

청각 보호 장구의 실내 충격소음 차음성능에 관한 연구

송기혁 · 정성학*

A study of the Indoor-Impulse Noise Attenuation Effect for the Hearing Protection Devices

Kee-Hyeok Song · Sung-Hak Chung*

요 약

본 연구의 목적은 170 dB 수준의 충격 소음원에서 주파수별 귀마개의 차음성능을 확인하고, 주파수 특성과 패턴 형상을 분석하는데 있다. 충격 소음에서의 Combat Arm Earplug와 3M Form types 1100 Earplug의 주파수별 귀마개 차음성능을 산출하였다. 차음성능을 확인하기 위해서 B&K Head and Torso Simulator와 Ear Simulator를 제작하여 충격 소음원의 주파수별로 차음성능을 비교하였다. 기존의 연구들은 충격 소음원이라 할지라도 대부분 140 dB 수준의 고충격 소음원이었으나, 본 연구는 그보다 더 높은 수준의 충격 소음원이라는 특징을 가지고 있다. 연구결과, 주파수별 충격소음의 차음효과는 평균 28.58 dB 인 것으로 나타났다.

▶ Keywords : 충격소음, 주파수 특성, 청각 보호 장구, 귀마개, 소음감소, 차음효과

Abstract

The objective of this study is the frequency of the noise source 170 dB level of impulsive sound attenuation performance by earplugs to identify, to analyze the frequency characteristics of a shape and pattern. The attenuation performance of the impulsive noise by the frequency levels on the Combat Arm and 3M Form types 1100 Earplugs were evaluated. In order to check the sound attenuation performance of the B&K head and torso simulator and sound attenuation performance of the ear simulator data was verified. Previous studies have most impact, even in the noise source and the impulse noise level is 140 dB, but this study is higher than that of the impulsive noise source features. The results of the impulse noise attenuation effect is frequency-dependent mean 28.58 dB.

▶ Keywords : Impulsive Noise, Frequency Characteristics, Hearing Protection Devices, Earplug, Noise Reduction, Attenuation Effect

I. 서론

소음은 물리적 현상에 의해 발생하는 소리 가운데 사람이 불쾌하게 느끼는 소리를 의미하며 일반소음과 달리 충격소음은 고에너지, 짧은 지속시간의 특징을 갖는다. 미사일, 로켓 등은 발사 시에 강한 충격소음이 동반되며 이로 인해 운용자는 위험한 상황에 노출될 수 있다. 따라서 충격소음에 노출되는 운용자는 청각 보호를 위해 우선적으로 귀마개를 착용하여야 한다. 본 연구에서는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 특징 귀마개를 선정하여 최대피크음압이 170 dB 이상인 로켓모타에 대하여 충격소음 차음성능을 실험으로 증명하고자 하였다.

본 논문의 서론에서는 목적과 배경을 소개하고, 2장에서는 충격소음의 귀마개 차음성능에 관한 문헌검토와 연구사례를 설명한다. 3장에서는 충격소음의 실험방법을 제안하고, 4장에서는 B&K HATS(Bruel & Kjaer Head And Torso Simulator)에서의 차음성능 분석결과를 제시하였다.

본 연구는 실내 충격소음에서 귀마개 차음성능과 특성을 반영하는 감쇠효과를 제시함으로써 실내 충격소음에 대한 귀마개 선정에 기여하고자 한다.

II. 충격소음의 귀마개 차음성능

충격소음에서의 귀마개 성능에 대한 국내 연구보고는 거의 찾아보기 어렵지만 해외에서는 이 문제에 대해 활발히 연구하여 왔다. 몇 가지 연구사례를 들면 Patterson은 미군에서 사용되고 있는 3M Form types 귀마개, 3M Model 4000 귀덮개, Peltor Optime105H10P3E 헬멧 등의 다양한 청각 보호 장구를 대상으로 각각의 차음성능을 분석하였으며, Matti et al.는 다양한 종류의 화포에 대하여 정해진 청각 보호 장구를 가지고 각각의 소음원에 대한 주파수별 소음의 감쇠 특성을 연구한 바 있다[1-2]. K. Buck은 ANR(Active Noise Reduction)이 가능한 전기식 청각 보호 장구를 사용하여 소음을 상쇄시켰을 경우에 대해 분석하였다[3]. Richard Price는 실내에서 발생하는 충격소음과 인체 위험성에 대한 연구를 수행한 바 있다[4-5].

