

야간투시경 및 영상증폭관 소음 특성에 관한 연구

A Study on Noise Characteristics for Night Vision Goggles and Image Intensifier Tube

황수하[†] · 박범식^{*} · 전수홍^{*} · 이동녕^{*}

Suha Hwang[†], Beomsik Park^{*}, Soohong Jeon^{*} and Dongnyuk Lee^{*}

(Received March 23, 2023 ; Revised April 18, 2023 ; Accepted June 2, 2023)

Key Words : Image Intensifier Tube(영상증폭관), Night Vision Goggles(야간투시경), 체감소음(Human Noise), Sound Pressure Level(음압레벨), Equal Loudness Contours(등청감곡선), 순음 소음(Tonal Noise), 삽입손실(Insertion Loss)

ABSTRACT

In this study, the sound pressure levels of night vision goggles and image intensifier tube were measured, and the results were used to consider their characteristics. First, literature and previous studies were investigated to identify the cause of noise in night vision goggles, and it was determined that it was caused by the auto-gating function of the image intensifier tube. The noise measurement confirmed that the noise of the image intensifier tube was not a complex tone type noise, but a tonal noise limited to 3.15 kHz. Next, the noise was subjected to a human evaluation. Consequently, 3.15 kHz tonal noise was found to be perceivable by human ears from approximately 8 dB, and because this noise occurs in the high frequency region, it is thought that there could have been complaints from soldiers. Subsequently, as a result of checking the response characteristics of the night vision goggles through the impact hammer, the natural frequency of the night vision goggles housing was approximately 1.8 kHz, which was different from the noise of the image intensifier tube. In addition, it was confirmed that there was a sound insulation effect at 3.15 kHz due to the housing of the night vision goggles; the results of this study are expected to contribute to the noise evaluation of night vision goggles in the future.

1. 서 론

현대전에서 전투는 사람의 맨눈으로 멀리 볼 수 없는 야간에도 벌어지며, 어두운 동굴이나 전기가 들어 오지 않는 건물 내부에서도 벌어지는 등 시간과 장소를 가리지 않는다. 이러한 어려운 조건에서 주변 환경

을 확인하고, 적을 먼저 보는 것은 전투에서 승리를 위한 필수요건으로 자리매김 하고 있으며 이를 위해 발전된 것이 바로 야간투시경(night vision goggles, NVG), 줄여서 야투경으로 부르는 광학장비다.

야간투시경은 광조도가 매우 낮은 야간이나 실내에서 물체에 반사된 아주 미세한 빛을 증폭하여 야간 지형 정보 및 물체 정보를 인지하는 방식으로 작동되는

[†] Corresponding Author ; Member, Defense Agency for Technology and Quality, Reliability Test Analysis Team, Researcher
E-mail : suhah12@dtqa.re.kr

^{*} Defense Agency for Technology and Quality, Reliability Test Analysis Team, Researcher

A part of this paper was presented and at the KSNVE 2023 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Wan Ho Cho

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

장비이다. 이러한 특성을 가진 야간투시경은 세계 2차 대전 중기에 최초로 전장에 도입되었으며 현재까지 많은 기술력이 적용되어 발전하고 있다. 현재 군에서 널리 사용하고 있는 단안경 야간투시경의 형상은 Fig. 1과 같고, 대물렌즈, 영상증폭관, 접안렌즈 등 단순한 기계적 구조를 가지는 망원경과 같은 구조로 이루어져 있다. 외부의 미약한 빛이 영상증폭관을 통해 사용자가 육안으로 볼 수 있도록 증폭되는 원리로 작동하기 때문에 야간투시경의 가장 핵심적인 품목이 바로 영상증폭관(image intensifier tube, IIT)이다^(1,2).

야간투시경은 영상증폭관의 성능 개선에 따라 0세대부터 4세대까지 발전하였는데, 최근에 적용된 2~3세대 야간투시경에서부터 군 사용자들의 소음 불만이 야기되고 있다. 현재 몇몇 국내 업체에서 야간투시경을 제조하고 있지만 영상증폭관은 기술적인 한계로 인하여 모두 해외에서 도입하고 있는 실정이다. 현재까지 조달된 영상증폭관의 성능과 신뢰성(수명)에 관한 요구사항은 국방도면에 제시되어 있기 때문에 납품 기준으로 활용되고 있었지만, 소음에 대한 기준은 명확하게 명시되지 않아 야간투시경 조달에 매우 큰 걸림돌이 되고 있었다. 이러한 배경으로 인하여 최근 야간투시경의 소음기준이 수립되었지만 실제 조달품에 대한 적용 사례는 아직 존재하지 않는다. 또한 현재의 소음기준은 사용자의 체감평가를 기준으로 수립되었기 때문에 미래의 야간투시경 소음을 합리적으로 평가하기 위해서는 사용환경, 작전성, 야간투시경의 구조적 특성 및 소음특성 등을 종합적으로 고려하여 기준을 점진적으로 보완하여야 할 것이다.

미군의 경우에는 육군 산하의 연구소인 Army Research Laboratory (ARL)에서 야간투시경의 소음을 측정 및 평가하고 있다^(3,4). Jeremy Gaston et al.은 MIL-STD-1474E의 Appendix C, aural non-detect-

ability requirement에 따라 야간투시경의 청력탐지 회피 기준의 작전성능에 대하여 평가하였다⁽³⁾. 이들은 규격의 Level II 분류에 따라 10 m 밖의 적에게 탐지되지 않는 것을 기준으로 야간투시경의 작동 특성까지 고려하여 linear 모드와 AGC(automatic gain control)모드에서 소음을 측정하였는데, 이때 소음원로부터 거리는 2 m이며 1/3 옥타브 대역 레벨로 분석을 수행하였다. 측정된 결과는 규격에 제시된 각 주파수별 소음레벨을 기준으로 만족여부를 통해 야간투시경의 소음을 평가하였다. 이와 같이 미군의 경우 야간투시경의 소음에 대한 평가는 야간 작전 중 야간투시경의 소음으로 인해 적에게 탐지되지 않는 것을 목표로 하고 있다.

