

# 실내 충격소음 위험 평가 방법에 관한 연구

정성학<sup>†</sup> · 송기혁<sup>\*</sup>

국립재난안전연구원 · \*국방과학연구소

(2014. 11. 11. 접수 / 2016. 1. 20. 수정 / 2016. 2. 26. 채택)

## A Study on the Risk Assessment Method of Indoor-Impulsive Noise

Sung Hak Chung<sup>†</sup> · Ki Hyeok Song<sup>\*</sup>

National Disaster Management Research Institute

\*Agency for Defense Development

(Received November 11, 2014 / Revised January 20, 2016 / Accepted February 26, 2016)

**Abstract :** The objective of this study is to evaluate the operator's safety for the risk assessment method of impulsive noise division. Literature reviews on the basis of the impulsive noise study, the measuring methods and procedures, based on the results of the analysis process presents a risk assessment methods. In this study, analysis of the MIL-STD-1474D, B-duration graph for the peak noise level to cross the line from the measurement results is limited by the risk retracted. It is possible to determine whether there is quick can be determined whether the risk. Measurement positions measured by the microphone is installed on the risk of applying results are so located within the tolerance impulsive noise in the measurement position can interpret subjective safety is ensured. In addition, Proportional Dose technology was the proposed by the Patterson with the risk assessment method was applied to the indoor-impulsive noise. As results of this study, results for the same value of applying the technique of Proportional Dose technology results calculated by MIL-STD-1474D methods allows 1 count once increased in comparison to the result obtained.

**Key Words :** risk assessment method, impulsive noise, indoor noise

### 1. 서론

현재 보병이 운용하는 대전차 무기체계로는 RPG-7이나 106 mm 무반동총, TOW 등과 같은 무기체계 등이 있다. 실내 공간(벙커, 시가전에서 일반 건축물 등)에서 운용할 목적으로 체계를 개발하는 경우, 실내 공간의 특성으로 인해 영구적 청력 손실이나 내부 장기(호흡기, 순환계 등)의 손상, 그리고 그 밖의 심각한 외상(화상 등) 등의 위험성을 고려한다<sup>1-4)</sup>. 이러한 기존의 무기체계 운용방식은 연소 초기 급격한 노즐 내부 압력 증가로 충격파를 생성시키고 이어서 고온, 고압, 고속의 제트 유동을 통하여 운용하는 방식이다. 기존의 연구문헌에 의하면, 가장 위험성이 높은 인자는 실내 충격소음으로 알려져 있다<sup>5-9)</sup>.

운용자의 안전을 위하여 체계 설계시에는 무반동특

성을 구현한다. 이러한 무반동 특성을 구현하기 위해 후방으로 연소 가스를 방출한다. 정확하게는 사출 모타의 노즐에서 발생하는 제트 유동(후폭풍)을 형성하는 방법을 사용하는 것이다. 음향학적인 관점에서 실외 공간과 뚜렷하게 비교되는 실내 공간만의 특성은 음파의 발산현상에서 확인할 수 있다. 실외 공간의 경우, 지면을 제외하고는 외부 경계가 없기 때문에 음원에서 발생한 음파가 자유 공간으로 빠져 나가게 된다. 그러나 실내 공간의 경우 다수의 벽면으로 인해 닫힌 공간이 만들어지기 때문에 음향 에너지가 외부로 빠져나가지 못하고 공간 내부에 잔류하게 된다. 따라서 운용자는 경계면에서 반사되어 돌아오는 강한 충격파에 수차례 반복적으로 노출되고 노출 시간도 상대적으로 길어지게 된다<sup>10-12)</sup>.

따라서 본 연구에서는 운용자 안전을 위하여 위험성

<sup>†</sup> Corresponding Author : Sung Hak Chung, Tel : +82-52-928-0134, E-mail : shc4488@korea.kr  
Safety Research Lab. National Disaster Management Research Institute, 365, Jongga-ro, Ulsan 44538, Korea

평가를 수행하였다. 연구문헌 고찰을 토대로 위험성이 가장 높은 실내 충격소음 부문에 대하여 위험성을 평가하였다. 본 연구에서는 측정방법 및 절차, 결과분석 과정을 토대로 위험성 평가 방법을 제시하고자 한다. 사례연구를 통하여 위험성 평가를 수행하였고, 다양한 운용 조건에서의 위험성 평가를 수행할 수 있는 방법을 제공한다.

