

근접 측정에 의한 K2 소총 사격음의 측정

The Measurement of Firing Noise of K2 Rifle at Close Distance

이 성 태* · 이 윤*

Sung-tae, Lee and Yun, Lee

(2004년 6월 9일 접수 : 2004년 10월 19일 심사완료)

Key Words : Firing Noise(소총 사격음), K2 Rifle(K2 소총), Pressure Level(압력 레벨), Measurement(측정)

ABSTRACT

An experimental study on firing noise of K2 rifle was performed. Firing noises of K2 rifle were measured at close distance to rifle. Firing noise of K2 rifle which made in Korea, has not measured before. The measurement of firing noise at close distance is not simple, because the amplitude of firing noise is much bigger than the measuring limit of ordinary sound level meter even though it uses a signal attenuator. The measurement of firing noise at close distance is necessary for noise source positioning and for obtaining the sound power of K2 rifle. By this experimental study, the firing noise levels of K2 rifle at different positions are obtained and these data can be used to predict the sound pressure level at any distance from muzzle of the rifle. Also these data can be used to calculate the threshold shift of gunner's ear.

1. 서 론

소음은 사람의 귀에 다양한 영향을 준다. 심리적으로 불쾌감으로부터 장기적으로 노출시 소화불량 및 불면증 등 생리적 영향을 주며,⁽¹⁾ 가장 심각한 영향인 일시적 청력손실과 영구적 청력손실을 준다.⁽²⁾ 특히 소총의 사격음과 같은 고음압의 충격성 소음은 일시적 청력손실과 영구적 청력손실을 유발하는 대표적인 소음 형태로서, 프레스 절단과 같은 타격음, 사격음 및 폭발음으로 인하여 발생하는 경우가 많다. 이러한 사격음에 대한 연구는 외국에서는 다양하게 연구된 반면⁽³⁾ 국내에서는 일부만 이루어졌으며⁽⁴⁾ 그것도 근접 측정이 된 경우는 극히 드물며 특히 한국군

이 현재 많이 사용하고 있는 K2 소총의 사격음을 측정된 결과의 발표는 없었다.

소총 사격음의 근접측정은 사격자의 청력손실계산에 필수 적일 뿐만 아니라 주변에 사는 주민과 가족들에게 미치는 소음공해 정도의 판단을 위해서는 필수적인 것이라 할 수 있다. 국내에서 소총 사격음의 측정 결과를 발표한 것이 거의 없는데, 그 이유는 일반적으로 측정하는 과정이 위험하기 때문에 안전하게 통제하며 연구하기가 어려우며, 사격음을 측정하는 장치를 획득하는 것이 어렵기 때문이라 생각된다. 또한 특정 인원 에 대한, 특정지역에서, 한시적으로 노출되는 소음이라는 사회적 무관심의 결과일 수도 있으나 갈수록 이러한 경향은 사라지고 있으며 군 생활에서 노출되는 사격음에 관련한 여러 종류의 관심이 증대되고 있으며, 군내에서도 전투력의 보호 차원에서 선진국 수준의 보호를 추구하고 노력하고 있는 실정이다.

소총의 사격음은 폭발음이므로 최대값이 상당히 높

† 책임저자 : 정희원, 육군사관학교 물리학과

E-mail : stlee@kma.ac.kr

Tel : (02) 2197-2765, Fax : (02) 2197-0197

* 정희원, 육군사관학교 물리학과

으며 급격하게 변화하는 충격음으로 일반적인 소음계로 이러한 사격음을 근접하여 측정하기는 어렵다.⁽⁵⁾ 그 이유는 일반 소음 측정용 소음기의 최대 측정범위가 보통 120~130 dB이며, 감쇠기를 사용하여도 최대 140 dB까지가 그 한계이기 때문이며, 일반 소음 측정용 소음기에서 사용하는 센서(B&K 4155 마이크)도 그 측정 범위가 146 dB까지이기 때문이다. 따라서 이러한 센서와 계측장치로 소총의 사격음을 측정하기 위해서는 최소한 3m 이상 떨어진 위치에서 측정을 하여야 overload가 되지 않고 정확한 측정이 가능한데, 이와 같이 떨어진 상태에서의 측정은 소총에 가까운 지점에서의 충격음 측정과는 다르기 때문에 총구, 약실, 사격수의 귀의 위치 및 전방 등에서 어떻게 소총의 사격음이 분포되는지를 구분하기 힘들며, 또한 어느 곳에서 어떠한 순서로 소음이 방출되는가를 판단하기가 어렵게 된다. 따라서 근거리에서 정확한 측정을 하여야 만이 정확한 소총의 사격음을 위치별로 획득이 가능하며, 사격수의 귀에 사격음이 미치는 영향 등을 정확하게 예측이 가능하게 된다.

