한국군사과학기술학회지 제13권 제3호, pp. 486~492, 2010년 6월

학술논문 생명 · 환경 부문

K2소총의 사격음 차폐장치에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shielding Apparatus for the Impulse Noise of K2 Rifle

이 진 호*
Jin-Ho Lee

Abstract

This paper studies an experimental analysis of the impulse noise of K2 rifle when its bullet passes through the large tube(length 1.84m, outer diameter 50cm, glass wool & steel). In experiment, the characteristics of the sound of shooting were different according to the way of shooting; the results of the experiment are given below.

First of all, the shooting sound was lower in single-shot shooting, when compared to 3rds burst-shot shooting, difference averaging 2.8dB, 4.0dB at maximum. In short, the difference is minuscule. Secondly, the sound of the K2 rifle was diminished when shot in a tube, ranging from 2.7dB to 15.4dB, averaging 8.2dB. Thirdly, the shooting sound of the K2 rifle was diminished as the insertion depth deepened with formulas given in Fig. 5, 6. Fourthly, basic data for excluding sound of the shooting were presented. Lastly, the characteristics of the shooting sound could be equally used as a basic material for developing marksmanship and sharp-shooting detection device.

Keywords : K2 Rifle(K2소총), Shooter(사격수), Impulse Noise(사격음), 3rds Burst-Shot(3발 점사)

1. 서 론

사격음의 대부분은 탄자가 총구를 이탈하면서 고압의 추진가스가 대기 중으로 팽창할 때 생기는 총구폭풍(muzzle blast)에 의하여 발생한다. 이때 탄자는 초음속으로 비행하기 때문에 충격파에 의한 소음강도가 매우 높다. 이 때문에 천이탄도학분야의 연구자뿐만 아니라 군사전문가들에게 오랫동안 관심의 대상이 되어 왔다. 왜냐하면 원거리에서 저격수가 사격을 하거나 건물 내에서의 테러진압작전 등과 같은 군사작전 시에 사수의 위치를 노출시키지 않기 위해서는 사격음의 크기는 매우 중요한 요소이기 때문이다.

그 예로써 경험이 적은 사수들은 대부분이 사격하기 전에 소음을 예상하고 사격 시에 눈을 감거나 몸이 경직되기 때문에 명중률이 낮아진다. 뿐만 아니라 장시간 동안 사격할 경우에는 일시적으로 청각을 상실하거나 판단력이 저하된다. 그리고 다수의 인원이 동시에 사격할 경우에는 사격속도와 사격위치 등에 따라 사람이 감지하는 사격음의 크기는 매우 다르다. 그러나 지금까지 이 분야에 대한 연구는 극히 제한적으로 이루어져 왔으며, 주요 연구결과는 다음과 같다. 오병완 등[1]은 M16소총 사격 시에 소총 주위에서의

† 2010년 2월 2일 접수~2010년 4월 29일 게재승인
* 육군3사관학교 기계공학과
책임저자 : 이진호(jinholee21@hanmail.net)

사격음을 측정하여 수음자의 청력에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과 사격음에 노출된 사람은 일시적으로 청력이 감소하거나 상실하는 것으로 분석되었다. 하지만 음원으로부터 거리와 방향의 변화에 따른 소음 특성 변화에 대한 자료를 제시하지 못했다.

김종옥[2]은 총구 소음을 발생시키는 요인을 분석하고, 선형화된 음향이론은 적용하여 음원을 단순화시켜 추진가스 유동으로부터 총구 폭발음의 최고음압에 관한 이론식을 유도하였고, K2소총의 총구에서 최고 음압을 측정한 결과와 이론해석의 결과를 비교하였다. 그리고 단순확장형 소음기를 K2소총에 부착 시 추진가스 유동에 의한 최고 음압 수준과 추진가스의 누출(blow-by) 등을 예측하였다. 또한 단순확장형 소음기를 제작하여 측정결과와 비교하였다. 이때 그는 음파동의 지속시간을 증가시키기 위해 소음기의 내부형상을 변화시켜 네 가지 종류의 소음기를 설계, 제작하여 감음효과를 측정하였고 최대 감음효과를 나타내는 소음기의 형상을 제시하였다.