하지만 국내의 경우 청력탐지 회피에 추가로 야간투시경을 장착하고 있는 군인의 소음으로 인한 피로도를 줄이는 것을 목표로 하고 있으나 야간투시경소음에 대한 감성품질에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 국내의 경우, 야간투시경 소음에 대한 감성품질과 관련한 연구는 존재하지 않지만, 다른 무기체계에서 발생하는 소음으로 인한 문제를 해결하고자 하는 연구는 일부 존재한다. 최근 소요군은 내구도, 고/저온 및 충격 등 가혹한 환경에서의 일차원적인 품질보다 고차원적인 감성품질에 대하여 요구하고 있는 추세이다. 이에 따라 Lee et al.은 군용 웨도장비의 감성품질을 만족시키고자 디젤엔진 보조동력장치의 구조기인소음과 공기기인소음을 저감하는 연구를 수행하였다⁽⁵⁾.

이와 같이 야간투시경 및 영상증폭관의 작전성능과 감성품질 및 사용자 만족도 제고를 위해서는 소음의 원인을 파악하고 설계방안을 보완하는 것이 직접적인 해결책이지만, 국내의 기술적 한계로 인하여 영상증폭관은 모두 해외에서 도입되고 있어, 설계변경이 제한된다. 이러한 상황에서 야간투시경 소음평가 기준과 방법 등을 명확하고 합리적으로 설정하여 일정 소음 수준을 만족하는 제품이 도입될 수 있도록 하는 것이 현재로서는 최선의 방법이다. 이를 위해 이 연구에서는 군으로부터 소음 불만이 제기된 야간투시경 및 영상증폭관을 확보하여 야간투시경 소음이 발생하는 원인을 파악하고 소음 특성 등을 파악하였다. 또한 신호발생기와 스피커를 통해 소음을 모사하여 사용자가 직접 체감소음을 평가하였고, 야간투시경과 영상증폭관간의 구조적 특성 또한 파악하였다.

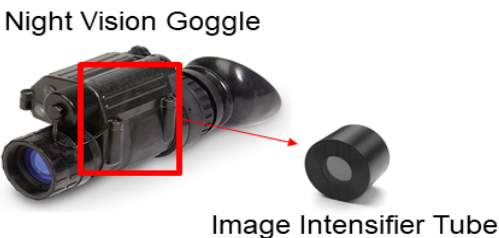


Fig. 1 Shape of NVG and IIT

2. 시험 방법

2.1 야간투시경 소음 발생원인

서론에서 언급하였듯이 야간투시경은 영상증폭관을 제외하면 대물 및 접안렌즈로 구성되어 있는 망원경과 같은 구조이다. 야간투시경에서 발생하는 소음은 정확한 원인이 규명된 바는 없지만, 구조적 특성상 영상증폭관이 작동하면서 발생하는 소음으로 보인다. 다시말하면 영상증폭관에 입사된 미약한 빛이 증폭되는 과정에서 발생하는 소음이라고 추정할 수 있다.

Fig. 2⁽⁶⁾에서 나타낸 것과 같이 영상증폭관의 광음극(photocathode)으로 미약한 빛(exisiting ambient light)이 입사하면 광전자(photoelectron)가 생성된다. 이후 마이크로 채널 플레이트(micro channel plate, MCP)를 지나며 전자가 증폭되고, 증폭된 전자가 형광체 화면(phosphor screen)에서 발광하며 상이 맺히게 된다. 이때 광음극에서 생긴 전자 이온들이 MCP 내에서 전자, 정공 쌍으로 증폭이 되고, 전압에 의해서 정공은 광음극 방향으로, 전자는 형광체 화면 방향으로 이동한다. 이 과정에서 갑자기 밝은 빛이 입사되었을 때, MCP에서 생성된 정공이 광음극 방향으로 빠르게 이동하여 광음극에 충돌하기 때문에 광음극을 파손시켜 영상증폭관의 수명이 줄어들게 된다. 이러한 기술적 한계를 보완하기 위해 최근에 오토게이팅(auto-gating)기능이 도입되었다.

오토게이팅은 Fig. 3⁽⁶⁾과 같이 광음극과 MCP 사이에 펄스(pulse) 전압을 공급하여 외부 환경 밝기 변화에 따라 자동으로 밝기를 조절하는 기능으로 MCP 내부에서 생성된 정공으로 인한 광음극의 파손을 막아주는 기능이다^(1,6).

위와 같은 오토게이팅 기술 적용으로 영상증폭관의 광음극의 수명은 증가하였지만, 오토게이팅 동작

시 순음(tonal) 성분의 소음이 발생하는 것으로 보고되고 있으며^(3,4) 이로 인해 군 사용자의 불만이 제기되고 있다. 영상증폭관은 내부가 진공으로 구성되어 있기 때문에 내부의 전기적 현상을 측정 및 분석하기 위한 분해는 불가능하다. 따라서 앞서 언급한 것과 같이 정확한 소음 발생원인을 규명하는 것은 어려운 실정이다. 하지만 Jeremy Gaston et al.도 영상증폭관의 오토게이팅 기능으로 인하여 AGC 모드에서 기계적 진동으로 인한 가청음이 발생한다고 언급⁽³⁾하고 있기 때문에 이를 종합해보면 내부 전기적 신호의 변동에 의해 소음이 발생하는 것으로 추정된다.

