

실내 충격소음 측정시스템 구현에 관한 연구

송기혁, 정성학*

A study of the measurement systems implementation for the interior impulse noise

Kee-Hyeok Song, Sung-Hak Chung*

요약

본 연구의 목적은 170dB 이상의 고충격 소음원에서 실내 충격소음을 측정·평가 할 수 있는 측정시스템 구축 방법을 제안하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 실내 충격소음 측정시스템용 시험장을 설계 및 구현하고, 충격소음 측정용 마이크로폰, Head & Torso Simulator, Ear Simulator를 구성하였다. 충격소음 측정 시 정확한 측정을 위하여 3가지 측정방법을 동시에 측정할 수 있도록 구현하였으며, 정확성과 신뢰성을 위하여 3가지의 실내 충격소음 측정값을 상호 비교하였다. 3가지 측정방법에 따른 최대음압레벨과 옥타브 밴드 결과를 비교 분석함으로써 실내 충격소음의 주파수 특성에 따른 차이점을 확인하였다. 이러한 결과는 반사파의 영향에 의한 것으로 판단된다. 이에, 시험장의 크기를 변형하면서 측정할 수 있도록 실내 충격소음 측정시스템을 구현하였다. 본 시스템 구현을 통하여, 충격 소음원의 특징분석과 해당 주파수별 스펙트럼의 반사파 영향들을 파악할 수 있을 것이며, 향후, 실내 충격소음에 대한 데이터 획득 및 분석을 위하여 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

▶ Keywords : 이어 시뮬레이터, 헤드 & 토르소, 충격소음 측정방법, 옥타브밴드, 한계음압

Abstract

The objective of this study is to propose the measurement system implementation method for the evaluation and measurement of the indoor-impulsive over 170 dB noise source. For the purpose of measuring impulse noise, design and implementation constructed followed subsystems of the testing center, microphone, ear simulator, head and torso simulator and so on. Measurement systems for the accuracy and reliability of impulse noise are implemented when measuring 3 ways of measurements method by the simultaneous measurement system design. For the accuracy and reliability of three mutually indoor-impulse noise measurements were compared, three kinds of

•책임저자 : 정성학 • 교신저자 : 정성학

•투고일 : 2014. 5. 22, 심사일 : 2014. 6. 2, 게재확정일 : 2014. 6. 11.

* 국방과학연구소 (Agency for Defense Development)

measuring methods in accordance with the peak sound pressure level and octave band. Comparing the results of data, the indoor-impulse noise by analyzing a frequency characteristic was validated in difference for the statistical significance. Result are determined by the influence of the reflected wave. Therefore, the flexible size of the interior test site while interior impulse noise measurement system was constructed. Throughout this system can be affected by parameters that are the impulse noise source and the corresponding frequency-characteristic analysis to determine the spectrum of the reflected wave. And, in the near future, indoor impulse noise measurement systems for acquisition and analysis are utilized in useful data.

▶ Keywords : Ear Simulator, Head and Torso, Impulsive Noise Measurement Method, Octave Band, Limited Sound Level

I. 서 론

본 연구에서는 실내 충격소음을 평가하기 위해서 측정시스템을 제안하였다. 실내 충격소음 측정시스템 구현을 위하여 시험장을 설계 및 구현하고, 충격소음을 측정하기 위해서 마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터 등으로 구성하였다. 충격소음 측정 시 정확한 측정을 위하여 3가지 측정방법(마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터)을 동시에 측정할 수 있도록 구현하였으며, 정확성과 신뢰성을 위하여 3가지의 실내 충격소음 측정값을 상호 비교하였다. 3가지 측정방법에 따른 최대음압레벨과 옥타브 밴드 결과를 비교 분석함으로써 실내 충격소음의 주파수 특성에 따른 차이점을 확인할 수 있도록 하였으며, 동일 소음원에 대해 동시에 데이터를 수집하여 그 결과를 비교함으로써 측정방법에 따른 차이점을 발견하여 현장 활용을 위한 기초데이터를 제공하는 것이다.

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[1-4]. 따라서 충격소음에 노출되는 운용자는 청각보호를 위해 우선적으로 귀마개를 착용하여야 한다. 본 연구에서는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 특정 귀마개를 선정하여 최대피크음압이 170 dB 이상인 로켓모터에 대하여 충격소음 차음성능을 검증하는 실험을 수행

하였다.