석광원 등[3]은 K7 소음기관단총(이하 K7)의 사격음 계측기법에 관한 연구를 하였다. 특히, 총으로부터 1에서 8m 떨어진 곳에서 중심주파수대역별로 소음을 측정한 음압 레벨을 제시하는 등 소음총의 성능을 평가할 수 있는 계측 방법을 제시하였다. 그러나 이들 자료를 야전에서 적용하기에는 미흡하였다.

이진호[4]는 K7의 거리별, 방향별, 기상조건에 따른 소음특성에 대한 기초 연구를 하였다. 이때 작전 상황별 소음데이터와 소음특성을 활용할 수 있는 기초 데이터를 제시하였다. 특히 야전부대에서 활용하고 있는 K7 야전교범[5]에는 소음특성을 고려한 화기운용방법에 대한 내용이 없는 것을 착안하여 전술적 운용효과를 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다[6].

지금 까지 연구결과에서 보는 바와 같이 정작 우리 군이 가장 많이 사용하고 있는 K2소총에 대한 연구결과는 거의 없었다. 그 결과 K2소총의 작전 상황별 운용은 현재 거의 사수의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 야전에 적용할 수 있는 K2소총의 소음 특성에 관한 실험적 연구가 선행되어야 한다. 특히 최근 도시가 급격히 팽창하여 군부대의 사격장에서 발생되는 소음대책이 급격히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 K2소총 사격 시 발생하는 폭발소음을 감소시킬 수 있는 장치 개발에 필요한 기초자료를 조사하였다. 특히 사격 시 초음속 탄자가 대형 튜브를 통과할 때 감음효과를 측정함으로써 소음차폐용 튜브를 제작하기 위한 기초 설계데이터를 획득하는 데 그 목적이 있다.

또한 현대전에서 정밀교전의 중요성이 커지면서 각국에서는 저격수를 활용하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 저격술과 저격탐지장치 개발에 활용될 수 있는 소음특성을 조사하였다.

2. 실 험

가. 음압 레벨과 음압 강도

소리는 공기의 압력 변화가 인간의 고막에 가해질 때 느끼게 된다. 이와 같이 소리로서 느끼게 되는 최소음압(minimum sound pressure) P_{ref}는 주파수가 1 kHz인 경우에 20μPa 이다. 따라서 소리의 크기는 이 음압의 크기에 비례하여 들리게 된다. 사람의 소리에 대한 감각은 로그 척도에 대응하므로 소리의 크기는 최소음압을 기준으로 한 로그 척도, 즉 음압레벨(SP_rL : Sound Pressure Level)로써 식 (1)과 같이 정의하였다. 이때 음압 레벨은 소리에 의해 가해지는 단위 면적당 힘의 크기를 나타낸 것이다[7].

$$\mathrm{SP_rL} = 20 \cdot \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P(t)}{P_{ref}} \right) dt \tag{1}$$

여기서, T는 사격음의 계측 시간, SP_rL은 임의의 음압 레벨이며, 사람이 느끼는 음압의 정도와 다르다. 그러나 폭발소음을 SP_rL로 나타내면 주파수나 수음자의 심리적 상태에 따라서 다를 수 있기 때문에 정확한 분석이 필요하다.

따라서 연구에서는 가청주파수(20～20,000Hz) 범위 내에서 귀의 특성을 고려한 소음원의 강도, 즉 음압강도(SWL : Sound Power Level)를 측정하였다[8]. 이때 음압강도란 소음원이 음의 형태로 방출하는 에너지의 척도이며, 식 (2)와 같이 정의하였다[7].

$$\mathrm{SWL} = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_{ref}}\right) \tag{2}$$

여기서 $W_{ref} = 10^{-12}\,Watt$이고, W는 소음원이 내는 음의 power[dB]이다.

나. 소총의 천이 탄도학적 이론

소총의 사격 시에 총구에서 발생하는 총구소음은 총구 주위의 압력 유동현상 및 탄자의 이탈의 원인으로 발생한다. 이때 총구 소음은 크게 세 가지의 발생 원인이 있다.