이 연구에서는 가장 먼저 오토게이팅으로 인한 소음의 특성을 파악하기 위해 Fig. 4와 같이 군으로부터 고장으로 분류된 영상증폭관 시료를 획득하였다. 여기서 고장 시료는 전원 인가 시 소음이 발생하는 시료로 정의하였다. 이중에서 소음이 가장 크게 발생하는 2개의 시료를 선별하여 소음을 측정하였다.

2.2 영상증폭관 소음 특성

영상증폭관의 소음을 계측하기 위해 마이크로폰(B&K사, Type 4189A)과 데이터수집장치(FFT Analyzer, B&K사, Type 3053-B-120) 사용하였으며 영상증폭관 시험 시 주변 밝기를 계측하기 위해 조도계(Gigahertz optik사 Model P9710)를 사용하였다.

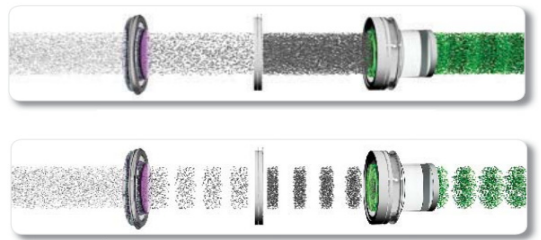


Fig. 3 Principle of auto-gating function in IIT

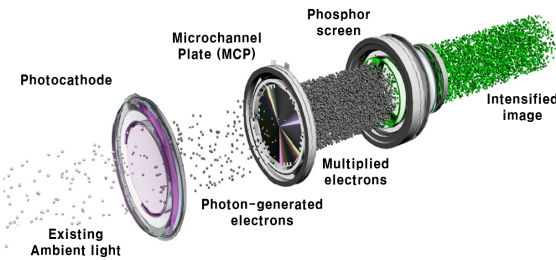


Fig. 2 Principle of IIT



Fig. 4 Test sample

이때 영상증폭관에 입사할 수 있는 광원 장치는 5700 K 색온도를 갖는 전구와 밝기 조절이 가능한 조광기를 사용하여 자체적으로 제작하였으며 그 형상과 전체적인 시험 셋업은 Fig. 5와 같다. 입사되는 광량의 세기는 조도계를 활용하여 영상증폭관 위치에서 0.0 lx부터 0.5 lx까지 조절하였고, 측정 거리는 1 cm 부터 15 cm까지 각 4개 방향에서 음향 압력을 측정하였다. 앞선 선행연구^(3,4)와 같이 작전성능을 평가하기 위하여 MIL-STD-1474E Appendix C, aural non-detectability requirement에 제시된 바와 같이 2 m 거리에서 소음을 측정하려고 하였지만 소음의 세기가 작아 계측이 되지 않았기 때문에 가까운 거리에서 소음을 측정하였다.

소음 측정 및 분석을 위한 주파수 분석은 FFT 분석과 1/3 옥타브 밴드를 사용하여 100 Hz ~ 10000 Hz 까지 분석을 수행하였다. 또한 소음을 측정할 결과를 기반으로 영상증폭관 소음이 사람에게 미치는 수준을

정량화하기 위해 체감소음 평가를 수행하였다.

체감소음 평가는 신호발생기(Nti-Audio사, MR-PRO)와 무지향성 스피커(Larson Davis사, Model BAS001)를 이용하여 3.15 kHz 순음(tonal) 성분의 영상증폭관 소음을 모사하였다. 음압은 배경소음 수준인 5 dB부터 음량을 조금씩 증가시키며 평가하였으며 설정한 각각의 해당 음압 수준에서 사람이 인지가능한 수준, 거슬리는 수준, 못 참을 수준을 평가하였다. 시험의 전체적인 장비 셋업과 시험의 모습을 Fig. 6에 나타내었다.

2.3 야간투시경 구조적 특성

앞절에서 야간투시경의 소음은 곧 영상증폭관에서 기인한다고 언급한바 있다. 하지만 영상증폭관에서 소음이 발생한다고 하더라도 야간투시경 내에 장착되면 외부로 노출되는 소음 세기에는 차이가 존재할 수 있는데, 이러한 야간투시경의 구조적 특성 파악을 위해 시험을 수행하였다. Figs. 7, 8에 나타난 것과 같이 영상증폭관의 소음을 소형 스피커 및 신호발생기로 모사하여 스피커 직상부에서 소음을 계측하였고 이후 스피커를 야간투시경 안에 삽입한 후 동일 지점에서 소음을 계측하여 야간투시경 하우징의 삽입손실을 계측하였다.

일반적으로 가진음에 대해 구조물에 공진이 발생되면 음향 삽입손실은 급격히 줄어들기 때문에 시험 대상 야간투시경에 대한 고유진동수를 파악하기 위해

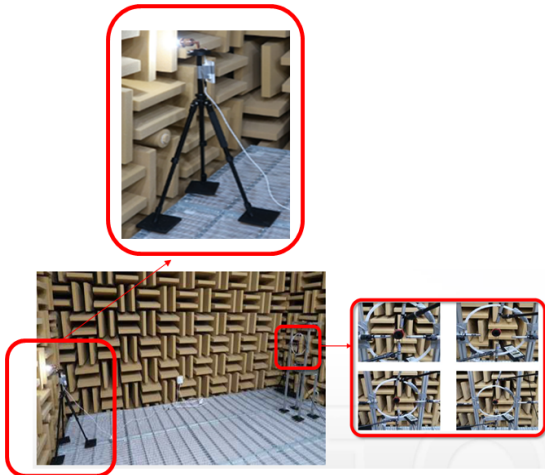


Fig. 5 Setting of test for noise measurement



Fig. 7 Speaker and signal generator

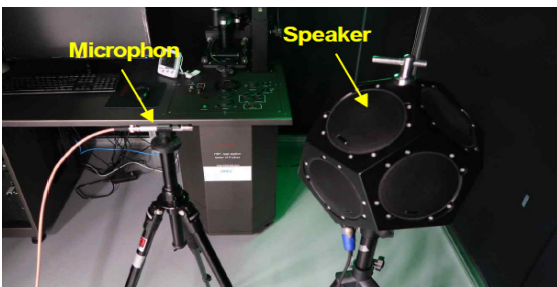


Fig. 6 Setting of test for human evaluation



Fig. 8 Method for insertion loss test



Fig. 9 Modal test for NVG housing

Fig. 9와 같이 임팩트 해머를 이용하여 모달시험을 수행하였다.

