군부대 방음사격장의 음향특성 분석 및 사격소음 예측 Analysis of Acoustic Characteristics and Shooting Noise Prediction for Shooting Range Soundproofing in Military

정 아 영* · 김 재 수†
A-Yeong Jeong and Jae-Soo Kim

(Received June 13, 2014 ; Revised October 21, 2014 ; Accepted October 21, 2014)

Key Words : Shooting Range Soundproofing(방음사격장), Shooting Noise(사격소음), Acoustic Design(음향설계), Acoustic Simulation(음향시뮬레이션)

ABSTRACT

The shooting noise caused by shooting training, which has strength and impacts, is becoming a serious damage to the residents around the shooting range and, consequently, the number of civil appeals against the shooting noise is on the constant increase. For this reason, the military examines the effects of the shooting noise at the stage of design in constructing a shooting range and tries to build a soundproof shooting range to minimize civil appeals. However, the lack of research and data concerning propagation and attenuation, both of which characterize the shooting noise from within a soundproof shooting range, even makes it so difficult to design a soundproof shooting range in constructing it. So this study used an acoustic simulation in a soundproof shooting range to identify acoustic and propagation characteristics within the shooting range and, on this basis, predicted the noise level at an exit of the soundproof shooting range. As a result, if the form and specifications of a soundproof shooting range were decided on at the stage of design, it was possible to use a simulation to design a soundproof shooting range with optimized acoustic performance and, on this basis, to predict a sound pressure level at an exit of the soundproof shooting range. On the basis of these data, it is probably possible to determine the degree of the effects of the shooting noise on the villages around a shooting range and the extent of damage to it and to minimize civil appeals against the shooting noise and resolve the issues of compensation and agreement with ease. This study is expected to provide useful data for designing and constructing a similar soundproof shooting range.

1. 서 론

최근 소음으로 인한 갈등은 매우 다양하고 복잡해지고 있다. 이중 사격소음은 매우 강하고 충격적

인 특성과 그 영향범위가 매우 넓기 때문에 지속적으로 민원이 제기되고 있다. 따라서 국방부에서는 사격장 건립시 설계단계부터 사격소음에 대한 영향을 검토하고 기상조건과 관계없이 사격연습을 할 수 있는 방음사격장 건립을 추진하고 있다. 그러나 방

† Corresponding Author ; Member, Dept. of Architectural Engineering, Wonkwang University.

E-mail : soundpro@wku.ac.kr

Tel : +82-63-850-6712, Fax : 063-843-0782

* Dept. of Architectural Engineering, Wonkwang University.

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

음사격장 내부에서 발생하는 사격소음의 전파 및 감쇠특성에 대한 연구 및 자료가 부족하여 설계 및 시공시 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 관점에서 이 연구에서는 현재 건립단계에 있는 방음사격장을 대상으로 AutoCAD를 이용하여 모델링 후 ODEON이라는 음향시뮬레이션 프로그램을 이용하여 사격장 내부의 음향특성을 파악하였으며, 이를 토대로 사격장에서 사격시 방음사격장 출구부분의 음압레벨을 예측하고자 한다.

2. 방음사격장의 제원 및 음향시뮬레이션

2.1 방음사격장의 제원

국방부에서 제시한 설계안⁽⁸⁾을 토대로 방음사격장의 제원 및 형태를 알아보면 Table 1, Fig. 1과 같으며 방음사격장 내부 마감재료 및 흡음률은 Table 2와 같다.

Table 1 Data of shooting range soundproofing(left shooting range)

Division	Dimension
Floor area	1,260 m ²
Length	35 m
Width	36 m
Ceiling height	3~12 m
Number of shooting area	6
Volume	16,258 m ³

Fig. 1 The shape of shooting range soundproofing

방음사격장 내부의 소음레벨을 저감시키기 위해 사용된 마감재료인 ARCH PANEL은 하부에는 유공판 5 mm로 타공되어 있으며 개구율은 약 17% 정도이다. 판넬의 구성은 상부패널과 타공된 하부패널 사이에 그라스울(glass wool) 100T로 채워져 있으며 시공시에는 지면에서 조립 후 인양되어 천장에 Fig. 2와 같이 부착된다.