첫째, 탄자가 총열 내에서 총구까지 이동할 때 탄자의 앞쪽에 있는 공기를 압축하면서 총구를 이탈하게 된다. 이때 압축된 공기가 총구에서 분출하면서 발생시키는 전조압력파(precursor pressure wave)가 총구 주변에서 양(positive)의 음(sound) 파동을 발생시킨다. 그리고 이 음파는 시간에 따라서 지수함수적으로 감소하게 된다. 둘째, 탄자 이탈 시 발생하는 파열음이다. 셋째, 탄자가 총구를 이탈한 후 추진가스의 팽창에 의한 팽창충격파이다. 이 충격파가 사격음의 주요 발생 요인이며, 전조압력파와 유사하게 전파한다[9].

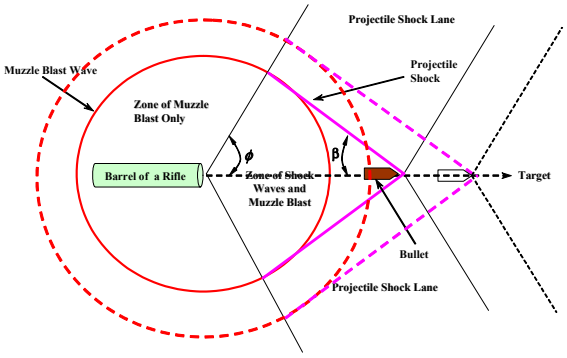

Fig. 1. Footprint of muzzle blast and shock waves highly idealized at two times after firing of supersonic bullet

추진가스 팽창충격파는 초기에 탄자보다 앞서서 진출하지만 빠른 발산으로 인해 음속에 가깝게 속도가 떨어지게 되고, Fig. 1과 같이 총구로부터 수 cm이내에서 탄자가 팽창충격파를 앞지르게 된다. 이때 전조압력파, 팽창충격파, 탄자의 파열음 사이에 대략 선형적으로 비례관계를 갖는 기하학적인 관계가 있다. 또한 총구로부터 초음속 탄자가 이탈하면서 음파는 총구폭풍(muzzle blast), 탄자의 파열음, 탄자의 파열음과 총구폭풍의 중첩된 부분으로 볼 수 있다. 그러나 이에 대한 많은 음향학적 연구에도 불구하고 탄자의 파열음과 중첩된 총구폭풍파는 와류(vortex flow)에 의한 분산이 발생하게 되어 이론적 해석이 미흡한 실정이다.

한편 Fig. 1에서 보는 바와 같이 소총사격 시에 총구에서 일정한 거리만큼 떨어진 곳에서 원추형(cone shape)의 파열음이 발생한다. 이때 추진가스 팽창에 의한 팽창충격파 구형(sphere shape)의 접선이다. 한편, 구형의 탄자 파열음의 내각 β는 식 (3)과 같이 탄자 속도에 의해 결정된다[1,2].

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{M^2-1}}\right) \tag{3}$$

여기서 M은 탄자의 속도를 마하수(mach number)로 환산한 값이다.

또한 소총의 총구로부터 폭풍파와의 접선과 이루는 각 ϕ는 식 (4)와 같다.

$$\phi = \tan^{-1}\sqrt{M^2-1} \tag{4}$$

다. 실험 장치

Fig. 2는 K2소총의 사격 시에 탄자가 튜브를 초음속으로 통과할 때 폭발소음의 특성을 측정하기 위한 실험장치의 개략도이다.

이 장치는 디지털 소음측정기, 데이터처리용 퍼스널 컴퓨터, 디지털온습도계, 기압계, 풍속계, 디지털 카메라 등으로 구성되어 있다.

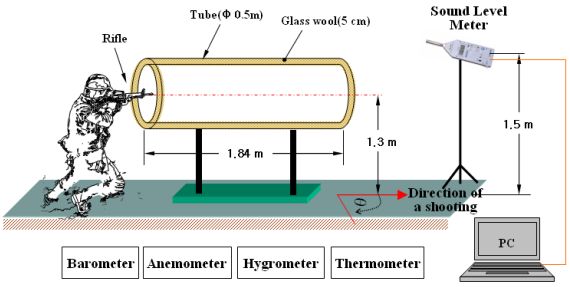

Fig. 2. Schematic of the experimental apparatus

이때 폭발소음을 차폐하기 위하여 그림에서 보는 바와 같이 두께가 2mm인 강철판을 원통형(길이 1.84m, 외경 50cm)으로 제작한 후, 그 내부에 두께 5cm의 유리섬유를 삽입시켰다. 그리고 유리섬유의 처짐을 방지하기 위해서 가는 철망을 삽입시켰다. 또한 소음이 지면으로 반사하는 것을 최소화시키기 위해서 지면에서 튜브의 중심까지 약 1.3m 이격시켰다.