이때 임팩트 해머는 B&K에서 제조한 Type 8206-002 모델을 사용하였다. 소음 시험은 Fig. 8과 같이 삼각대에 야간투시경을 고정시킨 상태에서 수행하였기 때문에 모달시험 역시 Fig. 9와 같이 동일 조건에서 수행하였다. 모달 시험 시 야간투시경과 삼각대의 무게가 가속도계의 무게 대비 매우 크므로 가속도계의 무게에 의한 고유진동수 변화는 무시하였다.

소형 스피커에 의한 야간투시경 하우징의 음향삽입손실과 실제 영상증폭관 소음에 대한 야간투시경 하우징의 음향삽입 손실을 비교평가가기 위해서 최종적으로 소음이 가장 크게 발생하는 영상증폭관을 선별하여 야간투시경에 조립 후 야간투시경 하우징으로 인한 음향삽입손실을 확인하였다.

3. 시험 결과

3.1 영상증폭관 소음 특성

이 연구에서 다루는 영상증폭관의 소음은 Fig. 10과 같이 순음(tonal) 성분의 소음을 가지며 순음 발생 주파수 외 다른 주파수에서의 소음은 거의 없음을 알 수 있다. 제조사 및 제품별 순음 발생 주파수가 조금씩 다르기 때문에 하나의 주파수를 지정하여 평가하기가 어려우며 Fig. 10과 같이 해당순음의 옥타브밴드 레벨에 대한 영상증폭관의 순음레벨의 기여도가 대부분이므로 영상증폭관의 소음특성은 해당 순음 성분이 포함되어 있는 1/3 옥타브 밴드의 소음레벨을 가지고 평가하였다.

영상증폭관 시료 1, 2번에 대하여 거리조건(1cm,

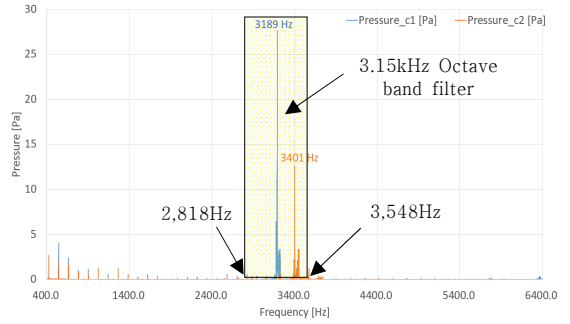


Fig. 10 The characteristic of the tonal sound from the IIT at 0.5 lx, 0.1 cm apart

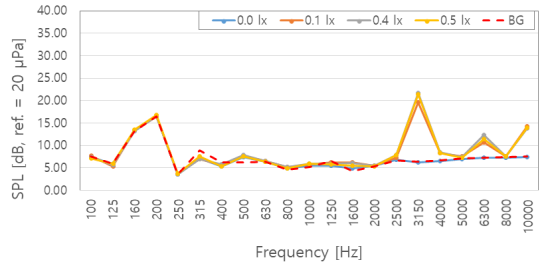


Fig. 11 Measurement results of SPL according to frequency (sample 1, 1 cm)

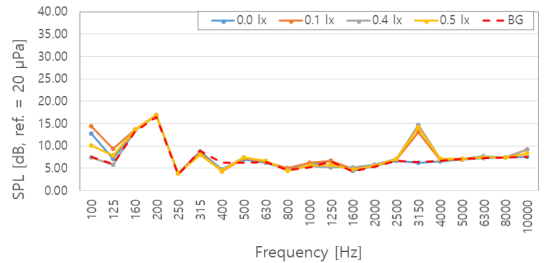


Fig. 12 Measurement results of SPL according to frequency (sample 1, 5 cm)

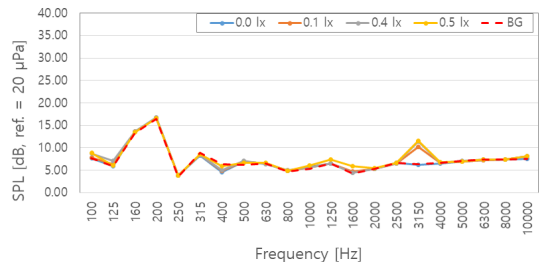


Fig. 13 Measurement results of SPL according to frequency (sample 1, 10 cm)

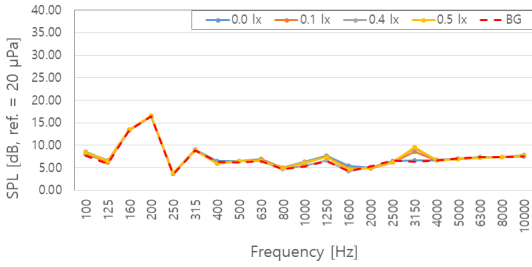


Fig. 14 Measurement results of SPL according to frequency (sample 1, 15 cm)

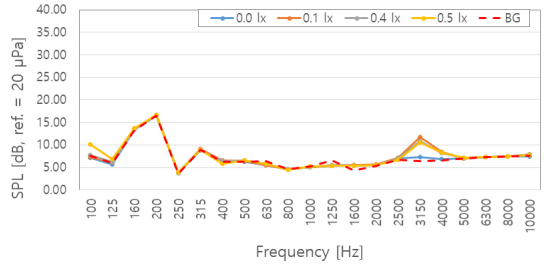


Fig. 18 Measurement results of SPL according to frequency (sample 2, 15 cm)