본 논문의 서론에서는 목적, 배경, 개요를 소개하고, 2장에서는 실험방법 및 측정시스템 구현을 설명한다. 3장에서는 측정시스템 검증, 4장에서는 측정시스템의 활용을 기술하였다. 또한, 5장에서는 결론과 기대효과를 기술하였다. 본 연구는 실내 충격소음을 평가하기 위한 측정시스템을 구현함으로써 실내 충격소음 측정데이터를 산출하는데 기여하고자 한다.

II. 실내 충격소음 측정시스템 구축

충격소음 평가를 위하여 실내 시험장을 구축하였다. 크기는 25에서 50 m³의 3차원 공간에서 충격소음을 측정할 수 있도록 하였으며, 뒷벽을 앞뒤로 이동시키는 방법으로 체적크기를 조절할 수 있도록 설계하였다. 소음원으로부터 0.5m 떨어진 곳에 마이크로폰을 위치시키고, 벽 재질은 콘크리트로 하였다. 발사창과 옆문, 카메라 촬영을 위하여 설치창을 제작하였으며 모두 열린 상태로 실험할 수 있도록 하였다. 이와 같이 실내 시험장을 구축한 이유는 실내체적 및 내부재질에 대해서 데이터를 가능한 최대로 확보하기 위함이며, 체적변화와 벽 재질의 변화가 용이(콘크리트벽면, 목재(합판), 모래(모래사대))하도록 설계하였으며, 음압특성에 문제가 없도록 시험장을 구현하였다. 실내에서 문을 개폐하는 시험조건에 따라 음압특성이 달라질 수 있어 시험장 후방부에 개폐가 가능한 콘크리트 도어를 제작 설치하였다. 시험장 내부는 정면의 발사창, 고속카메라 관측용 투시창, 출입문(시험조건에 따라 개/폐)을 제외하고 전체 밀폐가 되어야 하므로 이를 위해 벽

이음새 위에 고무막을 부착하였다. 시험장은 시험조건 변경에 따른 시험장 운용 및 시험 시에 구조적으로 안전에 문제가 없도록 강건하게 설계하였다. 다음의 그림 1은 평면의 구조도를 도시하였으며, 시험장에 설치한 마이크로폰의 설치 위치와 수량을 표시한 것이다.

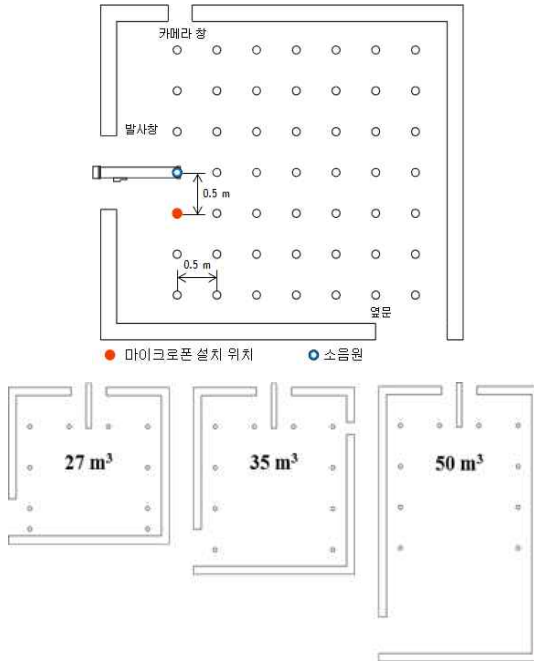


그림 1. 시험장 평면 구조도
Fig. 1 Test Site's Top Structure view

다음의 그림2는 평면도를 도시한 것으로 창과 문을 비롯하여 높이와 두께를 도식한 것이다.