한편 소음계의 정확한 측정위치를 선정하기 위해서 측량기를 사용했으며 실험 전에 각 장비에 대한 신뢰

성을 보장하기 위하여 보정장비를 사용하여 보정하였다. 이때 실험에 사용한 소음계는 KSC-1502규격에 적합한 소음계(SC-15C, CESVA사)를 사용하였으며, 이 계측기의 측정범위는 26.5dB~137dB이고, 측정오차는 ±1.0dB이다[10].

또한, 기상조건의 변동에 따른 소음전파의 변화를 분석하기 위해 기온, 습도, 풍속을 측정하였다. 기온 및 습도는 디지털 온습도계(HHM25, OMEGA사)를 사용하였으며 측정오차는 ±0.3℃이다. 그리고 기압계는 측정오차가 약 ±0.2mmbar인 기압계(MANA사)로 실시간 측정하였으며, 풍속은 마이크로 마노미터(FCO510, FURNCE사)를 활용하여 측정하였다.

라. 실험 방법 및 조건

소음 측정에 관한 모든 실험 방법은 환경부에서 적용하고 있는 소음진동규제법 제7조의 규정을 준용하여 측정하였다.

먼저 사격음을 측정하기 전에 암소음을 측정한 후 대상소음인 사격음을 측정하였다. 이와 동시에 소음측정에 영향을 주는 풍속과 기온 그리고 습도를 측정하였다. 이때 바람에 의한 오차를 최소화하기 위해 소음계의 마이크로폰(microphone)에 방풍망(anti-wind screen)을 설치한 후 소음을 측정하였다.

또한 소음계의 마이크로폰은 지상으로 부터 1.5m 높이에서 측정하였다. 그리하여 지면에서 반사되는 반사음의 영향을 최소화 시켰다. 그리고 측정자에 의한 반사를 최소화하기 위해 측정자의 몸으로부터 50cm이상 떨어져서 측정하였다. 이때 마이크로폰은 튜브 안쪽에 있는 총구를 향하도록 하였다.

그리고 측정 장소는 진동이 없으며 대형 전기기계, 고압선 근처 등에 의한 전자장의 영향을 받지 않은 곳을 선택하였다. 또한 측정 시에 소음계의 청감보정회로는 A특성에 고정하여 측정하였으며, 소음계의 동특성은 빠름(fast)을 사용하여 측정하였다[11].

본 실험에서는 측정한 모든 측정소음은 암소음의 강도 보다 10dB(A)이상 더 크다. 따라서 암소음의 영향이 극히 작기 때문에 암소음의 보정 없이 측정소음을 대상소음으로 간주[12]하여 분석하였다. 이때 단발사격과 점사는 각각 3회 측정한 값을 평균한 값을 측정값으로 간주하였다. 모든 실험은 암소음이 44.7dB 이하인 경우에 측정하였으며, 풍속은 0~0.3m/s으로 거의 무풍 상태에서 측정하였다. 그리고 대기온도는 22℃±1℃, 습도는 58.1%~59.0% RH이었다.

3. 실험결과 및 고찰

가. 개방 공간 내의 소음 특성

Fig. 3은 사격장의 기온과 대기압이 각각 22±1℃, 1017.4mmbar이고, 상대습도가 58.1%일 때, 단발사격 시 측정 거리 변화에 따른 K2소총의 사격음의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 제시된 K7소음기관단총과 독일 H&K사의 MP5 소음기관단총에 관한 데이터는 이진호[4]와 석광원 등[3]의 연구결과이다.

그림에서 보는 바와 같이 총구에서 우측으로 1m, 총구 방향으로 1m 그리고 지상으로부터 1.5m 높은 곳(기준위치)에서 측정한 K2소총의 사격음은 K7과 MP5에 비해 평균 16.3dB정도 더 크게 나타났다.