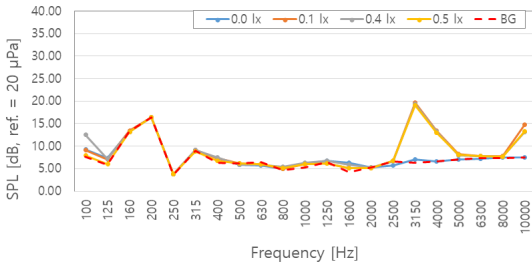


Fig. 15 Measurement results of SPL according to frequency (sample 2, 1 cm)

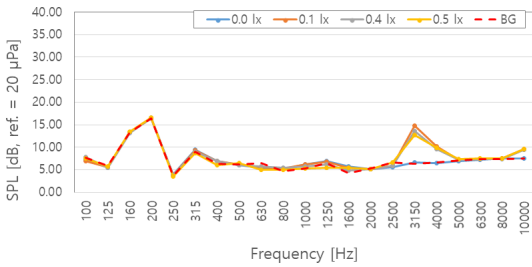


Fig. 16 Measurement results of SPL according to frequency (sample 2, 5 cm)

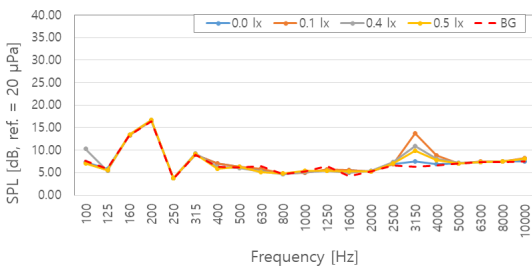


Fig. 17 Measurement results of SPL according to frequency (sample 2, 10 cm)

5 cm, 10 cm, 15 cm)과 밝기조건(0.0 lx, 0.1 lx, 0.4 lx, 0.5 lx)에 따라 1/3 옥타브 대역으로 소음을 측정하여 Figs. 11 ~ 18에 각각 나타내었다.

시험결과로부터 1, 2번 시료 모두 0.0 lx에서는 소음이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었고, 0.1 lx부터 소음이 발생하는 것을 확인하였다. 또한 두 시료 모두 저주파 영역에서는 배경소음과 큰 차이가 존재하지 않았고, 3.15 kHz 이상의 고주파 영역에서 소음이 발생하였다. 특히 시료 1번의 경우 가까운 거리(1 cm, 5 cm)에서는 3.15 kHz, 6.3 kHz, 12.5 kHz 대역의 소음이 계속되었지만 거리가 멀어질수록 3.15 kHz 단일 성분의 소음만 계속되었다. 실제 야간투시경의 착용 위치와 군 사용자의 귀의 위치를 고려하면 거리가 약 10 cm ~ 15 cm인데, 이 거리에서는 3.15 kHz 대역의 소음이 지배적이었다.

Figs. 19 ~ 22는 3.15 kHz 대역에서 시료 1, 2의 밝기(조도), 거리에 따른 음압레벨(SPL)를 각각 나타낸 그래프이다. 영상증폭관에 입사되는 조도에 따라 소음의 세기가 증가한다거나 감소하는 경향은 나타나지 않았다. 또한 두 시료가 소음 세기의 최대값을 나타내는 조도가 달랐는데, 이는 오토게이팅이 작동되는 시점이 다른 것으로 보인다. 한편, Fig. 20과 Fig. 21에서 확인할 수 있듯이, 거리에 따라 소음 레벨이 감소하는 것을 확인하였지만, 소음 측정거리가 음원으로부터 거리가 매우 가까운 근음장(near field) 영역이기 때문에 거리가 2배 증가할때마다 6 dB씩 감소되는 억제곡법칙은 성립하지는 않았다.

위 결과에 따라 군 사용자의 불만을 야기하는 영상증폭관 소음은 여러 주파수 성분이 중첩된 복합음이 아닌 3.15 kHz에서의 순수 성분으로 인한 소음(tonal noise)임을 확인하였다. Fig. 23은 10 cm 조건에서 두 개 영상증폭관의 3.15 kHz 대역 음압레벨과 전체 음

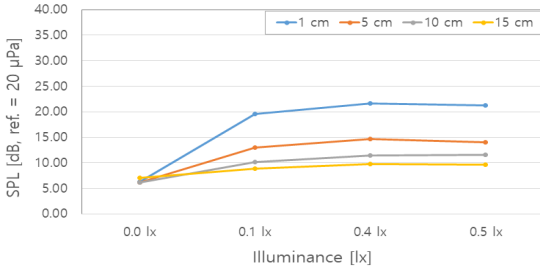


Fig. 19 Measurement results of SPL according to illuminance at 3.15 kHz (sample 1)

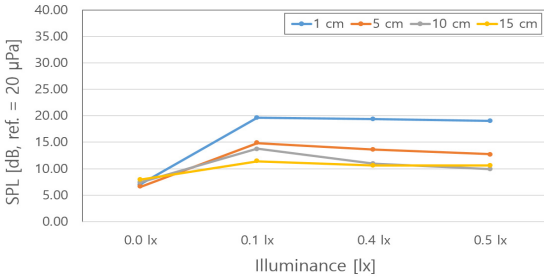


Fig. 20 Measurement results of SPL according to illuminance at 3.15 kHz (sample 2)