미국에서는 개인의 총기 소유가 약 25만명에 이르고 있으며, 레크리에이션으로 총기류를 사용하다가 청각 손상이나 인체 상해를 입는 수치가 매년 4.5%씩 증가하고 있다고 한다. 이에, 개인 청각 보호 장구의 운용성이 매우 중요하게 대두되고 있다[6-7]. 미국의 안전보건연구원(NIOSH: National

Institute of Occupational Safety and Health)에서는 청각 보호 장구의 소음 감소률(NRR: Noise Reduction Rate)을 측정하여 성능검증을 수행하고 있다. 귀마개는 대부분 19에서 25dB의 차음효과를 보였으며, 가장 높은 소음 감소률을 보인 것은 31dB로 보고하고 있다. 이러한 측정에 사용된 소음원은 140dB 수준의 충격소음이 평가에 활용된다. 그러나, 개인화기의 종류나 사격환경에 따라 소총은 약 165dB 수준의 레저용 개인소총도 있으며, 화기의 종류에 따라 그 보다 더 높은 음압이나 주파수를 갖는 것도 있다. 본 연구에서 평가한 소음원의 스펙트럼은 170dB 이상의 고충격소음으로 기존의 연구와 다른 주파수 스펙트럼을 갖는 것이 특징이다[8-10]. 미국의 James(2007)은 귀마개가 있을 때와 없을 때를 분석하였다. 귀마개 유무에 따라 1,000 Hz 근방에서 소음 차음효과가 작았으며 저주파에서는 낮은 저감특성을 보였다. 또한, 2,000 Hz 이상에서 높은 소음 저감 특성을 보였다[11-16]. 이러한 결과는 충격소음의 주파수 범위에 따라 차음효과의 특성이 이질적인 성격을 보인다는 본 연구의 주안점이 대두된 것이다.

III. 실험설계

본 연구에 사용된 귀마개는 3M사에서 제공되는 Foam Earplug 1110 Corded (Product Code: 0-51138-29009-7, NSN: 50051138-2900907)과 Ultra-fit Earplug (Product Code: 370-1000, NSN: 6515-01-466-2710)이다. 운용자가 귀마개를 착용하였을 경우의 귀마개 차음성능을 알아보기 위해 Bruel & Kjaer Head and Torso Simulator를 이용하여 실험하였다. Head and Torso Simulator에서의 실험결과가 예상했던 차음성능이 나오지 않았으며 이는 밀폐조건이 완전하지 못해



그림 1. Ear Simulator 형상
Fig. 1. Shapes of the Ear Simulator

서임을 확인하였다. 사용된 Head and Torso Simulator는 지속소음에 대한 성능시험에 적합하며 충격소음에 대한 실험을 수행하기 위해서는 충격소음용 Head and Torso Simulator가 필요하다. 따라서 귀마개의 정확한 차음성능을 확인하기 위해 Ear Simulator를 사용하기로 결정하였으며 시중에 판매되는 Ear Simulator의 한계음압이 170 dB 이하 뿐 이어서 직접 Ear Simulator를 제작하여 실험을 실시하였다. 다음의 그림 1은 제작한 Ear Simulator이다.

Ear Simulator에 사용된 음압센서는 Bruel & Kjaer 4944A이며, 자체 제작한 Ear Simulator의 형상은 GRAS사의 RA0045모델과 동일한 형상으로 제작하였으며, 압력범위로 최대 182 dB까지 음압레벨을 측정할 수 있는 것이며, 측정 시 데이터 수집속도는 100,000 Hz 로 하였다. Data처리는 NI board를 사용하여 20 채널 데이터를 처리할 수 있도록 하였다. 동시 처리를 위해서 신호를 동기화한 NI board를 통하여 측정 데이터를 수집하였다. Fourier변환과 A-weighting을 적용한 이후 밴드 주파수 내의 PSD(power spectrum density)를 합하는 방식으로 계산하였다. 또한, 마이크로폰, Head and Torso Simulator와 함께 측정 가능하며, 데이터를 획득하여 비교할 수 있도록 하였다. 측정의 신뢰성을 확보하기 위해서 한국표준과학연구원에서 검증시험을 실시하였다. 모든 음압센서의 높이는 바닥에서 120 cm이며, 음압센서에는 방풍망을 설치하여 바람으로 인한 풍잡음의 영향을 최소화 하였다.