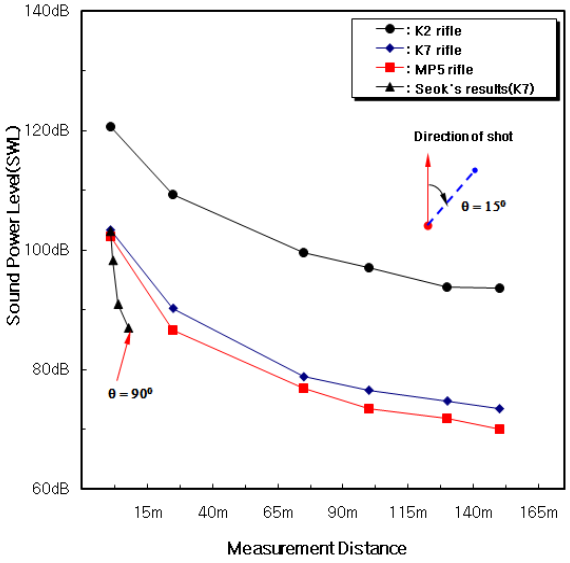

Fig. 3. Sound power level versus the distance of measurement

그리고 소총의 종류와 관계없이 측정거리가 멀어질수록 사격음은 급격히 감소한다. 특히 K2소총은 K7과 MP5에 비해 총구로부터 멀어질수록 사격음의 감소폭이 더 작다. 이때 K2소총은 K7과 MP5에 비해 구경과 탄자의 질량이 각각 38%, 57% 정도 더 작으며, 총구속도는 56%정도 더 빠르다. 따라서 K7과 MP5의 유효사거리 내에서 K2소총 탄자의 속도 감소율이 이들 소총에 비해 더 작기 때문이다.

Fig. 4는 K2소총으로 단발 사격 시에 총구로부터 15m 떨어진 곳에서 방향(Θ)에 따른 사격음의 변화를

나타낸 그림이다. 여기서 M62소총(구경 7.62mm, SAKO 사)의 소음은 핀란드 육군에서 측정한 결과이다[13].

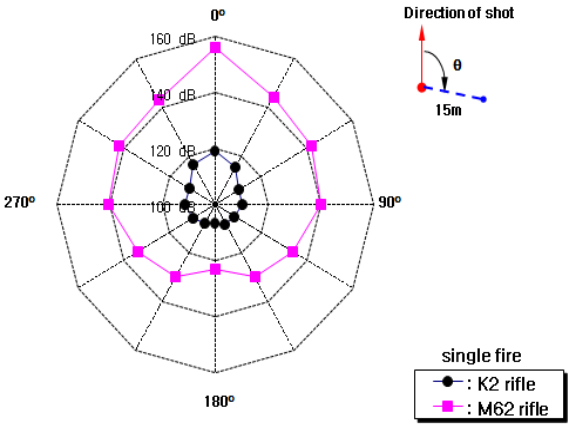

Fig. 4. Sound power level versus the direction of shot for the single fire of K2 rifle

그림에서 보는 바와 같이 K2의 사격음은 M62에 비해 평균 16.5dB정도 작음을 알 수 있다. 또한 사수를 기준으로 오른쪽(Θ=30°~150°)에서의 사격음이 왼쪽에 비해(Θ=210°~330°)에 비해 K2는 평균 0.6dB, M62는 평균 8dB 정도 더 크게 나타났다. 따라서 K2소총은 왼쪽과 오른쪽의 사격음의 차이가 측정오차 범위 내에 있기 때문에 거의 같다고 할 수 있으나, M62는 그 편차가 크다. 이는 K2의 사격 시 사격음의 대부분은 총구에서 발생하는 총구폭풍과 탄자에 의한 충격파에 의해서 발생한다는 것을 알 수 있다. 반면에 M62는 K2에 구경과 약실압력이 가스방출구로 방출되는 추진가스의 팽창할 때 발생하는 팽창파에 의한 소음이 상대적으로 더 큼을 알 수 있다.

한편 K2와 M62의 사격음은 총구 전방(Θ=300°~60°)이 후방(Θ=120°~240°) 보다 각각 평균 6.5dB(6.0%), 28.5dB(24.8%)정도 더 크다. 이는 총구에서 일정한 거리까지 추진가스의 팽창에 의한 영향이 탄자에 미치기 때문으로 추측된다. 따라서 사격음을 감소시키려면 총구에서의 추진가스의 팽창압력을 낮게 설계해야 한다.

Fig. 5는 K2를 단발 및 점사(3발)로 사격 했을 경우, 총구로부터 15m 떨어진 곳에서 방향에 따른 사격의 변화를 나타낸 그림이다.

