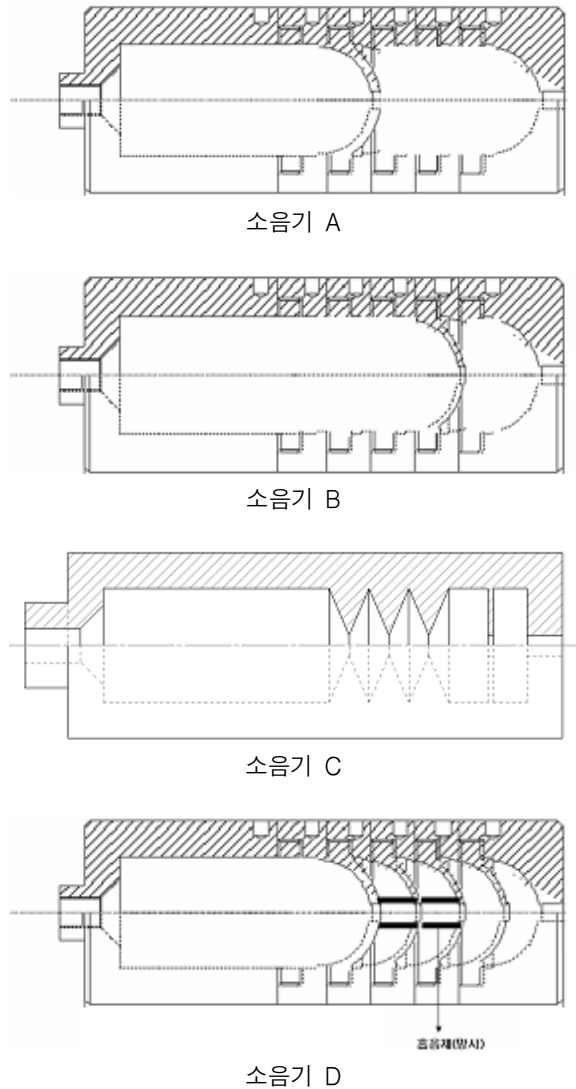
소음기는 일반적으로 소리의 에너지를 소산시키는 방식에 따라서 그림 2와 같이 팽창형, 공명형, 흡수형 및 격벽형의 4 가지로 나눌 수 있다. 팽창형 소음기는 내부의 체적 공간에서 추진 가스의 팽창에 의해 에너지를 소산시켜 음압을 감소시킨다. 공명형 소음기는 작은 구멍이 뚫린 관을 소음기 속에 추가하여 가스의 흐름을 바꾸어 음압을 감소시킨다. 흡수형 소음기는 가스 유로에 석면과 같은 흡음재를 장착하여 압력을 감소시킨 후 가스를 배출한다. 격벽형 소음기는 추진가스가 여러 개의 격벽 사이를 지나는 동안 순차적으로 에너지를 소산시켜 외부로 나오는 음압을 감소시킨다. 일반적으로 소음기는 팽창형을 기본으로 채택하며, 격벽형 및 다른 형태를 혼합 구성하여 소음 감소 효과를 극대화시키는 방법을 사용한다.

### 3. 소음기 특성 평가

소음기 특성 평가를 위한 실험 연구는 소구경 화기를 대상으로 수행하였다. 수치 해석을 통해 소음기 벽면에 작용하는 최고 압력값을 계산하여 내부의 배플 구조물이 고압에 견딜 수 있도록 설계하였다. 소음기는 그림 3과 같이 배플 구조물을 적층식 구조로 만들었으며, 경량 설계를 위해 알루미늄을 사용하여 제작하였다.

실험장치의 구성은 그림 4와 같다. 사격은 지상 1.5 m 높이에서 이루어질 수 있도록 사격자의 위치를 설정하였다. 압력 신호 측정에는 마이크로폰(type4938)을 사용하였으며, 지상 1.5m 높이에서 각도 변화에 따른 위치별 음압 측정이 가능하도록 설치하였다. 대기 조건에 대한 기본 자료 획득을 위하여 기온과 습도를 측정하였으며 시험장의 온도와 습도는 각각 27°C와 55%로 측정되었다. B&K사의 portable pulse(type3560C) 장비를 사용하였다.