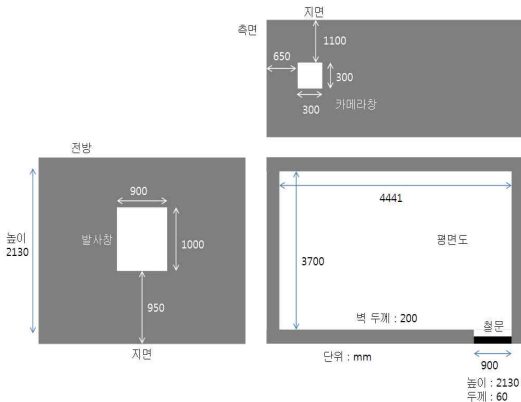


그림 2. 시험장의 크기사양(평면도)
Fig. 2 Test Site's Specification (Frontal view)

측정의 신뢰성을 확보하기 위해서 마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터를 제작하여 데이터들 간의 상호 검증을 수행하였다. 다음의 그림 3은 사용된 마이크로폰이다. 마이크로폰(B&K 4944A)은 1/4" 콘덴서 압력형으로 최대 182 dB까지 측정이 가능하고 측정 시 데이터 수집 속도 (Sampling Rate)는 100,000 Hz 이다. 마이크로폰은 지상에서 1.2 m 높이에 위치하며 마이크로폰에는 방풍망(wind screen)을 설치하여 바람으로 인한 풍잡음의 영향을 최소화하였다.

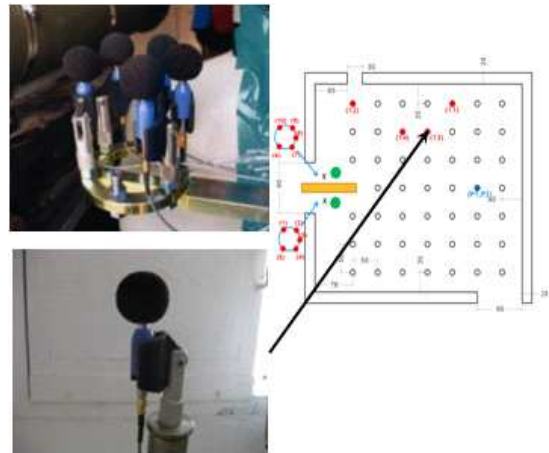


그림 3. 마이크로폰
Fig. 3. Microphone

마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터를 이용한 측정방법 외에 이어 시뮬레이터를 이용한 충격소음 측정방법을 비교하게 된 것은 동일 소음원에 대하여 최대음압레벨을 측정하고 패턴을 파악하기 위해서 사용한다.

다음의 그림 4는 측정의 신뢰성과 정확성을 확보하기 위하여 측정방법 간의 결과에 대해 비교 분석을 할 수 있는 이어 시뮬레이터 측정시스템을 동시에 구현하였다. 그림 4는 GRAS사의 상용 이어 시뮬레이터를 참고로 하여 자체 제작한 이어 시뮬레이터이다. 자체 제작한 이어 시뮬레이터는 한계음압이 185 dB 이상인 고성능 음압센서를 이용하여 205 dB까지 충격소음을 측정할 수 있도록 이어 시뮬레이터를 제작하였으며, 마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터와 함께 측정한 데이터를 획득하여 비교할 수 있도록 하였다[4-8].