이 연구는 이러한 목적을 달성하기 위해서 150 kHz에서 Natural frequency를 가지는 Kistler 압력센서 601A를 사용하였는데, 이 센서는 Swiss Federal Office of Metrology에서의 ANSI/ISA-S37.1-1975 (R1982)기준에 따른 Calibration시 2.5bar의 전 범위

에서 $\pm 0.1\%$ 이내의 Linearity를 보였다. 또한 이 센서는 Kistler 전하 증폭기 5011의 선택에 의하여 원하는 크기의 신호를 출력할 수 있는 압력센서이다. 동종의 센서들을 사용하여 4개의 point에서 동시에 측정하여 각각의 위치에서 감지되는 사격음을 측정하였다. 측정시 사용된 기구들의 연결 방식과 측정위치는 Fig. 1에 나타내었으며 측정 장소는 실내 방음 사격장으로써 주위의 소음이나 바람의 영향을 최소화하였으며 지면으로부터의 반사음과 벽 및 천장으로부터의 반사음을 제거하기 위해서 직사음이 포착된 이후의 반사음이 도달하지 않도록 측정시간을 조절하였다.

측정시 탄피내에 들어있는 폭약량의 변화, 격발강도 등에 의한 사격음의 약간의 변화를 최소화하기 위해서 동일한 위치에서 3회 측정하여 평균값을 획득하여 사용하였으며, 측정센서는 지면으로부터 1.23m의 높이에 위치시켰고 소총도 동일한 높이에서 사격하였다.

2. 센서의 감도 및 설치방향에 대한 실험

2.1. 측정 센서의 신호감도 비교 실험

4개의 센서를 사용하여 여러 위치에서 동시에 측정이 이루어지기 때문에 각각의 센서가 동일한 감도를 갖는 것이 필요하다. 물론 각 센서의 감도에 맞는 조정값을 전하 증폭기에서 설정을 하면 되지만 이러한 연결과 설정이 결과적인 신호에서 동일한 결과를 획득하는가를 확인하기 위해 4개의 센서를 동일한 위치에 설치하고 동일한 신호음을 포착하도록 하여 그 신호의 크기를 비교하였다. 4개의 센서를 완벽하게 동일한 위치에 설치할 수는 없으므로 가능한 인접하여 설치하였다. 설치후 사격음을 3회 측정하여 평균값을 획득한 결과는 Table 1에 나타나 있다. 측정값에서 알 수 있듯이 4개의 센서는 ± 1 dB 이내의 오차를 가지며 이와 같은 오차의 정도는 일반적으로 사용하는 고정밀 소음계의 오차의 정도에 불과하여 사용상에 문제가 없는 것으로 판단하였다. 이때 rms값을 계산하는 시간은 전체 측정시간을 사용하지 않고 -10 ms ~ 8 ms로 하였는데 이것은 사격음이 존재하는 시간이 트리거 된 후 8 ms 이내에서 이루어 졌으며 그 뒤로는 신호의 소음과 반사음 그리고 신호음의 DC 성분 등이 오류를 야기하기 때문에 정밀도를 증대시키기 위한 목적이었다.

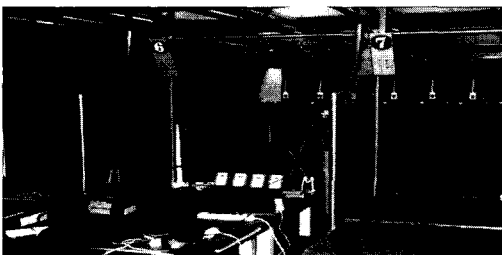
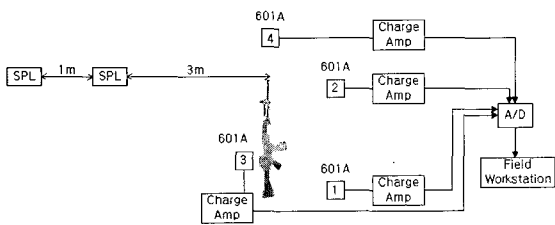


Fig. 1 The connection of apparatus & their positions(up), photograph(down)