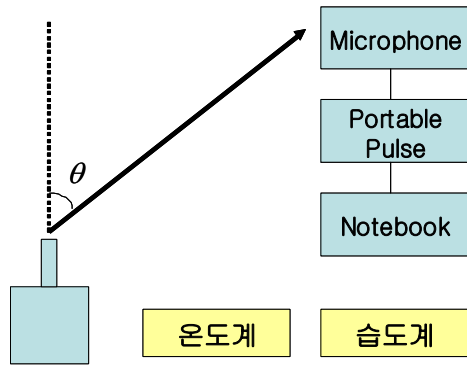
시험은 소음기 유무 조건에 대하여 총구를 기준으로 거리 및 각도 변화에 따라 소음 특성을 평가하였다. 마이크로폰은 총구에서 2m와 6m 지점사이에 설치하였으며, 총구 방향으로 60도 및 90도에서 음압을 측정하였다. 음압 측정은 진동이나 전자기장의 영향을 받지 않는 평탄한 지점에서 수행하였으며, 소음계



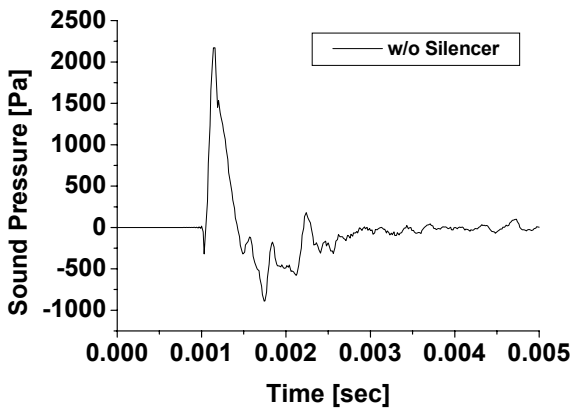
[그림 3] Schematic configuration of the silencers

의 청감 보정 회로는 A 특성으로 설정하였다. 각 소음기별 5발씩 사격을 하여 자료를 획득하였다.

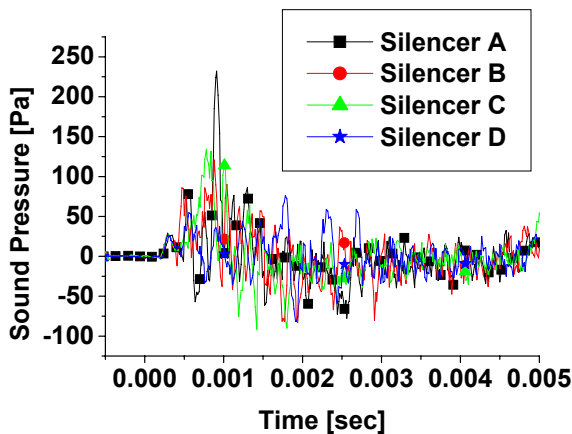
각 소음기에 대한 시험결과는 소음기가 없는 경우와 비교하여 나타내었다. 그림 5에는 4개의 소음기에 대한 음압 측정 결과를 나타내었다. 소음기 A는 2개의 격벽이 비슷한 체적을 갖도록 설계하였다. 소음기가 없는 경우 최대 2,170Pa의 압력이 작용하나, 소음기 A를 적용시 최대 압력은 232Pa 수준으로 약 89% 감소하는 것으로 나타났다.



[그림 4] Schematic diagram of experimental apparatus



(a) Sound pressure without silencer



(b) Sound pressure with silencers

[그림 5] Sound pressure results

소음기를 적용함에 따라 최대 압력 발생 시점이 약 0.7ms 지연되는 것을 알 수 있으며, 소음기의 에너지 소산 효과에 의해 전체적인 에너지량도 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 소음기 내부에서 추진제 연소에 의해 발생하는 에너지의 상당 부분이 소산되어 외부로 빠져나가기 때문에 나타나는 결과로 판단된다.