Table 2 Each sound absorption rate of interior finishing materials at shooting range soundproofing

Location		Finishing materials	Frequency(Hz)					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Ceiling	Ceiling	ARCH PANEL	0.76	1.00	0.96	0.72	0.48	0.40
	Window	Acrylic	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Floor	Slope	Rough sand	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60
	Shooting area	Epoxy painting on Concrete	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
	Floor	Epoxy painting on Concrete	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
Wall	Side wall	END WALL PANEL	0.76	1.00	0.96	0.72	0.48	0.40
	Front wall	END WALL PANEL	0.76	1.00	0.96	0.72	0.48	0.40
	Vent	Ventilating opening (40 %)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Control room	Top	Glass	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
	Bottom	Lumber	0.10	0.25	0.10	0.10	0.07	0.07
Frame	Truss flashing	Steel	0.24	0.20	0.20	0.18	0.18	0.21
	H-beam	Steel	0.24	0.20	0.20	0.18	0.18	0.21
	Channel	Steel	0.24	0.20	0.20	0.18	0.18	0.21

□ : ARCH PANEL

Fig. 2 Composition of ARCH PANEL

2.2 음향시뮬레이션

방음사격장은 AutoCAD를 이용하여 3D모델링 후

Fig. 3 3D modeling of shooting range soundproofing

Table 3 Noise characteristic of K2 rifle

Sound source	Frequency(Hz)						dB(A)
	125	250	500	1K	2K	4K	
PWL(dB)	106.8	121.5	144.8	143.5	140.8	138.0	147.8

Fig. 4 Shooting area and sound source location

Fig. 5 Sound receiving point of shooting range soundproofing

음압분포 및 실내음향 파라메타의 예측분석은 음선 추적법(ray-tracing method)과 허상법(image model method)에 의한 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였으며 사용 프로그램은 ODEON 4.21이다. 임펄스 응답(impulse response)의 길이는 2,500 m, transition order는 3으로 설정하였다. Fig. 3은 모델링의 모습이다.

이 연구에서 사용된 음원은 군부대 사격훈련시 가장 많이 사용하는 K2(자동소총)으로 선정하였으며 K2 소총의 음향파워레벨(PWL) 특성은 Table 3과 같고 이는 2008년 국방부에서 발표한 “군 사격장 유형별 소음방지시설 표준화 방안 연구” 보고서⁽⁸⁾의 자료를 이용하였다. 이 연구대상 방음사격장의 사로는 Fig. 4(a)와 같이 지면 아래에 위치한 형태이며 2.3×1.8×1.2 m(길이×폭×높이)의 크기로 되어 있다. 또한 Fig. 4(b)와 같이 총 12개의 사로로 구성되어 있고 음원의 위치는 사격자세로 미루어 보아 지면으로부터 높이 0.3 m 정도이다.

또한 방음사격장의 수음점은 Fig. 5와 같이 바닥부터 높이 1.5 m 떨어진 곳에 위치해 있고 좌측 9개 우측 9개 총 18개의 수음점을 선정하였다.

3. 방음사격장의 사격소음 예측

3.1 12개 사로에서 동시사격시 음압레벨 예측

12개 사로에서 동시에 K2 소총으로 사격시 음향 시뮬레이션 프로그램인 ODEON을 이용하여 방음사격장 내부의 음선추적(ray tracing)을 하면 Fig. 6과 같다.

음선추적은 자동화 방음사격장에서 K2소총으로 사격시 방사된 소음이 사격장 내부의 여러 표면에 반사되고 흡수되면서 수음점의 한 지점에 이르기까지 그 경로를 추적함으로써 방음사격장 내부의 음향 상태를 분석할 수 있으며 이를 토대로 음압레벨을 예측할 수 있다. ODEON을 이용하여 방음사격장 내부의 음압레벨을 비교해 보면 Fig. 7과 같다.

Fig. 6 Analysis of sound ray tracing

Fig. 7을 보면 방음사격장 12개 사로에서 K2 소총으로 동시에 사격할 경우 좌측사격장은 평균 122.9 dB(A), 우측사격장은 평균 124.0 dB(A) 정도의 음압레벨을 보이고 있다. 또한 Fig. 7에서 보면 사로에서 가까운 지점의 음압레벨은 높지만 멀어질수록 거리감쇠로 인해 점점 낮아짐을 알 수 있다.

또한 Fig. 8과 같이 방음사격장의 끝부분인 L₇, L₈, L₉ 및 R₇, R₈, R₉ 지점은 사로에서 발사된 K2 소총의 총알이 목표점으로 날아가야 하기 때문에 아치형 지붕까지는 막혀 있지만 그 밑으로는 개방되어 있다. 이러한 이유는 K2 소총의 유효사격거리가 2.7km이므로 사로에서 이 지점까지 충분한 가시선이 확보되어야 하기 때문이다. 따라서 사격시 이렇게 개방된 부

분으로 사격소음의 에너지가 집중적으로 방사되기 때문에 이 부분의 음압레벨을 비교하면 Table 4와 같다.