2.2. 측정 센서의 설치 방향에 대한 비교 실험

폭발음이나 충격음을 측정할 때 센서를 설치하는 방법은 이론적으로 음원에서 음이 전달되는 방향에 대해 센서가 90도의 방향을 지향하도록 설치한다.⁽⁶⁾ 이러한 방식을 side-on 방식이라 하며, 센서가 음원을 가리키는 방향으로 설치하는 것을 head-on 방식이라 한다. 이론적으로 반사음에 의한 영향을 최소화하기 위해서는 side-on 방식을 선택하여야 하나, 센서의 직경이 5 mm 이내이고, 설치구를 포함한 직경이 10 mm 이내이기 때문에 음원에서 방출하는 파장의 길이에 비하여 센서가 작기 때문에 반사에 의한 영향은 거의 없으리라 생각되었으나 실험을 통한 확인을 거쳐서 센서의 설치 방향을 결정하기 위해 실험을 통하여 비교 결정하고자 하였다. 따라서 4개의 센서를 동일 위치에서 측정하되 1, 4번 센서는 head-on 방식으로, 2, 3번 방식은 Side-on 방식으로 설치한 후 동시에 사격음을 측정 비교하였다.

측정 결과는 Table 2에 나타나 있으며 head-on 방식이 side-on 방식에 비해 약간 큰 음압값을 나타

내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 폭발음의 측정은 이론과 같이 side-on 방식이 정확한 것으로 판단하였다.

3. 사격음의 측정

3.1. 측정 사격음의 시간특성 및 분석

Fig. 2와 Fig. 3은 소총 사격음을 소총의 각 부위에서 수직으로 1m 및 50cm 떨어진 곳에서 측정한 결과이며 각 그림의 위로부터 아래로 4개의 채널이 있는데 맨 위가 1번 맨 아래가 4번 채널이다. 측정 위치는 1번이 소총의 개머리판 우측방 지점이며, 2번은 총구 우측방 지점이고 3번은 사격수의 귀 위치이므로 거의 총에 붙은 곳으로 총의 좌측으로 약실 탄피 추출구의 반대쪽이 되며, 4번은 총구의 전방이다.

Table 1 Sound pressure level, head-on method (same sensor position) dB

	1st		2nd		3rd		Average	
	peak	rms	peak	rms	peak	rms	peak	rms
Sensor No.1	167.1	146.8	167.8	148.5	168.2	149.5	167.7	148.3
Sensor No.2	167.6	147.1	168.3	148.8	169.6	149.7	168.6	148.6
Sensor No.3	168.1	147.4	167.8	149.0	169.3	150.0	168.4	148.9
Sensor No.4	167.6	146.4	167.8	148.5	169.3	150.5	168.3	148.6

Table 2 Sound pressure level(head-on vs. side-on) dB

	1st		2nd		3rd		Average	
	peak	rms	peak	rms	peak	rms	peak	rms
No.1 (head-on)	169.5	149.7	170.2	150.3	169.8	149.9	169.8	149.9
No.2 (side-on)	168.7	148.8	169.2	149.4	168.4	149.0	168.8	149.1
No.3 (side-on)	167.6	148.1	168.5	148.6	168.1	148.8	168.1	148.5
No.4 (head-on)	168.9	149.3	169.8	149.8	169.5	149.0	169.4	149.4