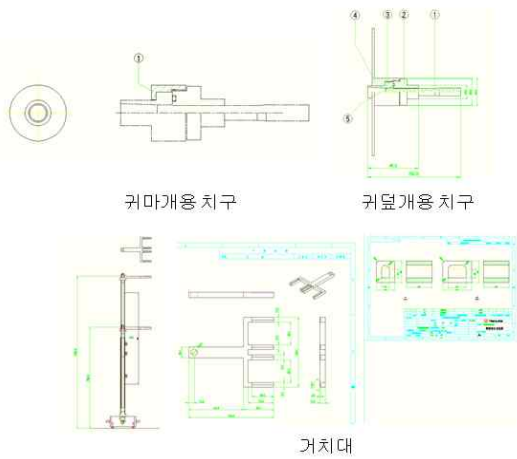


그림 4. 자체제작 이어 시뮬레이터
Fig. 4. Ear Simulator

헤드 & 토르소 시뮬레이터에 사용된 음압센서는 B&K 4944A로 마이크로폰과 동일하며, 소음원에 대한 음압 측정 위치도 동일한 조건에서 시행하였다. 충격음을 측정하기 위해 최대 음압이 180 dB까지 견딜 수 있는 마이크로폰(B&K 4944A)을 사용하였다. Data 처리는 NI board를 사용하여 20채널 데이터를 처리할 수 있도록 하였다. 동시 처리를 위하여 신호를 동기화한 NI board를 통하여 측정 데이터를 수집하였다. 데이터 수집 속도는 100,000 Hz 이며, 데이터 수집을 위해서 소음원의 trigger 신호와 동기화 하였으며, trigger 신호는 0.05초에 시작하였다. 1/3 옥타브 밴드 음압은 1.0초 동안의 음압신호에 대해서 Fourier 변환과 A-weighting을 적용한 이후 밴드 주파수 내의 PSD(Power spectrum density)를 합하는 방식으로 계산하였다. Matlab를 통하여 측정된 시간-압력 데이터와 이를 가지고 주파수 범위(100 Hz 이상의 고주파 성분을 제거하는 100 Hz Low-pass filter 적용)에 따라 데이터를 분석하였다. 또한 저주파 음압이 피크 발생에 기여하는 것을 착안하여 저주파에 대한 스펙트럼 분석을 부가적으로 수행할 수 있도록 하였다(3-4).

음압측정의 구성은 Breul & Kjaer Head and Torso 4128-C타입을 적용(IEC 60318.4/ITU-T Rec. P.57 Type 3.3-based Calibrated Ear Simulator complying with ITU-T Rec. P.57, IEC 60318.4 and ANSI S3.25 표준) 하였으며, Built-in타입의 Mouse simulators가 적용하는 모델 구성이다. 음압센서 모델은 Breul & Kjaer DeltaTron Pressure-field 1/4 inch Microphone Type 4944A, 측정의 민감도는 0.9 mV/Pa, 측정 주파수는 16 에

서 70,000 Hz, 측정범위는 48 에서 180 dB, 운용온도는 -20 에서 60도이다. 다음의 그림 5는 충격소음 평가를 위한 측정시스템 구성을 도식한 것이다.

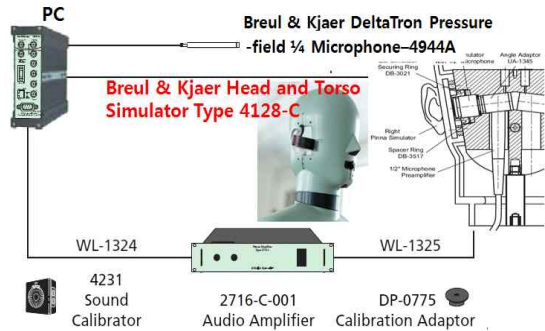


그림 5. Breul & Kjaer 헤드&토르소 시뮬레이터 측정시스템
Fig. 5. Breul & Kjaer Head & Torso Simulator Measurement system

결과분석을 위해 동일한 소음원을 대상으로 동일위치에서 헤드 & 토르소 시뮬레이터를 통해 음압을 추가적으로 측정하였다. 그림 5는 시험에 사용된 B&K사의 헤드 & 토르소 시뮬레이터이며 헤드 & 토르소 시뮬레이터에 내장되어 있는 음압센서는 B&K 4944A로 이어 시뮬레이터에서 사용된 음압센서와 동일하다. 본 측정시스템이 마이크로폰을 이용한 측정방법 외에 이어 시뮬레이터를 이용한 충격소음 측정방법을 비교하게 된 것은 동일 소음원에 대하여 최대음압레벨을 측정하고 패턴을 파악하기 위함이다. 측정의 신뢰성과 정확성을 확보하기 위하여 측정방법 간의 결과에 대해 다중비교 분석을 수행할 수 있도록 충격소음 측정시스템을 구현하였다. 카메라 장에는 고속카메라를 설치하여 측정시 발생하는 환경 파라미터를 측정하였으며, 소음원의 물리적 거동과 측정 시 영상취득을 목적으로 하였다.

III. 측정시스템 검증

측정시스템의 확인을 위하여 한국표준과학연구원 음향실에서 3가지 타입(마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터) 간의 측정시스템 데이터 검정을 수행하였다. 소음원은 140 dB로 3가지 타입 간의 비교시험을 수행한 결과, 통계적 유의차가 없었다. 170 dB 이상의 높은 실내 충격소음에서 이어 시뮬레이터가 음압측정에 미치는 영향을 확인하기 위해 귀마개를 착용하지 않은 상태의 이어 시뮬레이터와 마이크로폰에 대하여 각각의 음압을 측정하였다. 마이크로폰

에서 측정된 최대피크음압에 비해 이어 시뮬레이터에서 측정된 최대피크음압은 3dB 이상 높은 값을 보였다. 측정된 각각의 음압데이터를 FFT하여 옥타브밴드 음압레벨로 표현하면 그림 6과 같다.