12개 사로에서 동시에 K2 소총으로 사격할 경우 발생하는 음향파워레벨(PWL)은 158.6 dB(A)이며, 방음사격장의 출구쪽에서 발생하는 소음의 평균 음압레벨은 L₇, L₈, L₉는 119.9 dB(A), R₇, R₈, R₉는 121.3 dB(A) 정도로 나타나 음향파워레벨(PWL)로부터 각각 38.7 dB(A), 37.3 dB(A) 감소하는 특성을 보이고 있다.

3.2 6개 사로에서 동시사격시 음압레벨 예측

좌측사격장 6개 사로에서 동시에 K2 소총으로 사격시 ODEON을 이용하여 자동화 방음사격장 내부의 음선추적(ray-tracing)을 하면 Fig. 9와 같다.

ODEON을 이용하여 방음사격장 내부의 음압레벨을 비교해 보면 Fig. 10과 같다.

Fig. 10을 보면 좌측사격장 6개 사로에서 K2 소총으로 동시에 사격할 경우 좌측사격장은 평균 122.3 dB(A), 우측사격장은 평균 117.7 dB(A) 정도의 음압

Fig. 7 Sound pressure level each sound receiving point of shooting range soundproofing

Fig. 8 Exit part of shooting range soundproofing

Fig. 9 Analysis of sound ray tracing

Fig. 10 Sound pressure level each sound receiving point of shooting range soundproofing

Table 4 Sound pressure level of exit part at shooting range soundproofing(dB(A))

Sound receiving point		L ₇ , L ₈ , L ₉	R ₇ , R ₈ , R ₉
Sound pressure level			
PWL		158.6	
Average sound pressure level		119.9	121.3

Table 5 Sound pressure level of exit part at shooting range soundproofing(dB(A))

Sound receiving point		L ₇ , L ₈ , L ₉	R ₇ , R ₈ , R ₉
Sound pressure level			
PWL		155.6	
Average sound pressure level		119.2	115.9

레벨을 보이고 있다. 또한 Fig. 10에서 보면 사로에서 가까운 지점의 음압레벨은 높지만 멀어질수록 거리감쇠로 인해 점점 낮아짐을 알 수 있다. 또한 Fig. 8과 같이 방음사격장의 끝부분인 L₇, L₈, L₉, R₇, R₈, R₉ 지점에서 음압레벨을 비교하면 Table 5와 같다.

6개 사로에서 동시에 K2 소총으로 사격할 경우 발생하는 음향파위레벨(PWL)은 155.6 dB(A)이며, 방음사격장의 출구쪽에서 발생하는 소음의 평균 음압레벨은 L₇, L₈, L₉는 119.2 dB(A), R₇, R₈, R₉는 115.9 dB(A) 정도로 나타나 음향파위레벨(PWL)로부터 각각 36.4 dB(A), 39.7 dB(A) 감소하는 특성을 보이고 있다.

4. 현수흡음체 설치 효과 분석

4.1 현수흡음체의 제원 및 설치

방음사격장 내부에서 발생하는 사격 소음레벨을 저감시키기 위해 현수흡음체의 사용에 대해 많은 의견들이 제시되고 있다. 따라서 이 연구에서는 현수흡음체의 설치효과에 대한 사격소음의 저감효과를 분석하고자 하였다. 이 연구에서는 Fig. 11과 같이 국내에서 현수흡음체로 가장 많이 사용하고 있는 텍텀(Tectum acoustic panel)을 좌·우 사격장 천장에 140개씩 총 280개를 Fig. 12와 같이 매달아 음향시뮬레이션 프로그램을 이용하여 그 효과를 분석해 보았다. 텍텀의 주파수별 흡음률⁽¹⁵⁾은 Table 6과 같다.

4.2 현수흡음체 설치 전·후 잔향시간 비교

ODEON을 이용하여 12개 사로에서 동시 사격시 현수흡음체 설치 전·후 수음점별 잔향시간을 500 Hz를 기준으로 분석해 보면 Table 7과 같다.