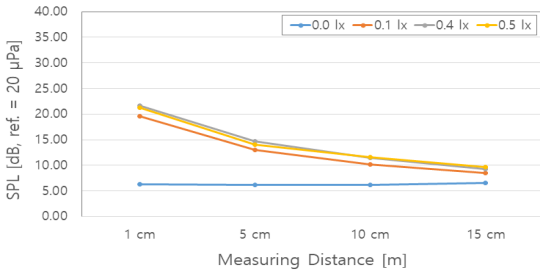


Fig. 21 Measurement results of SPL according to distance at 3.15 kHz (sample 1)

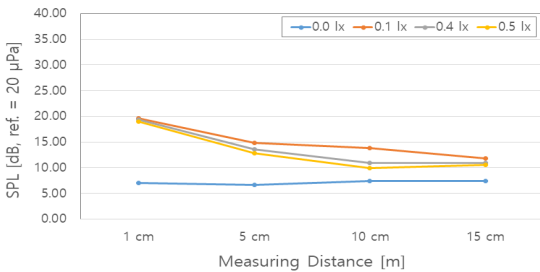


Fig. 22 Measurement results of SPL according to distance at 3.15 kHz (sample 2)

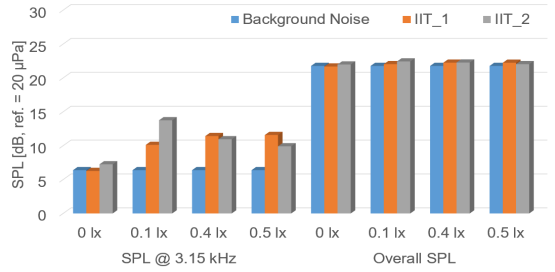


Fig. 23 Comparison SPL at 3.15 kHz and overall SPL (10 cm)

압레벨(overall SPL) 값을 입력 조도에 따라 나타낸 그림이다.

Figs. 11 ~ 18에서와 같이 100 Hz ~ 250 Hz 사이의 저주파 배경소음이 영상증폭관의 전체음압(overall sound pressure level)에 미치는 영향이 크음을 알 수 있으며 3.15 kHz 대역 소음이 이들 저주파 배경소음보다 충분히 크지 않을 경우 전체음압에 미치는 영향은 작다. 따라서 Fig. 22와 같이 영상증폭관의 전체음압으로 소음을 비교할 경우 3.15 kHz 소음이 인지된다 하더라도 이 소음이 일정수준 이상 커지지 않을 경우 전체음압의 변화는 크지 않다. 하지만 영상증폭관의 순음 성분이 포함되는 3.15 kHz 대역만 가지고 소음을 평가하게 되면 이 대역에서 배경소음이 매우 작으므로(6 dB 수준) Fig. 23과 같이 배경소음보다 큰 영상증폭관의 순음을 음압레벨로 평가할 수 있다.

일반적으로 인간의 청각기관 특성으로 인하여 고주파성분의 소음에 민감하다. 이러한 특성은 등청감곡선을 통해 확인할 수 있다. 음압에 따라 인간의 귀가 반응하여 느끼는 주관적인 청감상의 소리의 세기를 loudness라고 하는데, 1 kHz에서의 음압을 기준으로 주파수마다 같은 크기로 느끼는 loudness를 연결한 곡선이 바로 등청감곡선이다. Fig. 24에 도시된 바와 같이 저주파에서는 인간의 귀가 둔감하지만 3 kHz ~ 4 kHz 부근에서는 매우 민감한 것을 알 수 있다. 이러한 순음형 소음으로 인한 소비자의 불만과 이에 대한 소음 평가 방법은 에어컨 등 가전기기 분야에도 활발히 연구되고 있으며, tonal 소음일 경우 소비자가 체감하는 짜증도가 증가한다고 언급하고 있다(7). 또한 Heo et al.은 도로교통소음의 주파수에 따른 불쾌도 감성변화를 평가하였는데, 고주파 대역으로 갈수록, 주파수의 성분이 단조로울수록 인간이 느끼는 불

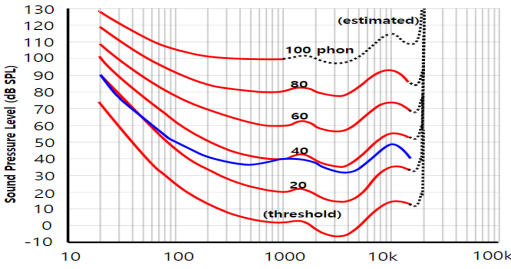


Fig. 24 Equal loudness curve

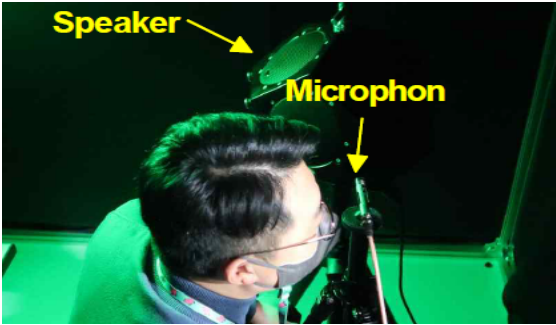


Fig. 25 Method for human evaluation with regard to noise of IIT

해도 반응은 더 높게 나타난다고 언급하고 있다⁽⁸⁾.

따라서 영상증폭관에서 발생하는 소음의 기준은 이러한 사람의 청각 특성을 고려하여 설정할 필요가 있다. 이 연구에서는 위와 같은 소음이 군 사용자에게 체감되는 정도를 평가하기 위해 영상증폭관의 순음 소음을 모사하여 사람에게 체감되는 수준을 정량화하였고 이때 시험의 모습은 Fig. 25와 같다.