그림에서 점사 시 단발 사격 보다 최대 약 4dB 그리고 평균 2.8dB정도 더 크다. 따라서 사격 모드에 따른 차이는 매우 작음을 알 수 있다. 이는 점사인 경우에 거의 동시에 연속 3발이 발사되기 때문에 추진가스의 팽창과 탄자의 공기 압축과 마찰 등에 의한 충격파의 발생과 전파가 거의 일치하기 때문으로 사료된다.

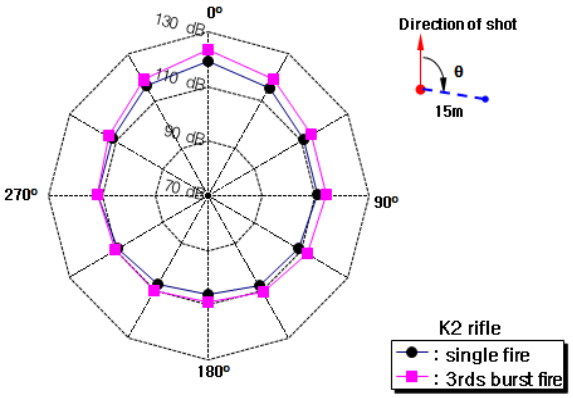

Fig. 5. Sound power level versus the direction of shot for the fire mode of K2 rifle

나. 튜브 통과 시 소음 특성

Fig. 6은 K2를 대형 튜브 속에서 사격한 경우와 개방된 공간에서 단발사격 시 폭발소음 특성을 비교하기 위한 그림이다. 이때, K2는 튜브 속에 총구를 기준으로 튜브 중앙에 16cm 삽입시켰으며, 이 상태에서 총구로부터 15m 떨어진 곳에서 측정한 소음이다.

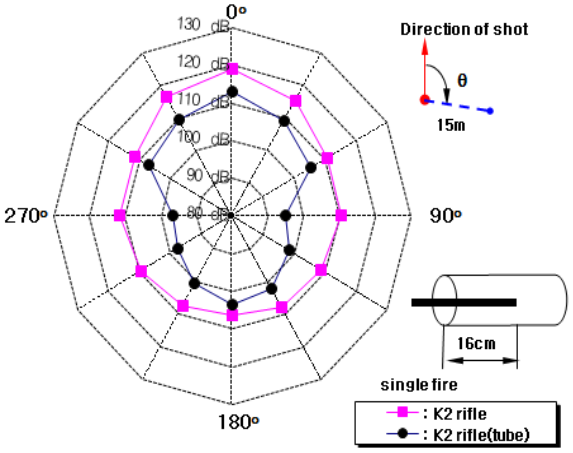

Fig. 6. Sound power level versus the direction of shot for the single shot of K2 rifle in the large tube or in the open space

그림에서 보는 바와 같이 개방 공간에서 사격했을 경우에 비해 튜브 속에서 사격 시 사격음은 최대 15.4 dB(Θ=90°), 최소 2.7dB(Θ=180°), 평균 8.2dB(Θ=0°~360°) 감소하였다. 따라서 총구에서 발생한 추진가스의 팽창파와 탄자에 의한 충격파로 발생한 소음은 대형 튜브에 의해 사격음이 크게 감소함을 알 수 있다. 그러나 총구 반대방향(Θ=180°)에서의 사격음은 거의 같다. 이는 총구폭풍에 의해 튜브 속의 압력이 상승하여 추진가스가 튜브 전방 및 후방 쪽으로 분출되게 되기 때문이다.

Fig. 7은 튜브 속에서 K2소총으로 단발 및 점사(3발) 사격 시에 사격방법에 따른 튜브의 감음특성을 조사하기 위해 나타낸 그림이며, 실험조건은 Fig. 6과 동일하다.