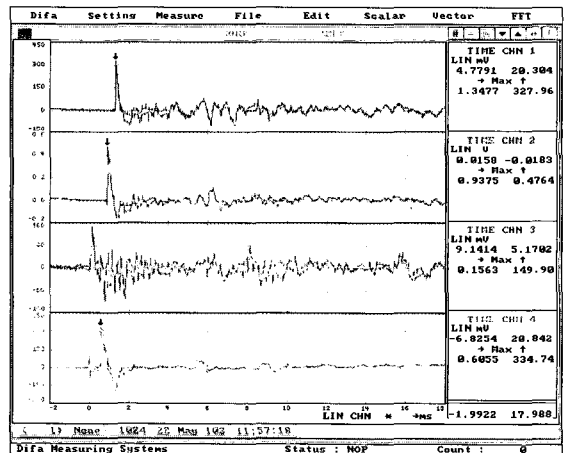


Fig. 2 Sound pressure signal at 1m apart from rifle

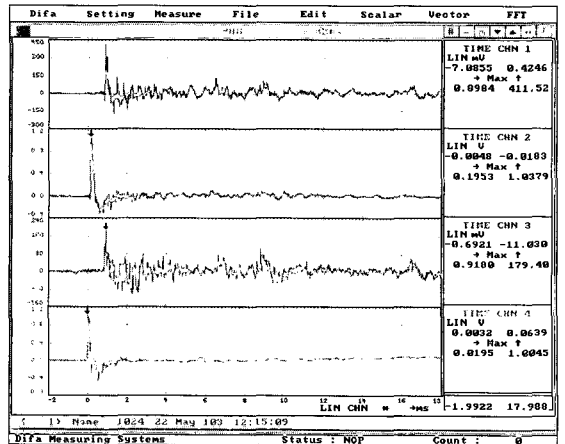


Fig. 3 Sound pressure level at 50 cm apart from rifle

Fig. 2는 3번 채널로, Fig. 3은 4번 채널로 트리거 한 결과이며 사격음이 도달하는 시간이 3번(귀 위치)을 기준으로 할 때 총구에서 1m 떨어진 곳은 늦게 도달하는 것과는 달리 50cm 떨어진 곳에서는 일찍 도달함을 보여주고 있다. 소총 사격음의 시간대 신호의 특성은 폭발음의 유형을 그대로 보여주고 있으며 20ms 동안에는 주위나 바닥으로부터의 반사음이 아직 도달하지 않아 반사음이 포착되지 않았음을 알 수 있다. 다만 3번 센서는 귀 위치에서 측정된 것으로 사격수의 몸과 소총으로부터 가깝기 때문에 이러한 반사체에 의한 영향으로 많은 신호가 소음처럼 포착된 것을 볼 수 있고 1번 신호도 사격수의 몸에 가깝기 때문에 반사에 의한 소음이 있다. 측정된 소총 사격음은 A-duration이 1m에서 0.3ms 정도이며, 50cm에서도 약간 늘어나나 0.3ms에서 큰 변화가 없다. 단 최대값이 증가하여 총격량을 나타내는 면적은 50cm에서 증가함을 알 수 있다.

3.2 측정 사격음의 주파수 특성 및 분석

사격음의 주파수 분석은 사격음의 시간곡선을 그대로 FFT한 결과로서 폭발음과 같은 펄스 형태의 주파수 분석이 이론적으로 백색잡음이 되듯이 거의 백색잡음에 가깝게 전 주파수 대역에서 신호를 갖고 있는 것을 볼 수 있으며, 500Hz 부근의 저주파 음압이 상대적으로 큰 것을 볼 수 있다. 채널 4번의 총구 앞 방향과 채널 2번인 측면 방향의 저주파 성분 음압이 채널 1번의 후방에 비해 큰 것을 알 수 있으며 제일 큰 소음이 음의 특성을 결정짓게 되므로 4번 채널의