체감소음 평가는 청력에 문제가 없는 국방기술품질원 연구원 6명이 참여하였으며 그 결과는 Table 1과 Fig. 26에 나타내었다. 3.15 kHz 순음 소음을 10 cm 거리에서 평가하였을 때, 사람이 인지가능한 수준은 8.8 dB ~ 10.0 dB, 거슬리는 수준은 14.2 dB ~ 17.7 dB, 못 참을 수준은 17.0 dB ~ 22 dB으로 나타났다. 평가자마다 약간의 차이는 존재하였지만 3.15 kHz 대역 소음이 인지가 가능한 수준에서 거슬리는 수준 사이에서 군 사용자의 불만이 제기되었다고 보인다. 앞서 언급한 것과 같이 매우 작은 소음일지라도 체감상 민감하게 느껴지는 고주파의 영역이기 때문에 군 사용자들 작전을 수행하면서 매우 성가시게 느꼈을 것이라고 사료된다.

Table 1 Summary of human evaluation results

Tester Number	Sound Pressure Level @ 3.15k Hz [dB] (1/3 octave band)		
	Perceivable Level	Annoying Level	Unbearable Level
1	-	15	23.7
2	11.2	22.8	26.2
3	9.2	20.4	26.3
4	10.6	17.1	19.9
5	10.1	14.2	17
6	8.8	16.3	18.8
Average	10.0	17.7	22
Min	8.8	14.2	17.0

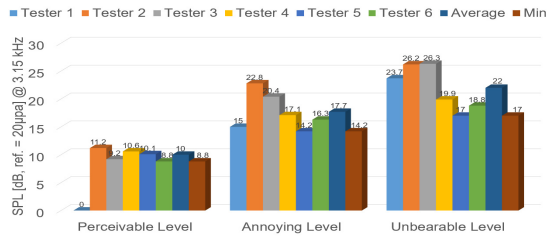


Fig. 26 Results of human evaluation by evaluators

3.2 야간투시경 구조적 특성

이 절에서는 야간투시경의 구조적 특성을 파악하기 위해 음향삽입 손실 시험을 수행하였다. 2.3 절에서 언급하였던 것과 같이 신호발생기와 소형 스피커를 이용하여 800 Hz ~ 8 kHz까지 각 주파수마다 소음을 발생시킨 후 그 주파수에서의 SPL을 측정하였고, 이후에 소형 스피커를 야간투시경 3개에 각각 삽입하여 같은 방법으로 소음을 측정하였다.

Fig. 27은 스피커만 사용하여 소음을 측정한 결과와 야간투시경에 삽입 후 소음을 측정할 결과를 도시한 그래프이며, Fig. 28은 야간투시경 하우징으로 인한 삽입손실을 나타낸 그래프이다. 두 그림에서 확인할 수 있듯이, 야간투시경 하우징으로 인하여 3.15 kHz 영역에서 약 14.7 dB ~ 22.1 dB의 삽입손실이 존재하였고 이후 5 kHz 이상의 고주파 영역에서도 소음의 감쇠가 있음을 확인하였다.

한편 2 kHz에서는 스피커를 야간투시경에 삽입했음에도 불구하고 오히려 소음의 세기가 증가하여 삽입손실이 음의 부호를 가지는 것을 확인하였다. 이러

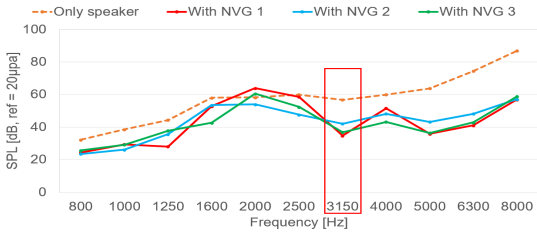


Fig. 27 Difference of SPL between speaker and NVG

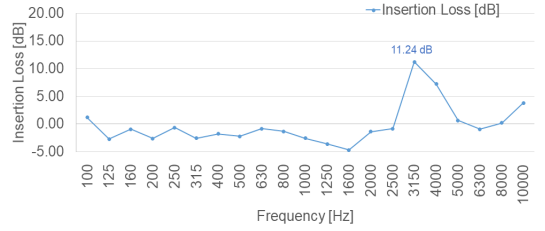


Fig. 31 Insertion loss due to NVG housing (IIT)

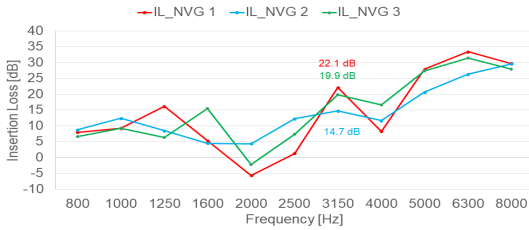


Fig. 28 Insertion loss due to NVG housing (speaker)

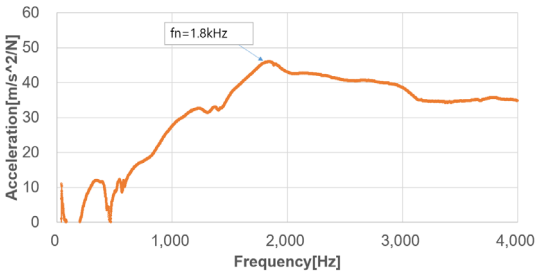


Fig. 29 Acceleration transfer function for unit input using impact hammer

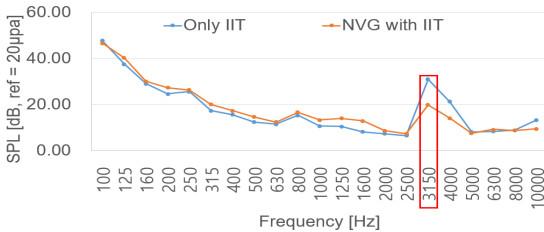


Fig. 30 Difference of SPL between IIT and NVG

한 현상은 2 kHz 대역에서 야간투시경과 고정장치의 고유진동수와 소음의 주파수가 겹치게 되어 공진이 발생하고, 이로 인하여 소음이 증폭한 것으로 판단되어 임팩트해머를 통해 고유진동수를 탐색하였다.