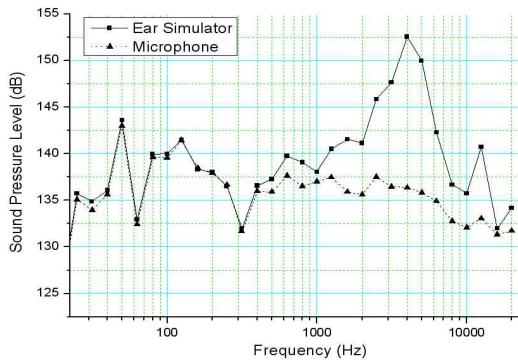


그림 6. 옥타브밴드 음압 비교(I)
Fig. 6. Comparison of Octave Band(I)

옥타브 밴드 결과를 비교·분석해보니 1kHz ~ 10kHz 대역에서의 음압 크기에서 큰 차이가 있음을 알게 되었다. 원인 분석을 위해 추가적으로 헤드 & 토르소를 통해 음압을 측정하였으며 분석결과 이어 시뮬레이터에서와 유사한 패턴을 발견하였다(6-12).

그림 7은 3가지 타입(마이크로폰, 이어 시뮬레이터, 헤드 & 토르소 시뮬레이터)에서 측정된 값들을 비교하였다. 이는 170dB 수준의 고충격 소음원에 대하여 외형에 의해 반사파가 발생하여 생긴 결과로 보인다. 이를 통해 충격소음을 측정하는 경우 측정결과가 외형의 존재 유무에 따라 크게 차이가 남을 알 수 있었다.

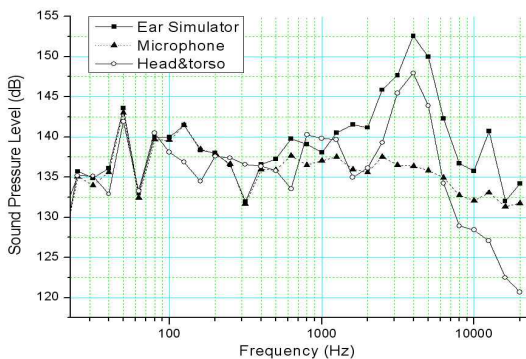


그림 7. 옥타브밴드 음압 비교(II)
Fig. 7. Comparison of Octave Band(II)

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 헤드 & 토르소를 이용하여 실험하였다. 헤드 & 토르소에서의 실험결과가 예상했던 차음성능이 나오지 않았으며, 이는 밀폐조건이 완전하지 못해서임을 확인하였다. 사용된 헤드 & 토르소는 지속소음에 대한 성능시험에 적합하며 충격소음에 대한 실험을 위해서는 충격소음용 헤드 & 토르소가 필요하다. 따라서 귀마개의 정확한 차음성능을 확인하기 위해 이어 시뮬레이터를 사용하기로 결정하였으며, 시중에 판매되는 이어 시뮬레이터의 한계음압이 170 dB 이하 뿐 이어서 직접 이어 시뮬레이터를 제작하여 실험을 실시하였다. 이어 시뮬레이터에 사용된 음압센서는 B&K 4944A이다. 사용된 음압센서는 압력형으로 최대 205 dB까지 음압레벨을 측정할 수 있는 것이며, 측정 시 데이터 수집속도는 100,000 Hz로 하였다. 모든 음압센서의 높이는 바닥에서 120 cm이며, 음압센서에는 방풍망을 설치하여 바람으로 인한 풍잡음의 영향을 최소화 하였다.

IV. 측정시스템 활용

본 연구에서는 구축된 측정시스템을 통하여 청각 보호 장치의 차음성능을 분석하였다. Breul & Kjar Head And Torso Simulator를 이용하여 측정된 결과는 측정이 제대로 이뤄지지 않은 경우와 매우 유사하다(4). 그림 8은 이어 시뮬레이터를 통하여 3M사에서 제공되는 Foam Earplug 1110와 Ultra-fit Earplug를 비교하였다. 500 Hz 이하 영역에서 음압이 증가되는 패턴도 동일함을 알 수 있다. 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 있었지만, 고충격 소음원과 같이 음압레벨이 큰 경우는 이들 틈새를 강한 충격음이 더 확산되는 효과로 인해 쉽게 투과하여 차이가 발생하는 것으로 분석된다(12-13).