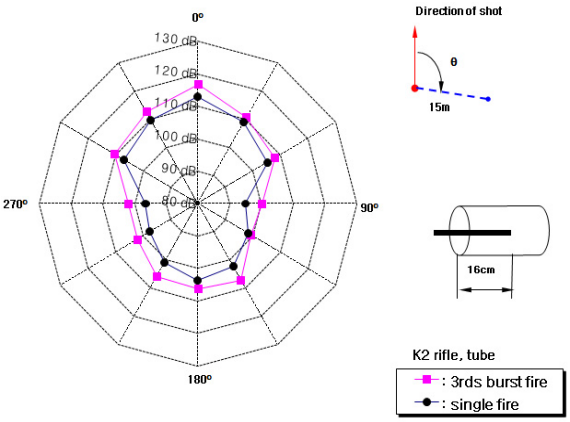

Fig. 7. Sound power level versus the direction of shot for the single or 3rds burst fire of K2 rifle in the large tube

그림에서 보는 바와 같이 방향에 따른 사격음의 분포는 단발사격과 점사 모두 거의 비슷함을 알 수 있다. 이때 전방 쪽(Θ=300°~60°)은 부채꼴 모양으로 탄도 부근에서 가장 크다. 이는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 전조압력파와 팽창충격파 그리고 총구폭풍이 탄자와 거의 같은 방향으로 전파되기 때문으로 추측된다. 이러한 현상은 개방된 공간 내에서는 이들 충격파가 구(sphere) 형태로 팽창하지만 튜브 속에서는 튜브에 의해 부채꼴 형태로 전파하기 때문으로 추측된다.

한편 튜브 속에서 단발사격 시 보다 점사인 경우가 평균 3.5dB 더 크다. 이는 개방된 공간에서 사격한 단발사격과 점사의 사격음의 차이 보다 평균 0.7dB 정도 더 크다. 따라서 개방 공간과 튜브 속에서의 사격방법에 따른 K2의 소음은 거의 같음을 알 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 6과 동일한 조건에서 K2소총으로 점사(3발)를 하였을 경우에 튜브의 감음특성을 비교하기 위해 나타낸 그림이다.

그림에서 보는 바와 같이 방향에 따른 튜브의 감음효과는 단발사격 시와 거의 같다. 이때 사격음이 튜브 속에서 사격 시 개방공간에서 보다는 최대 13.5dB(Θ=120°), 최소 2.6dB(Θ=300°), 평균 7.2dB(Θ=0°~360°)정도 감소하였다.

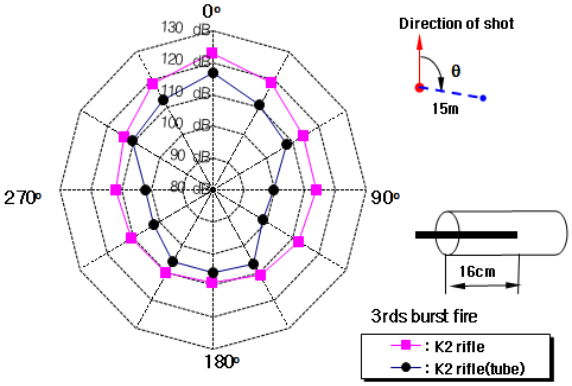

Fig. 8. Sound power level versus the direction of shot for the triple fire of K2 rifle in the large tube or in the open space

다. 소총의 튜브 내 위치에 따른 소음 특성

Fig. 9는 K2소총을 단발 및 점사(3발) 사격 시 튜브 입구로부터 삽입 깊이(IDP)와 사격음의 관계를 나타낸 그림이다. 이때 소음 측정 위치는 Θ가 170°방향으로 총구로부터 10m인 떨어진 곳에서 측정하였다. 그림에서 K2소총의 사격음은 IDP가 증가할 수 록 단발 및 점사사격 모두 거의 선형적으로 감소하며, 이때 상관식은 각각 식 (5)와 식 (6)과 같다. 단, 이들 상관식은 본 연구에서 제시한 실험조건 하에서만 제한적으로 적용할 수 있다.

$$SWL = -3.68 \cdot IDP + 118.1\,[dB] \quad (5)$$

$$SWL = -3.51 \cdot IDP + 120.3\,[dB] \quad (6)$$

한편 K2소총의 사격음의 감소율은 IDP가 증가함에 따라서 단발사격 시에 점사인 경우 보다 약간 더 크

다. 이와 같은 데이터는 소음차폐장치 설계 시 중요한 기초 데이터로 사용될 수 있을 것이다.