IV. 실험결과

Bruel & Kjaer Head And Torso Simulator에서의 차음성능은 다음의 그림 2와 같다.

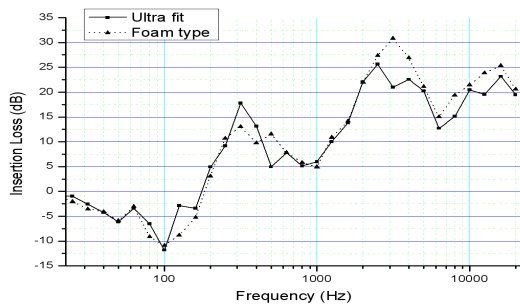


그림 2. B&K HATS에서의 차음성능 분석결과
Fig. 2. Insertion Loss of B&K HATS

그림 3은 측정이 제대로 된 경우와 그렇지 않았을 경우의 패턴을 보여주며 Bruel & Kjaer Head And Torso Simulator를 이용하여 측정된 결과는 측정이 제대로 이뤄지지 않은 경우와 매우 유사하다. 500 Hz 이하 영역에서 음압이 증가되는 패턴도 동일함을 알 수 있다[13-15].

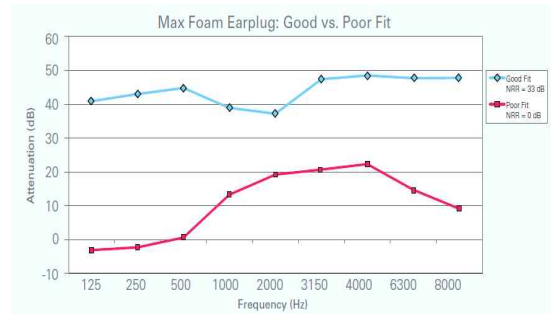


그림 3. 착용상태에 따른 음압 감소 결과 비교
Fig. 3. Attenuation of Earplug : Good vs Poor Fit

이러한 결과에 대한 원인을 분석해 보면, 현재 사용하고 있는 상용화된 머리 모형의 경우 컷구멍의 내경이 1/4"이고 내부에 1/4" 마이크로폰이 있다. 컷구멍의 내경이 작기 때문에 귀마개를 설치하는 경우 컷구멍에 귀마개가 완전히 밀착되지 못하고 틈이 생겨 이 경로를 통해 음이 투과되는 것으로 사료된다. 하지만 같은 조건일지라도 음압레벨이 낮은 무향실에서는 틈새가 크지 않기 때문에 음을 적절하게 저감시킬 수 있지만 충격소음과 같이 음압레벨이 큰 경우는 이들 틈새를 강한 충격음이 더 확산되는 효과로 인해 쉽게 투과하는 것으로 분석된다. 따라서 틈새를 줄이기 위해 실제 귀의 내부 구

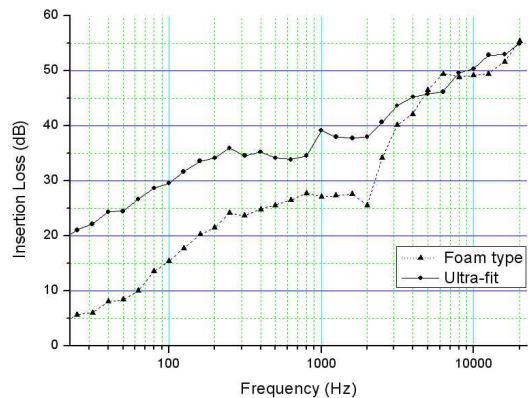


그림 4. Ear Simulator에서의 차음성능 분석결과
Fig. 4. Insertion Loss of Ear Simulator

조와 유사하게 컷구멍의 크기를 수정해서 Ear Simulator를 제작하여 평가를 해 보았다. Ear Simulator를 사용한 차음 성능 결과는 그림 4와 같다.