소음기 B는 소음기 A에 비해 첫 번째 배플의 간격이 다소 길어 첫 번째 격실의 체적이 약 3배 큰 특성을 가진다. 최대압력은 121Pa 수준으로 소음기 A보다 압력이 더욱 낮아지는 것을 알 수 있다. 추진제 가스가 소음기 내부에서 확산되는 체적을 더 크게 해 준 경우 음압은 더욱 감소되는 것을 알 수 있다.

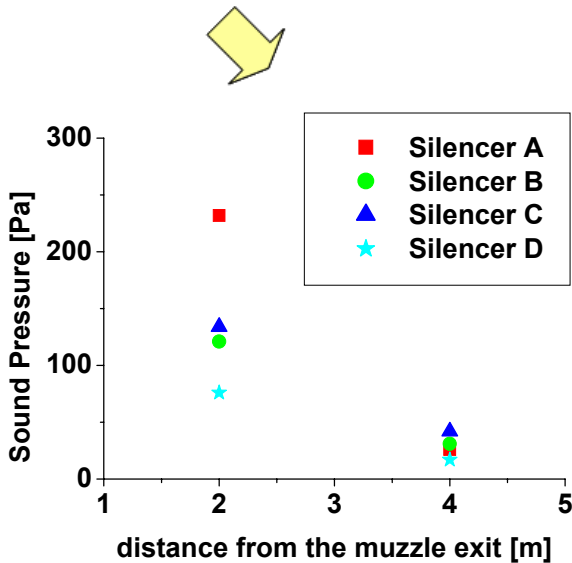
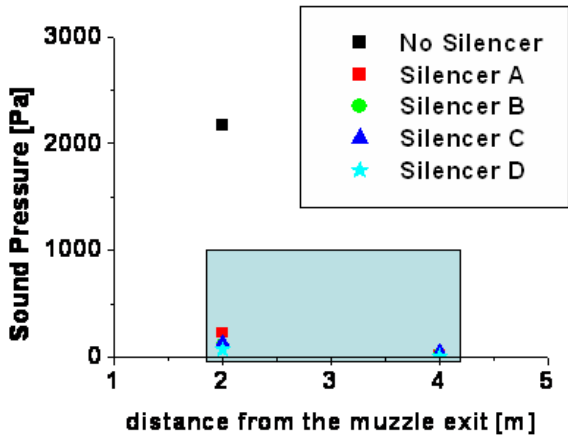
소음기 C는 배플을 4개 배열하여 추진제 가스가 순차적으로 팽창되도록 설계하였다. 최대압력은 134Pa 수준으로 소음기 B와 유사한 특성을 가짐을 알 수 있다. 추진제 가스가 포구에서 나와 순차적으로 확산됨에 따라 압력은 소음기 A보다 더욱 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

소음기 D는 배플을 여러 개 설계하여 추진제 가스가 순차적으로 팽창 가능한 체적을 구성하되, 배플 끝의 곡률을 부드럽게 만들어 주었으며 흡음제 망사를 소음기 내부에 설치하였다. 최대압력은 76Pa 수준으로 4개의 소음기 가운데 음압 저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 추진제 가스가 포구에서 나와 순차적으로 확산할 수 있는 격실을 만들어 준 것이 큰 효과를 나타낸 것으로 판단된다.

그림 6에는 포구 끝 지점에서의 거리에 따른 음압 분포를 나타내었다. 포구로부터의 각도가 90도인 경우 소음기 유무 조건별 거리에 따른 최대압력값을 비교하였다. 측정 거리 2m 지점을 기준으로 할 때, 소음기가 없는 경우는 최대압력이 2,170Pa으로 나타났다. 소음기 장착시 음압은 모두 300Pa 이하로 나타났다. 특히 소음기 D를 장착시에는 최대 압력이 80Pa 수준으로 계측되어 약 97%의 압력 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

측정 거리 4m 지점을 기준으로 할 때, 음압은 소음기 장착시 더욱 감소되어 4개의 소음기 모두 50Pa 이하 수준인 것으로 나타났다.