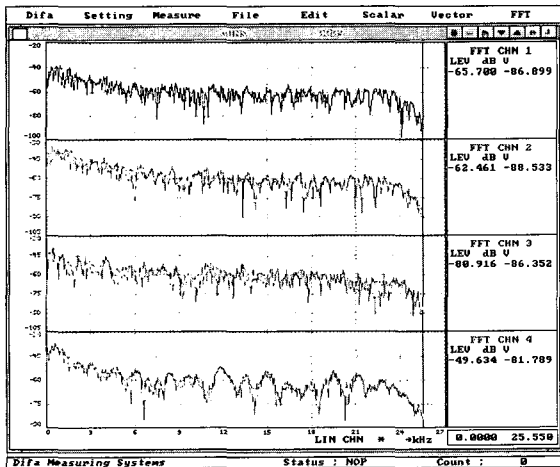


Fig. 4 FFT result of Fig. 2

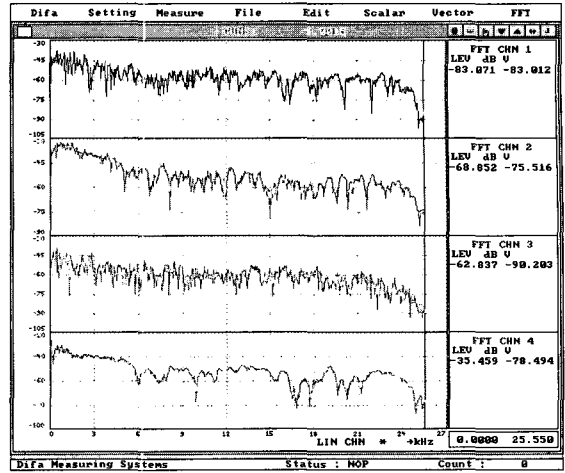


Fig. 5 FFT result of Fig. 3

주파수 형태가 소총 사격음의 주파수 특성을 갖는다 할 수 있다. 따라서 소총 사격음을 통제할 때 저주파에 대한 대책이 더욱 중요함을 알 수 있다. 시간대 신호의 분석에서 나타난 0.3ms를 기준으로 생각하면 0.3ms가 신호의 대략 1/2파장이거나 그 이하이므로 사격음의 주파수 분석은 대략 1.5kHz 부근이나 그 이하에서 최대값을 가질 것으로 예측되며 이것은 그 그래프에서 확인되었다.

3.3. 측정 사격음의 측정위치별 이격거리별 특성

(1) 각 위치에서 50cm 떨어진 곳에서의 측정

Table 3을 보면, 동일한 총구에서 같은 거리 50cm 떨어진 곳인 총구 전방과 총구 측방의 음압을 볼

Table 3 Sound pressure level at 50 cm apart from rifle dB

	1st		2nd		3rd		Average	
	peak	rms	peak	rms	peak	rms	peak	rms
Side of buttstock	166.2	147.2	166.4	147.1	167.1	147.6	166.6	147.3
Side of muzzle	174.6	155.6	174.4	155.7	175.2	156.0	174.8	155.8
Gunner's ear position	159.7	143.7	159.2	143.3	158.0	143.7	159.0	143.6
Front of muzzle	181.7	161.4	181.5	161.3	181.2	160.8	181.4	161.2

때 peak값은 6 dB 정도, 그리고 rms 값은 5 dB 정도 전방이 높는데 이것으로 K2 소총 사격음이 전방으로 지향성을 갖는 것을 알 수 있다. 또 항상 peak 값과 rms 값이 약 20 dB 차이를 나타내는데 이것은 소총 사격음이 상당히 급격히 peak 값에 도달하고 상당히 짧은 시간동안만 지속됨을 나타낸다. 또한 사격수의 귀 위치에서는 거리상으로 먼 개머리판 끝 위치보다도 더 작은 음압이 도달하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 K2 소총의 약실의 방향이 귀의 위치와 반대 방향이고, 총에 의한 차음효과에 의한 것으로 판단된다.

Table 4 Peak sound pressure level at 50 cm apart from rifle dB

	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	Average
Side of buttstock	166.0	165.5	164.4	164.2	164.5	165.4	165.2	165.0
Side of muzzle	168.8	168.9	167.7	167.4	166.8	168.6	168.6	168.1
Gunner's ear position	158.7	156.9	157.6	157.8	159.2	159.2	157.4	158.2
Front of muzzle	172.5	173.8	171.9	172.7	172.0	174.0	175.5	173.3

Table 5 Rms sound pressure level at 1m apart from rifle dB

	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	Average
Side of buttstock	147.3	146.6	146.2	146.4	146.0	146.9	146.7	146.6
Side of muzzle	150.4	149.5	149.5	149.4	149.5	150.2	150.1	149.8
Gunner's ear position	144.1	143.4	142.9	143.4	145.5	143.5	143.4	143.8
Front of muzzle	154.2	154.5	153.6	154.7	153.9	155.3	155.5	154.6

Table 6 Sound pressure level at 2 m apart from rifle dB

	1st		2nd		3rd		Average	
	peak	rms	peak	rms	peak	rms	peak	rms
Side of buttstock	160.5	145.9	160.6	146.3	161.1	146.1	160.7	146.1
Side of muzzle	162.8	145.9	163.6	146.4	162.6	145.9	163.0	146.0
Front of muzzle	167.4	152.0	166.1	152.9	167.1	153.1	166.9	152.7

(2) 각 위치에서 1 m 떨어진 곳에서의 측정

1 m에서 측정된 것은 3회가 아니라 7회의 측정을 평균하였다. 이 거리에서도 대부분의 경우 50 cm 와 동일한 경향을 가져 총에 의한 차음효과나 전방을 향하는 지향성은 동일하다. 50 cm에서 측정된 것과 다른 점은 peak 값과 rms 값의 차이가 20 dB가 약간 안되는 수준의 차이가 난다는 것이다. 이것은 거리가 소음원에서 멀어지면서 급격한 음압의 변화가 둔화되는 것을 보여주는 것이다. 총구전방으로 향하는 rms 음압과 귀에 도달되는 rms 음압을 비교해 보면 1 m에서 약 11 dB의 차이가 나며 이것은 압력이 3.5배 차이가 나는 것으로, 일반적으로 구형 전파하는 것으로 알려진 사격음 충격파⁽⁶⁾의 영향보다는 총구와 약실에서 방출되는 가스압의 영향으로 판단된다.