완전밀폐가 이루어진 상태에서 시험한 결과 충격소음에서의 귀마개 차음성능은 Foam 1110은 평균 26.7247 dB (± 14.3935)이며, Ultra-fit은 평균 28.5809 dB (± 13.3139)로 확인되었다. 또한, 2가지 타입의 귀마개를 통계분석한 결과, 차음성능은 유의한 차이를 보였다($P < 0.001$). Ear Simulator에서 차음성능을 분석하였다[16-17]. 상대T 검정을 수행한 결과는 다음의 표 1에서와 같다.

표 1. Ear Simulator의 차음성능 상대T검정 분석 결과
Table 1. Attenuation Result of Pair T-test for Ear Simulator

Earplug Type	Original Sound -3M Foam1110	Original Sound -Ultrafit	3M Foam1110 -Ultrafit
Average	26.7247	28.5809	1.8561
SD	14.3935	13.3139	5.8778
Ave. of SE	0.4249	0.3931	0.1735
T value	62.882	72.703	10.695
DF	1146	1146	1146
P value	0.000	0.000	0.000

V. 결론

충격소음에 대한 귀마개 차음성능을 확인해 보았다. 사람과 비슷한 형상을 구현한 B&K HATS를 이용하여 초기 시험하였으나 완전밀폐가 되지 않아 적절한 결과를 얻지 못하였다. 이후 완전밀폐를 구현한 Ear Simulator를 제작하여 귀마개의 차음성능을 확인하였다. 완전밀폐가 이루어진 상태에서 시험한 결과 충격소음에서의 귀마개 차음성능이 어느 정도 인지를 알 수 있었다.

귀마개와 음압센서 사이의 밀폐된 공간에서 발생한 200 Hz 이하 주파수가 발생하지 않도록 시험 환경을 개선한다면 더욱 정확한 주파수 특성을 파악할 수 있을 것이다. 1 kHz 이상의 고주파 대역에서는 모든 보호장구가 양호한 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있으며, 저주파 대역으로 갈수록 성능이 저하됨을 알 수 있다. 200에서 1,000 Hz의 저주파 영역에서는 청각 보호 장치의 차음효과가 5에서 18 dB인 것으로 나타났으며, 200 Hz 이하에서는 주파수별 음압레벨이 오히

려 증가하는 경향을 보였다. 원인을 분석한 결과, 귀마개와 B&K HATS 귀속의 음압센서 사이에는 밀폐된 공간이 형성되며 이 공간에서 충격소음의 잔향이 지속되어 저주파 대역의 음압레벨이 증가했기 때문인 것으로 판단된다. 청각 보호 장치에 대한 전체 음압레벨의 감소크기는 제시된 그림 3에서와 같다. 이러한 결과는 하나의 지표로 사용하기에 무리가 없을 것으로 판단된다. 본 연구결과는 피크음압레벨의 경우 결과의 편차가 심한 편이지만 전체음압레벨의 경우 일관성을 보인다는 장점이 있다. 최대음압레벨이 증가하는 원인을 확인하기 위해서 실내외에서 측정된 시간-압력 데이터를 FFT하여 1/3 옥타브 밴드 영역별 음압으로 나타내어 분석하면, 모든 주파수 영역에서 음압이 증가함을 보였으며 특히 100 Hz 이하 저주파 영역에서 차이가 급격하게 커짐을 확인할 수 있었다.

본 연구결과에서는 기존의 연구들과 비교해 볼 때, 충격소음원이라 할지라도 대부분 140 dB 수준의 고충격 소음원이었으나 그보다 더 높은 수준의 충격 소음원이라는 특징을 가지고 있다. 주파수별 충격소음의 차음효과는 평균 28.58 dB인 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 향후, 실내 충격소음에 대한 차음성능을 반영하는 현장 운용 지표로 활용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Patterson J. H., and Johnson D. L., "Temporary Threshold Shifts Produced by High Intensity Freefield Impulse Noise in Humans Wearing Hearing Protection", USAARL Report No.94-46, pp.3-16, 1994. 8.
- [2] Matti E Ylikoski, Jussi O Pekkarinen, "Physical Characteristics of Gunfire Impulse Noise and Its Attenuation by Hearing Protectors", Scand Adiol, No. 24, pp.3-11, 1995.
- [3] Buck K., "Performance of Hearing Protectors in Impulse Noise", RTO HFM Lecture Series, 2000, 6
- [4] Richard G. Price, "Firing Recoilless Weapons from Enclosures", Technical Memorandum 20-91, U.S. Army Human Engineering Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD, pp.39-48, 1991.
- [5] Richard G. Price, "Firing from Enclosures with 90mm Recoilless Rifle : Assessment of Acoustic Hazard", Technical Memorandum 11-78, U.S. Army Human Engineering Laboratory, Aberdeen