## 2. 문헌연구

### 2.1. 기존 위험 평가 기준에 대한 모델

국방분야의 무기체계에서 발생한 소음에 대한 평가 기준은 크게 파형을 기초로 한 모델(waveform parameter-based damage risk criteria)과 에너지양을 기초로 한 모델(equivalent-based damage risk criteria)으로 나눌 수 있다<sup>9)</sup>. 두 모델에 대한 설명과 각각의 장점과 단점, 그리고 대표적인 평가 기준 몇 가지를 다음의 Table 1에 정리하였다.

파형 기초 모델에 대해 살펴보자. 이것은 최고 소음도(peak sound pressure levels)나 지속시간과 같이 시간에 따른 음압 변화, 즉 음압 신호의 형태를 바탕으로 결정되는 매개변수를 이용하여 인체 위험성을 평가하는 방법이다. 가장 대표적인 규정으로 미 국방부의 규정인 MIL-STD-1474D가 있고, 이외에도 미국의 CHABA(committee on hearing, bioacoustics), 독일의 Pfänder 규정, 그리고 네덜란드의 Smooreburg 규정 등이 있다<sup>13-17)</sup>. 이들 파형 기초 모델은 음압 신호로부터 얻어낼 수 있는 가장 직관적인 형태의 매개변수로 위험성을 판단한다. 따라서, 이러한 평가 과정이 매우 단순하다는 장점이 있다.

반면, 주파수 영역에서의 분석 결과를 반영할 수 없기 때문에 인체의 복잡한 청각 기관의 청음 특성이나 귀마개, 귀덮개와 같은 청력 보호 장구 등의 저감 특성

을 고려할 수 없다는 단점이 있다. 그리고 측정에만 한정했을 때, 동일한 조건에서의 시험임에도 불구하고 분석을 통해 산출한 매개변수의 편차가 클 수 있다는 특징은 또 다른 단점 중 하나이다.

등가 에너지 모델은 임의의 위치에서 노출된 음향 에너지의 총 양을 기준으로 위험성을 평가하는 방법으로 현재 항공기 소음과 같은 교통 소음의 평가에도 적용되고 있는 가장 전통적인 방법이다. 이러한 방법의 경우 노출된 에너지양이 평가 기준이 되므로 설득력이 높고, 주변 환경 특성에 영향을 받지 않아 본 연구에서와 같은 실내 환경에서도 무리 없이 적용이 가능하다는 장점이 있다. 반면, 위해성 평가와 수치 해석을 연계할 경우 다음과 같은 어려움이 있다. 사출 모터의 연소에 의해 생성되는 충격파와 후폭풍은 수치 해석을 통해 유동장 및 음장 해석이 쉽지 않아 정확한 음압 신호를 얻기 어렵다. 이 때문에 음압 신호를 바탕으로 평가가 이루어져야 하는 에너지 모델은 수치 해석과의 연계가 쉽지 않다. 에너지 모델의 대표적인 예로는 1982년에 Stevin이 제안한 A-가중 소음노출도(A-weighted SEL)나 프랑스에서 적용하고 있는 8시간 평균 등가소음도(LAeq, 8hr)가 있다<sup>9)</sup>.

여러 규정들 중에서, 본 연구에 가장 적합한 평가 기준을 선정하기 위해 3가지의 선정 기준을 정하고 MIL-STD-1474D와 8시간 평균 등가소음도를 비교하였다. 이 두 가지의 규정을 고려한 것은 상대적으로 최근에 만들어진 규정이고, 최근에도 관련된 연구가 다수 진행되고 있기 때문이다.

첫째, 가장 먼저 고려한 기준은 단순함이다. 이것은 직관적인 평가 단위 또는 평가 식을 이용하여 노출된 소음의 위험성 정도나 충격파의 강도를 판단할 수 있는지를 결정하는 것이다. 먼저, MIL-STD-1474D의 경우

Table 1. Classification types of the risk assessment criteria

Classification	Waveform-based model (waveform parameter-based damage risk criteria)	Equivalent energy model (Equivalent-based damage risk criteria)
Definition	- Risk assessment method for the basis of the human body of the parameter by using a sound pressure signal pattern such as the peak sound levels, duration of the noise	- The most traditional way to risk assessment methods based on the acoustic energy levels
Merit	- Criteria or parameters to determine the risk of the most intuitive waveform - Assessment procedures are easy and simple to calculate for the result of the parameter values (Measured or predicted parameter values)	- It's convincing for the high ratings, exposed to this amount of energy. - Confined spaces are possible and not affected by characteristics of the environmental around
Weakness	- Earplug and protection devices failing to consider the reduction characteristics, as results of the analysis are reflected in the frequency domain - Standard deviation for the measurement data can be higher variation as the equal conditions	- Flow and sound field analysis using a numerical analysis model is not easy to interpretation, these expected difficulties linked to the risk assessment
Examples	- MIL-STD-1474D (US) - CHABA (US) - Pfänder (Germany) - Smooreburg (Netherlands)	- A-weighted SEL (Stevin, 1982) - LAeq,8hr (France)