(3) 각 위치에서 2 m 떨어진 곳에서의 측정

2 m에서 측정된 음압의 분포이다. 사격수의 귀 위치에서 측정된 값은 동일위치이므로, 50 cm와 1 m의 측정실험에서 본 바와 같을 것이다. 트리거를 4번의 총구전방을 기준으로 한 것은 귀의 신호를 포착하면서 총구전방의 신호를 제외시키는 것보다 유용하다고 판단하여서였으며, 동시에 전체 시간창을 줄여서 자세한 신호의 변화를 관찰하기 위함이었다. 방향성이 전방으로 나타나는 것은 50 cm 및 1 m와 동일하며, peak 값과 rms 값의 차이는 약 15 dB 정도로 급격한 음압의 변화가 더욱 둔화됨을 알 수 있다.

3.4. SPL meter를 이용한 측정 결과

소음계를 이용한 측정은 총구 측방으로 2 m, 3 m, 4 m 및 5 m의 거리에서 각각 측정하였다.

측정된 결과는 Table 7에서 보는 바와 같으며 측정시 소음계의 선택스위치는 Impulse, max, A-weighting 및 FSD는 140 dB로 하였다.

2 m에서 4 m로 증가될 때 rms 평균값이 5 dBA

Table 7 Sound pressure level at 2, 3, 4, 5 m apart from rifle

* : means overload dBA

Distance	2m			3m			4m			5m
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	
SPL	135.2*	136.4*	132.4	132.7	132.7	130.8	131.1	131.1	128.2	128.2
Average	135.8			132.6			131.0			128.2

줄어들었다. 이것은 거리를 2배 할 때 6 dB 감소하는 이론에 비해 1dB 적게 줄어드는 것으로 총구에서 발생하는 가스에 의한 압력의 상승분이거나 고음압의 전파에서 발생하는 음의 비선형성으로 생각된다.⁽⁷⁾

4. 결 론

한국이 개발 사용중인 K2 소총의 사격음을 근거리(0.5, 1, 2 m)에서 측정하였다. rms 값으로 측정된 사격음은 총구에서 1 m 떨어진 곳에서 측방으로 149.8 dB 그리고 전방으로 154.6 dB의 음압분포를 보였으며, 총구 전방으로 지향성을 갖는 것으로 확인되었다. 소총사격수의 귀 위치에서 최소의 음압이 분포되는 것을 확인할 수 있었으며 전체적으로는 K2소총 사격음이 사격시 발생하는 가스의 생성에 의한 비선형성이 존재하는 것을 확인하였다. 또한 사격음의 지속시간(A 및 B duration)과 주파수 정보를 획득하였으며 소총의 위치별 거리별 소음의 방사 정도를 측정으로 획득하였다. 이와 같은 측정자료는 측정하지 않은 거리별 소총 사격음의 음압 계산, 사격음의 충격량 계산 및 청력손실 정도를 계량화하는데 사용될 수 있다. 좀더 근거리에서 측정하여 소총의 사격음이 발생하는 메커니즘을 좀더 규명하는 일과 이러한 사격음에 대한 청력의 보호 대책에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) 환경처 소음진동과, 1992, "소음 규제의 국제적 경향", 한국소음진동공학회지, 제 2 권, 제 2 호, pp. 84~91.
- (2) 김원술 외, 1994, "개인 소음폭로량과 청력 손실에 관한 추적조사", 예방의학회지, 제 27 권, 제 2 호.
- (3) J. Pekkarinen, 1993, 'Hearing Loss Risk from Exposure to Shooting Impulses in Workers Exposed to Occupational Noise', British Journal of Audiology 27.
- (4) 오병완외, 1992, "M16A1소총 사격음의 음향학적 특성 분석", 육사논문집 42집.
- (5) U.S Army. 'Decibel Thermometers', TG 250 Readiness thru Hearing Conservation.
- (6) Powell, R. F., MR, Forrest, 'Noise in the Military Environment', Brassey's weapon series Vol. 3.
- (7) S. T. Lee, 1987, 'The Measurement of surface Impedance using Acoustec Impulses of up to 150 dB' Msc, Thesis.