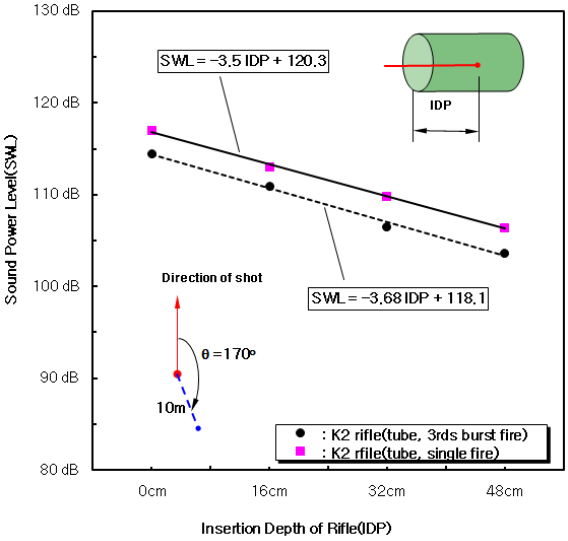

Fig. 9. Sound power level versus Insertion Depth of K2 rifle in the tube for a single or 3rds burst fire

4. 결 론

대형 튜브(길이 1.84m, 외경 50cm, 두께 5cm 유리섬유) 속에서 K2소총을 사격하였을 경우, 사격방법에 따른 사격음의 감음 특성을 실험적으로 구명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, K2소총의 사격음은 점사 시 단발 사격 보다 최대 약 4dB 그리고 평균 2.8dB 더 크다. 즉 사격 방법에 따른 사격음의 차가 매우 작다.

둘째, K2소총을 개방 공간에서 사격했을 경우에 비해 튜브 속에서 최대 15.4dB(Θ=90°), 최소 2.7dB(Θ=180°), 평균 8.2dB(Θ=0°~360°) 사격음이 감소하였다.

셋째, K2소총의 사격음은 튜브 입구로부터 삽입 깊이가 증가함에 따라 선형적으로 감소하며, 상관식은 식 (5), (6)과 같다.

넷째, 사격음의 효과적으로 차폐시킬 수 있는 소음차폐장치를 설계하기 위한 기초 데이터를 제시하였다.

끝으로 본 연구에서 제시한 소음특성데이터는 저격술 및 저격탐지장치의 개발에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Reference

[1] 오병완 외 3인, “M16소총 사격음의 음향학적 특성 분석 및 청력 감소 방지책”, 화랑대연구소 연구보고서, 1992. 3.

[2] 김종옥, “K2소총용 소음기의 설계 제작 및 감음 효과에 관한 실험적 연구”, 군사과학대학원 석사학위 논문, 1999. 1.

[3] 석광원 외 4인, 소음기관단총의 충격소음 계측기법에 관한 연구, 한국군사과학기술학회 추계학술대회논문집 제Ⅱ권, pp. 505~508, 2000. 10.

[4] 이진호, “K7소음총의 폭발음 특성에 대한 기초연구”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회논문집 제Ⅱ권, pp. 839~843., 2003. 10.

[5] K7기술교범 K9(1)-1005-302-12/P.

[6] 이진호, “K7소음총의 사격음 특성에 대한 실험적 연구”, 한국군사과학기술학회 논문집 제7권 제4호, pp. 36~43, 2004. 12.

[7] Harold W. Loard. etc, “Noise Control for Engineers”, McGraw-Hill Book Company, pp. 23~27., 1980.

[8] 조기호, “소음의 주관적 인식과제에 관한 고찰”, 한국소음진동공학회지 제5권 제4호, pp. 473~481, 1995.

[9] Dumond, J., etc, “A Determination of the Wave Forms and Law of Propagation and Dissipation of Ballistic Shock Waves”, JASA, Vol. 18, No. 1, July 1946.

[10] 김용채 외 3인, “소음계 교정 자동화 시스템 개발 및 성능평가”, 한국소음진동공학회지 제8권 제5호, pp. 879~886, 1998.

[11] 홍진석, “구조물에서 방사되는 소음을 저감하기 위한 능동구조 음향제어”, 대한기계학회논문집 A권, 제25권 제9호, pp. 1410~1415, 2001.

[12] 소음・진동규제법시행규칙 제6조, 2009.

[13] www.guns.connect.fi

[14] www.dreammetals.com

[15] 이진호, “대형 튜브를 통과하는 초음속 탄자의 폭발소음에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회 학술대회논문집, pp. 564~569, 2007. 8.