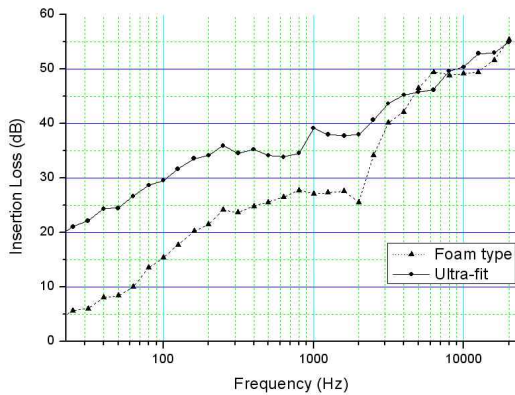


그림 8. 이어시뮬레이터에서의 분석 사례
Fig. 8. Case study of the Ear Simulator

본 연구에서는 측정프로토콜 간의 차이를 분석하였다. 그림 8은 이어 시뮬레이터를 이용한 고충격 소음원의 분석 사례이다. 이러한 결과는 이어 시뮬레이터를 활용하여 2가지 타입의 귀마개 사례를 분석한 것이다. 분석결과에 따라 1,000 Hz 이하에서는 유의차가 없었으나($p > 0.05$), 1,000 Hz에서 10,000 Hz 범위에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). 또한, 10 Hz에서 20,000 Hz 전 범위에 대해서 마이크로폰과 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터 간의 성능을 비교하기 위하여 상대 T검정을 수행하였다. 표 1은 마이크로폰과 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터 간의 성능을 비교한 상대 T검정 결과이다.

표 1. Microphone, Head and Torso Simulator, Ear Simulator 간의 상대T검정 결과
Table 1. Result of Pair T-test between Microphone, Head and Torso Simulator, and Ear Simulator

Paired method	Microphone - Ear Simulator	Ear Simulator - HATS	Microphone - HATS
Average	-4.9449	-11.4256	-6.4805
SD	6.5687	4.2756	4.7176
Ave. of SE	1.7556	1.1427	1.2608
T value	-2.817	-9.999	-5.140
DF	13	13	13
P value	0.015	0.000	0.000

원인 분석을 위하여 추가실험 결과를 분석하였다 1,000 Hz 에서 10,000 Hz 까지 측정된 결과를 분석한 결과, 실내 충격소음이라는 특성으로 인해 반사파가 발생하여 주파수 범

위에 따라 측정결과에 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 마이크로폰과 이어 시뮬레이터 간에는 유의수준 0.01에서는 유의차가 없었으나($p > 0.015$), 유의수준 0.05 수준에서는 유의차가 있었으며, 이어 시뮬레이터와 헤드 & 토르소 시뮬레이터 간과 마이크로폰과 헤드 & 토르소 시뮬레이터 간에는 모두 유의한 차이를 보였다($p < 0.000$). 이러한 특징점은 유의차가 없었던($p > 0.05$) 1,000 Hz 이하에서는 추가적인 분석이 불필요하지만, 유의차가 발생한 1,000 Hz에서 10,000 Hz 범위에서는 반사파로 인해 발생하는 영향을 추가적으로 반영해야 하는 특성이 나타났다.