Fig. 11 Date and shape of Tectum

500 Hz를 기준으로 평균 잔향시간을 분석해 보면 현수흡음체 설치 전에는 0.65~0.69초, 설치 후에는

Fig. 12 The modeling of after installation suspended absorber

Table 6 Sound absorption rate of Tectum

Material	Frequency(Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
Tectum 50T	0.15	0.26	0.62	0.94	0.64	0.92

Table 7 Reverberation time of before & after installation suspended absorber(s)

Left shooting range			Right shooting range		
Sound receiving point	Before installation	After installation	Sound receiving point	Before installation	After installation
L1	0.81	0.75	R1	0.68	0.65
L2	0.75	0.74	R2	0.52	0.51
L3	0.64	0.61	R3	0.69	0.67
L4	0.70	0.64	R4	0.84	0.80
L5	0.70	0.68	R5	0.68	0.66
L6	0.61	0.59	R6	0.52	0.51
L7	0.71	0.67	R7	0.59	0.57
L8	0.68	0.66	R8	0.67	0.65
L9	0.62	0.60	R9	0.63	0.61
Avg.	0.69	0.66	Avg.	0.65	0.63

Table 8 Room constant of before & after installation suspended absorber(m²)

	Left shooting range	Right shooting range
Before installation	35,800	49,397
After installation	45,114	60,976

0.63~0.66초의 아주 짧은 잔향시간을 나타내고 있다. 방음사격장 내부의 잔향시간이 이렇게 짧은 이유는 높은 흡음력을 갖는 아치판넬을 사용했을 뿐만 아니라 방음사격장 출구부분인 L₇, L₈, L₉, R₇, R₈, R₉ 부분이 외부로 개방되어 있기 때문으로 사료된다. Table 7의 평균 잔향시간 자료를 토대로 실정수(room constant)를 계산해 보면 Table 8과 같다.

Table 8에서 현수흡음체를 설치하면 실정수(room constant)가 좌·우측사격장 모두 약 10,000 m² 정도 증가하였다.

4.3 현수흡음체 설치에 따른 음압레벨 저감효과

ODEON을 이용하여 12개 사로에서 동시 사격시 현수흡음체 설치 전·후 수음점별 음압레벨을 비교해 보면 Fig. 13과 같다.

Fig. 13에서 보면 12개 사로에서 동시사격시 현수흡음체 설치 전·후의 음압레벨은 0.2~0.4 dB(A) 정도 저감되어 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이러한 이유는 방음사격장의 경우 사격시 발생하는 소음이 워낙 크고 충격적인 성분이어서 사격장 내부에서 직접음의 제어가 매우 힘들며 사로의 출구부분인 L₇, L₈, L₉와 R₇, R₈, R₉ 쪽이 외부로 개방되어 있어 직접음의 에너지가 외부로 전파되기 때문이다. 또한 현수흡음체 설치 전 방음사격장은 내부에 고도의 흡음력을 갖는 아치판넬로 시공되어 있고 출구부분이 외부로 개방되어 있어 아주 짧은 잔향시간을 보이고 있다. 따라서 이러한 방음사격장 천장에 현수흡음체를 설치하면 실정수가 일부 증가하여 잔향음이 감소하지만 방음사격장 출구부분이 외부로 개방되어

있어 사격소음의 에너지가 상당부분 빠져나가기 때문에 잔향음의 감소가 크지 않고 이로 인해 사격소음의 저감에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구는 현재 건립단계에 있는 군부대 방음사격장을 대상으로 음향시뮬레이션을 이용하여 방음사격장의 음향특성 및 전파성상을 분석하여 최적화된 방음사격장을 설계하고자 한 연구이다. 이 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 12개 사로에서 동시에 K2소총으로 사격할 경우 음향파워레벨(PWL)은 158.6 dB(A)이며, 사격장 좌측출구(L₇, L₈, L₉)에서는 119.9 dB(A), 우측출구(R₇, R₈, R₉)에서는 121.3 dB(A)로 나타났다. 좌측 사격장의 6개 사로에서 동시에 K2소총으로 사격할 경우 음향파워레벨(PWL)은 155.6 dB(A)이며, 사격장 좌측출구(L₇, L₈, L₉)에서는 119.2 dB(A), 우측출구(R₇, R₈, R₉)에서는 115.9 dB(A)로 나타났다. 따라서 방음사격장의 사로에서 사격시 거리감쇠와 방음사격장 내부의 아치판넬에 의한 흡음으로 인해 출구부분의 소음레벨은 상당히 저감됨을 알 수 있다.