Fig. 29는 야간투시경의 단위입력에 대한 가속도 전

달함수를 나타낸 그림이다. 앞서 예상했던 것과 같이 약 1.8 kHz에서 힘-가속도간 전달함수(acceleration) 값이 매우 큰 피크값을 나타내었으며, 이러한 결과가 소음의 증가와 연관되는 것을 확인하였다.

Fig. 30은 소음이 발생하는 영상증폭관과 영상증폭관이 삽입된 야간투시경의 소음을 측정된 결과이며, Fig. 31은 야간투시경에 영상증폭관을 삽입하였을 때 손실되는 차이인 야간투시경 하우징의 음향삽입손실이다. 소음원으로부터 10 cm 거리에서는 영상증폭관 소음의 세기가 매우 작아 계측을 하더라도 삽입손실을 확인하기가 어려웠기 때문에 이 시험은 야간투시경 표면 직상부 1 cm 지점에서 계측을 수행하였다. 그림에서 도시한 바와 같이 3.15 kHz 영역에서 약 11 dB 정도의 삽입손실이 존재하였으며, 다른 주파수 영역에서는 소음이 크게 감소하거나 증가하지는 않았다. 추후 야간투시경과 영상증폭관의 소음을 평가할 때 이러한 사항들을 고려하여 적용하여야 할 것으로 보인다.

4. 결 론

이 연구에서는 군으로부터 소음 불만이 제기된 야간투시경 및 영상증폭관을 확보하여 야간투시경 소음이 발생하는 원인을 확인하고 소음 특성 등을 파악하는 연구를 수행하였다. 또한 사용자 관점에서의 체감 소음을 평가하였고, 야간투시경과 영상증폭관간의 구조적인 특성을 파악하였다.

소음 특성을 파악하기 위해 영상증폭관 소음의 발생원인에 대하여 사전 조사 분석을 수행하였고, 조도 및 거리 등을 조절하여 음압을 측정하였다. 측정결과 조도에 따른 음압레벨이 증감하는 경향은 없었으며, 영상증폭관의 소음은 3.15 kHz 주파수가 주요한 성분인 순음형 소음임을 확인하였다. 다만 이 연구에서는 하나의 제조사의 2개 시료를 시험한 결과이기 때문에

모든 영상증폭관 소음에 대하여 일반화하기는 어려울 것이다. 이후 측정된 결과를 기반으로 신호발생기와 무지향성 스피커를 이용하여 3.15 kHz의 소음을 모사하였고, 해당 소음이 사람에게 체감되는 정도를 평가하였다. 평가결과, 사람이 인지가능한 수준은 8.8 dB ~ 10 dB, 거슬리는 수준은 14.2 dB ~ 17.7 dB, 못 참을 수준은 17 dB ~ 22 dB로 나타났다. 하지만 이 연구의 체감평가는 6명의 평가결과를 기반으로 도출된 결과이기 때문에 일반화하기에는 다소 무리가 있으며 추후 다양한 연령층과 더 많은 사용자들을 대상으로 체감평가가 필요하다.

이후 야간투시경과 영상증폭관의 구조적인 특성을 확인하기 위해 음향 삽입손실 시험과 고유진동수 탐색을 수행하였다. 스피커를 이용한 야간투시경 하우징의 음향 삽입손실 시험결과 2 kHz에서 오히려 소리가 증폭되는 현상이 나타났고, 이는 야간투시경 및 시험 셋업의 고유진동수(약 1.8 kHz)에서 기인한 것으로 분석되었다. 이후 영상증폭관을 야간투시경 하우징에 삽입하여 음향 삽입손실을 측정하였고 3.15 kHz 대역에서 음압레벨이 약 11 dB가 감소하여, 해당 주파수 대역에서 차음효과가 존재하는 것을 확인하였다.

이 연구에서 확인된 결과를 활용하여, 추후 야간투시경 소음평가시 다양한 관점에서의 평가가 가능할 것으로 보이며 관련 연구의 기초자료로 쓰일 것을 기대한다.

References

- (1) Chrzanowski, K., 2013, Review of Night Vision Technology, *Opto-Electronics Review*, Vol. 21, No. 2, pp. 153~181.
- (2) Kwon, J.-K. and Kim, W. W., 2006, Trends of Night Vision Goggle Technologies, *Journal of the*

Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 34, No 9, pp. 113~120.

(3) Gaston, J., Mermagen, T. and Dickerson, K., 2013, Acoustic Measurement and Model Predictions for the Aural Nondetectability of Two Night-vision Goggles, ARL US Army Research Laboratory, ARL-TR-6738.

(4) Gaston, J., Fouts, A., Stachowiak C. and Chambers, S., 2015, Aural-nondetectability Model Predictions for Night-vision Goggles across Ambient Lighting Conditions, ARL US Army Research Laboratory, ARL-TR-7564.

(5) Lee, J.-S., Kim, B.-H. and Kim, B.-H., 2018, A Study on Optimization of Noise Reduction of Auxiliary Power Unit for Military Tracked Vehicle, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 19, No. 8, pp. 336~342.

(6) Photonis, 2023, Innovate with Us and Reveal the Invisible!, <http://www.photonis.com>

(7) Lee, J., Lee, J. and Joo, J., 2005, Propose Tonal Noise Evaluation Method for Air-conditioner based on Customer's Sensory Evaluation, *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp. 154~157.

(8) Hur, D.-J., Jo, K.-S., Hwang, D.-S. and Cho, Y., 2007, Study of the Annoyance Sensitivity for the Frequency Band of Road Traffic Noise, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp. 398~404.



Suha Hwang received B.S. and M.S. in Mechanical Engineering from Chungnam University in 2017 and 2019 respectively. And he is currently a researcher at the Defense Agency for Technology and Quality, Korea.