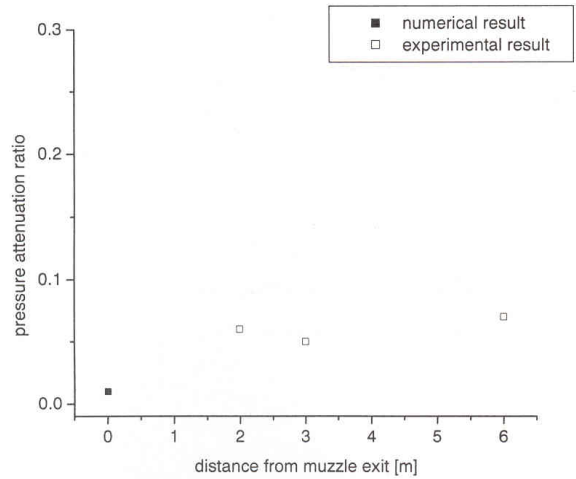
그림 7에는 포구에서의 거리에 따른 압력의 저감 비율을 나타내었다. 0m 지점은 수치해석에 의한 결



[그림 6] Sound maximum pressure from gun muzzle

과<sup>[6]</sup>이며, 2m, 3m, 6m 지점의 결과는 실험연구에서 계측된 값을 나타낸다. 전체적으로 비슷한 수준의 압력 저감이 나타나고 있음을 알 수 있다. 폭발유동장 수치해석 결과에서 예측된 압력 저감 수준과 실험연구에서 계측된 값은 5% 범위내에서 동등한 수준의 결과를 제시하고 있는 것을 알 수 있으며, 수치해석 및 실험 결과는 상당한 연관성을 나타내고 있음을 고찰하였다.

시험 결과 소음감소 수준은 모두 높은 것으로 나타났다. 소음기 D가 가장 소음 저감 효과가 큰 것으로 나타났다. 이것은 소음기 D가 배플이 4개로 가장

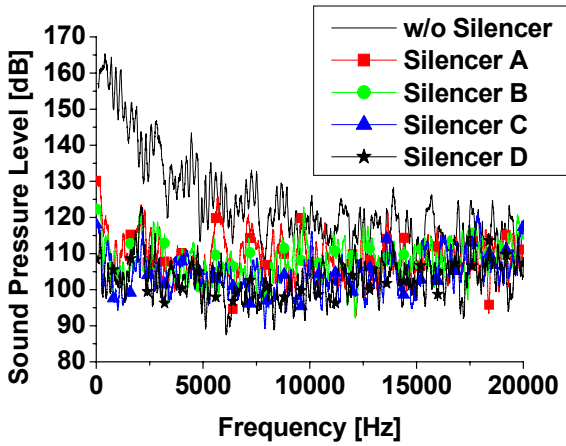


[그림 7] Pressure attenuation ratio along the distances from the gun muzzle

많아 추진제 연소에너지를 충분히 소산시킬 수 있어 소음 저감이 크게 나타난 것으로 판단된다. 소음기가 없는 경우 음압은 단순히 추진가스의 팽창에 의해 저주파 성분이 많이 포함된 상태의 높은 값으로 나타난다. 그러나 소음기 장착시에는 소음기 내부의 격실에서 추진 가스의 흐름이 저항을 받아 에너지가 소산되어 저주파 성분이 줄어들어 따라 소음이 낮아지게 된다. 특히 소음기 내부에 가스가 팽창할 수 있는 체적을 여러 개 만들어 주어 나타난 결과로 판단된다.

소음 수준을 고찰할 때는 주파수 성분에 대한 분석이 반드시 병행되어야 한다. 이것은 우리가 귀를 통해서 소리를 들을 수 있는 주파수 영역이 한정되어 있기 때문이다. 일반적으로 우리가 들을 수 있는 소리는 20~20,000Hz 범위이며, 이것을 가청주파수 (audible frequency)라 한다. 따라서 사격시험 결과도 가청주파수 범위내에서의 특성을 중심으로 고찰하였다.