V. 결론

본 연구에서는 170dB 이상의 고충격 소음원에서 실내 충격소음을 측정·평가 할 수 있는 측정시스템 구현 방법을 제안하는데 있다. 실내 충격소음 측정시스템 구현을 위하여 시험장을 설계 및 구현하고, 충격소음을 측정하기 위해서 마이크로폰, 헤드 & 토르소 시뮬레이터, 이어 시뮬레이터를 제작하였다. 충격소음 측정 시 정확한 측정을 위하여 3가지 측정방법을 동시에 측정할 수 있도록 구현하였으며, 정확성과 신뢰성을 위하여 3가지의 실내 충격소음 측정값을 상호 비교할 수 있는 시스템이다. 본 연구결과, 옥타브 밴드 분석을 통해 이어 시뮬레이터에서 측정된 음압 패턴과 결과가 유사함을 확인할 수 있었다. 또한, 충격소음 측정 시 이어 시뮬레이터 또는 헤드 & 토르소 시뮬레이터와 같이 외형이 존재하는 경우 반사파가 발생하게 되어 1kHz~10kHz 대역에서 음압이 증가하며, 그 결과 최대피크음압도 증가한다는 사실을 알 수 있었다. 따라서, 충격소음에 대한 귀마개 차음성능을 확인해 보았다. 사람과 비슷한 형상을 구현한 B&K Head & Torso Simulator를 이용하여 초기 시험하였으나 완전밀폐가 되지 않아 적절한 결과를 얻지 못하였다. 이후 완전밀폐를 구현한 이어 시뮬레이터를 제작하여 귀마개의 차음성능을 확인하였다. 완전밀폐가 이루어진 상태에서 시험한 결과 충격소음에서의 주파수 차이가 어느 정도인지를 알 수 있었다.

또한, 청각 보호 장구와 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 청각 보호 장구가 양호한 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있으며, 저주파 대역으로 갈수록 성능이 저하됨을 알 수 있다[1,3].

본 연구결과는 피크음압레벨의 경우 결과의 편차가 심한 편이지만 전체음압레벨의 경우 일관성을 보인다는 장점이 있

다. 최대음압레벨이 증가하는 원인을 확인하기 위해서 실내에서 측정된 시간-압력 데이터를 FFT하여 옥타브 밴드 영역별 음압으로 나타내어 분석하면, 모든 주파수 영역에서 음압이 증가함을 보였으며, 특히 1,000 Hz 이상 고주파 영역에서 음압 측정 결과는 유의한 차이와 급격하게 커지는 특징을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 실내 충격소음시 귀마개 필터를 통한 반사파의 잔향효과를 최소화 할 수 있는 대안이 필요한 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 반사파의 영향에 대하여 심도 깊은 연구를 수행할 예정이다.

본 연구는 실내 충격소음을 측정하기 위한 시스템 구현을 제안함으로써 충격 소음원의 특징 분석과 해당 주파수별 스펙트럼의 반사파 영향들을 파악할 수 있는 기반을 마련하였고, 140 dB 수준의 고충격 소음원 보다 더 높은 수준의 170 dB의 고충격 소음원에서도 해당 주파수별 스펙트럼 데이터를 획득, 분석, 종합 판단 할 수 있는 시험장을 제공함으로써 충격소음 분야에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Song K.H., W.R. Kang, D.J. Lee, B.H. Kong, S.G. Lee, S.S. Jeong, J.H. Park. "Experimental Study on Impulse Noise from Enclosures." The Korean Society of Propulsion Engineers Fall Conference, pp.148-149, 2013. 6.
- [2] Song K.H., J.S. Chang, C.H. Cho, D.J. Lee, S.S. Jeong, and H.S. Yoon. "Experimental Study on Impulse Noise and Performance of Hearing Protectors." 16th Proceedings of the Korea Institute of Military Science and Technology Conference Guided Weapons System, pp.302-306, 2012. 6.
- [3] Song, K.H., and S.H. Chung. "A Study of Impulse Noise for the Blocking Earplug Performance by Frequency Levels." The Korean Society of Computer and Information Winter Conference, pp.125-126, 2014. 1.
- [4] Song, K.H., and S.H. Chung. 2014. "An Empirical Review of the Measurement Method for the Impulse Noise using Ear Simulator." The Korean Society of Computer and Information Winter Conference, pp.127-128, 2014. 1.
- [5] 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.7-13, 1994. 8.
- [6] 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. 6.
- [7] Buck K., "Performance of Hearing Protectors in Impulse Noise", RTO HFM Lecture Series, 2000. 6.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Hard Leight Lab, "Assessing Fit Effectiveness of Earplugs", Hard Leight Acoustical Laboratory, pp.1-7, 2008. 5.
- [11] 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, pp.1-12. 2012. 1.
- [12] 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, pp.212-216, 2012. 1.
- [13] Price, G.R. "Impulse noise hazard: From theoretical understanding to engineering solutions." Noise Control Engineering Journal, 60 (3), pp.301-312, 2012. 5.

저 자 소 개



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: 충격파, 충격소음

E-mail : songgh@add.re.kr



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