- Proving Ground, MD, pp.1-14, 1978.
- [6] Branch, M.P. "Comparison of Muzzle Suppression and Ear-level Hearing Protection in Firearm Use." pp.1-8, 2011.
- [7] National Institute on Deafness and Other Communication Disorder, National Institutes of Health. Noise-induced hearing loss. <http://www.nidcd.nih.gov/health/hearing/noise.asp>. Accessed July 14, 2010.
- [8] Berger E.H., Royster L.H., In search of meaningful hearing protector effectiveness. *Spectrum*. 13(supp 1): pp.29, 1996.
- [9] Berger E.H., Franks J.R., Lindgren F., International review of field studies of hearing protector attenuation. In Axelsson A, Borchgrevink H., Hanerik R.P., Hellstrom P, Henderson D, Salvi RJ, eds. *Scientific Basis of Noise-Induced Hearing Loss*. NewYork, NY Thieme, pp.361-377, 1996. 3.
- [10] Paul D. Fedele, Mary S. Binseel, Joel T. Kalb, and G. Richard Price. "Using the Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans (AHAHAH) With Hearing Protection Software, Release MIL-STD-1474E." ARL-TR-6748, US Army Research Laboratory Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5425, pp.148-149, 2013.12.
- [11] James, L. "Hearing Protection Evaluation for the Combat Arms Earplug at Idaho National Laboratory." Idaho National Laboratory, pp.4-17, 2007.
- [12] Hard Leight Lab, "Assessing Fit Effectiveness of Earplugs", Hard Leight Acoustical Laboratory, pp.1-7, 2008. 8.
- [13] Kalb J. T. "An Electroacoustic Hearing Protector Simulator that Accurately Predicts Pressure Levels in the Ear Based on Standard Performance Metrics." ARL-TR-6562: U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD. 2013.
- [14] K Amrein, B.E. and Letowski, T.R. "High level impulse sounds and human hearing: Standards, physiology, quantification." ARL Technical Report ARL-TR-6017, U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD. 2012.
- [15] Amrein, B.E. and Letowski, T.R. "Military noise limits: How much is too much?", Proceedings of the 41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2012), New York, 2012.
- [16] SungHak Chung, "Development of Eco driving Simulator Module for Economical Driving", The Korea Society of Computer and Information Vol.14, No.7, pp.151-160, Sept. 2009.
- [17] SungHak Chung, "A Study of the Infantry Backpack System for Portability and Mobility Performance", The Korea Society of Computer and Information Vol.19, No.3, pp.155-161, March. 2014.

저 자 소 개



정 성 학 (Sung-Hak Chung)

1995 : 동국대학교
안전공학과 공학사
1997 : 경기대학교 대학원
산업공학과 공학석사
2002 : 경희대학교 대학원
산업공학과 공학박사
2003 : 한국철도기술연구원 연구원
2004 : Univ. of Central Florida
IST 연구원
2007 : 한국건설기술연구원
첨단교통연구실 선임연구원
2011~현재 : 국방과학연구소
현공체계개발단 선임연구원
관심분야 : 지능형교통체계, 체계공학,
인간공학
E-mail : shc@add.re.kr



송 기 혁 (Kee-Hyeok Song)

2004: 충남대학교 기계공학과 공학사
2009: 충남대학교 대학원
기계공학과 공학석사
2011: 충남대학교 대학원
기계공학과 박사수료
2011~현재: 국방과학연구소
미래추진기술센터 연구원
관심분야: 충격과, 충격소음
E-mail : songgh@add.re.kr