그림 8에는 주파수 영역에 대한 음압 선도를 나타내었다. 소음기가 없는 경우 저주파 영역에서 음압은 최대 170dB의 수준을 나타내고 있으며, 소음기 A를 장착한 경우는 모든 주파수 영역에서 140dB 이하로 음압이 낮아지는 것을 알 수 있다. 특히 소음기 A의 경우 5kHz 이하의 저주파 영역에서 소음 저감 효과가 우수하며, 15~20kHz의 고주파 범위에서는 소음



[그림 8] Sound pressure level for silencers

저감이 미미한 것을 알 수 있다.

소음기 B의 경우 음압은 모두 주파수 범위에서 135dB 수준으로 낮아지며, 소음기 없는 경우와 비교 시 음압은 약 35dB 낮아지는 것을 알 수 있다.

소음기 C의 경우 음압은 모두 주파수 범위에서 130dB 수준으로 낮아지며, 소음기 없는 경우와 비교 시 음압은 약 40dB 낮아지는 것을 알 수 있다. 그러나 15~20kHz 범위의 고주파 영역에서는 소음 감소가 거의 없는 것을 알 수 있다.

소음기 D의 경우 음압은 모두 주파수 범위에서 130dB 수준으로 낮아지며, 소음기 없는 경우와 비교 시 음압은 약 40dB 낮아지는 것을 알 수 있다. 특히 10~20kHz 범위의 고주파 영역에서도 음압이 낮아지는 것을 알 수 있다.

원시 자료(original data)는 초당 100,000개의 자료가 획득되어 있어 소음기별 특성값이 잘 구분되지 않는다. 따라서 원시자료의 최대값과 대역폭을 잘 보존하는 것으로 알려진 Savitzky-Golay filter scheme을 사용하여 시험 자료를 평탄화하였다. 소음기 장착 시의 소음 저감을 보다 명확히 알 수 있으며, 소음기 D를 장착한 경우 음압은 전 주파수 영역에서 가장 낮아지는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 연구를 통하여 소음기 설계시 배플의 배열 및 첫 번째 배플의 위치를 중요한 변수로 고려해야 함을 알 수 있다. 소음기의 특성을 보다 면밀히 고찰하기 위하여 향후 소음기 설계 변수에 대하여 다

양한 실험 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구결과는 향후 대구경화포의 소음기 연구 개발에 직접적으로 적용 가능한 자료가 될 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 4개의 소음기에 대한 실사격을 수행하여 소음 저감 특성을 고찰하였다. 대구경화포와 마하수가 비슷한 초음속 유동장이 형성되며 유체역학적 상사 법칙을 만족하는 소화기를 대상으로 실사격에 의한 소음기 효과를 평가하였다. 소음기 효과에 의해 상당한 양의 에너지가 소산이 되며, 음압은 소음기가 없는 경우에 비하여 최대 40dB 감소하는 것을 확인하였다. 또한 소음기 설계시 배플의 배열 및 첫 번째 배플의 위치를 중요한 변수로 고려해야 함을 알 수 있었다.

향후 다양한 형상의 소음기에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구 결과는 대구경화포의 소음기 연구 개발에 참고 자료가 될 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Pfüller S., "The Management of Shooting Noise in German Military Training Areas", Internoise 2003, The 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 2003.
- [2] G. Helwolt, "Review on Noise Abatement Measures at Military Training Facilities in Germany", Internoise 1996, pp. 1765~1768, 1996.
- [3] Cooke, C. H. and Fansler, K. S., "Numerical Simulation and Modeling of a Muffler", BRL-MR-3735, 1989.
- [4] Fansler, K. S. and von Wahlde, R., "A Muffler Design for Tank Cannon Acceptance Testing", BRL-MR-3931, 1991.

[5] MIL-STD-1474D, "Department of Defense Design Criteria Standard, NOISE LIMITS", 1997.

[6] 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(JMST), 2007.