(2) 500 Hz를 기준으로 방음사격장 내 평균 잔향시간을 분석해 보면 현수흡음체 설치 전에는 0.65~0.69초, 설치 후에는 0.63~0.66초의 아주 짧은 잔향시간을 나타내고 있다. 방음사격장 내부의 잔향시간이 짧은 이유는 높은 흡음력을 갖는 아치판넬을 사용했을 뿐만 아니라 방음사격장 출구부분이 외부로 개방되어 있기 때문으로 사료된다. 또한 현수흡음체를 설치하면 실정수(room constant)가 좌·우측 사격장 모두 약 10,000 m² 정도 증가하였다.

(3) 12개 사로에서 동시 사격시 현수흡음체 설치 전·후의 음압레벨은 0.2~0.4 dB(A) 정도 저감되어 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이러한 이유는 방음사격장에서 사격시 발생하는 소음이 워낙 크고 충격적인 성분이어서 사격장 내부에서 직접음의 제어가 매우 힘들기 때문이다. 또한 방음사격장 내부가 이미 고도의 흡음력을 갖는 아치판넬로 시공되어 있고, 여기에 현수흡음체를 설치하면 실정수가 일부 증가하여 잔향음이 감소하지만 사격소음의 저감에는 큰

Fig. 13 Comparison of sound pressure level at before & after installation suspended absorber

영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

(4) 설계 및 건립단계에서 방음사격장의 형태 및 제원이 결정되면 음향시뮬레이션을 이용하여 최적화된 음향성능을 갖는 방음사격장을 설계할 수 있었으며, 이를 토대로 방음사격장 출구부분의 음압레벨을 예측할 수 있었다. 또한 이러한 자료를 토대로 사격장 주변 마을에 사격소음이 미치는 영향정도 및 피해범위를 판단할 수 있으며, 이를 통해 사격소음에 대한 민원의 최소화 및 보상과 합의를 쉽게 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2014년 원광대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

References

- (1) Lee, S. W., Kim, H. S. and Jeong, S. J., 2009, Measurement of Noise and Evaluation of Noise Control Methods for Military Rifle Shooting Ranges, Journal of the KIMST, Vol. 12, No. 1, pp. 123~132.
- (2) Lee, S. T. and Lee, Y., 2004, The Measurement of Firing Noise of K2 Rifle at Close Distance, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 1123~1128.
- (3) Steffen, P., 2003, The Management of Shooting Noise in German Military Training Areas, The 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering.
- (4) Lee, J. H., Choe, E. J. and Yoon, J. H., 2012, Firing Shock Measurement and Shock Response Spectrum Analysis of Small Arms, Proceeding of the KSNVE Conference, pp. 588~593.
- (5) Lee, J. B. and Kim, J. S., 2011, Evaluation and Effect Area of Hitting Noise Occurring at a Golf Driving Range, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 11, pp. 1105~1012.
- (6) Joo, D. H. and Kim, J. S., 2010, A Study on the Propagation and Attenuation Properties of the Military Construction Equipments Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 797~804.
- (7) Yun, J. H. and Kim, J. S., 2010, Evaluation on Attenuation for Sound-absorbing Measures of Loud Noisy Work-site using Auralizational Technique, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 8, pp. 742~752.
- (8) Ministry of National Defense, 2008, A Study on the Standardization by Noise Protection Facilities Type in Military Shooting Range.
- (9) Kim, J. S., 2008, Architecture Acoustic Design(3rd), Sejin Co.
- (10) Kim, J. S., 2013, Noise and Vibration Engineering(4th), Sejin Co.
- (11) Heinrich Kuttruff, 1991, Room Acoustics, CadalogElsevier Applied Science.
- (12) M. David Egan, 1972, Concepts in Architectural Acoustics, McGRAW-Hill Book Company.
- (13) Yochi, A., 1998, Architectural Acoustics, Springer.
- (14) Cyril, M. H., 1979, Handbook of Noise Control, McGRAW-Hill Book Company.
- (15) Catalog, Tectum Interior Wall Panels Acoustical Data, Tectum Inc.

A-Yeong Jeong received B.S. degree in the Dept. of architectural engineering from the Wonkwang University in 2014. Currently she is a M.S. candidate in the Dept. of architectural engineering at Wonkwang University. Her research interests are acoustics simulation and auralization.

Jae-Soo Kim received Ph.D. in the Dept. of architectural engineering from the Chonnam National University in 1993. Currently he is a professor in the Dept. of architectural engineering at Wonkwang University. His research interests are noise and vibration, architectural acoustics.