Table 2. Comparison of between MIL-STD-1474D and equivalent noise method by the application criteria

Criteria	Contents	Assessment methods	
		MIL-STD-1474D	$L_{Aeq,8hr}$
Simplicity Brevity	- Intuitively understand the intensity of the shock wave and hazard can be evaluated expression unit or equation	- Predicted peak sound pressure and duration from measured data can be obtained	- The sound pressure obtained by integrating the signal value can be relatively less intuitive
Application Status	- Currently, this applies to the evaluation unit or agency of the state yes / no	- United States	- France
Link Interpretation	- Injection motor associated with an indoor propagation model analysis arising from the combustion process has multi dimensions of flow field and sound field analysis, the analysis technique requires high resolution, and therefore, processing time is long - Accuracy with reduced the processing time by the brevity prediction model can be required	- Requires prediction data for the peak sound pressure level and duration - In the case of the peak sound pressure level in the form of a shock wave, initial strength, the direction of the sound source can be predicted using a pattern	- Prediction of sound pressure according to the time required - Source characteristics (shock, combustion and jet flow due to non-linearity) is impossible to accurately predicted - Using the measurement results for evaluation

측정 또는 예측된 음압 신호로부터 최고 소음도와 지속 시간을 직관적으로 산출 할 수 있으므로 이 기준에 부합한다고 할 수 있다. 그리고 등가소음도 역시 음압 신호를 시간에 대해 적분하여 얻을 수 있는 값이므로 ‘단순함’이라는 기준에 부합하기는 하나, MIL-STD-1474D와 비교 했을 경우에는 상대적으로 덜 직관적이라고 판단된다<sup>18-21)</sup>.

둘째, 해당 평가 방법이 실제로 적용되고 있는지의 여부이다. 이것은 2가지 규정 모두를 만족하는데 미국에서는 주로 MIL-STD-1474D를 활용하며, 프랑스에서는 8시간 평균 등가소음도를 선별하여 적용하고 있다.

마지막 기준은 실내 전파 해석 모델과 연계 가능성이다. 앞에서 언급했던 것처럼 유도무기의 사출 모타 연소 현상은 매우 복잡하고 비선형성이 강하기 때문에 해당 과정의 유동장 및 음장 해석을 위해서는 고차, 고해상도의 수치 해석 기법이 필요하다. 따라서 정확한 결과를 얻기 위해서는 긴 연산 시간이 소요된다. 그러나 실제 전장에서는 정확한 결과보다 짧은 시간에 위해성 여부를 판단하는 것이 더욱 중요하다. 따라서 연산 시간을 줄이고 어느 수준 이상의 정확성이 보장되는 단순 모델을 개발할 수 있는지의 그 결과 여부에 따라서 해당결과의 데이터를 통하여 위험성 평가에 적용할 수 있는지 여부로 연계 가능성을 판단한다. 먼저, MIL-STD-1474D의 경우 최고 소음도와 지속 시간을 예측해야 하는데 최고 소음도의 경우 충격파의 형태, 충격파의 초기 강도, 그리고 음원의 방향성 패턴을 이용하여 예측이 가능하다. 그러나 등가소음도의 경우에는 시간에 따른 정확한 음압 변화의 예측이 필요한데, 본 연구에서는 음원의 특성(충격파, 연소현상으로 인한 비선형성 등)으로 인해 정확하게 예측하는 것은 거의 불가능하다.

이것을 종합해 보면, 유도무기에 대한 인체 위험성

평가에는 미국의 MIL-STD-1474D가 8시간 평균 등가 소음도 보다 적합한 것으로 판단된다. 그리고 등가소음도의 경우에는 측정 결과를 이용한 평가에 한해 비교 분석 용도로 적용하는 것을 고려해 볼 수 있다<sup>19)</sup>.

## 2.2. Proportional Dose 후처리 기법

Proportional Dose 후처리 기법은 운용자의 안전을 고려하여 보수적으로 해석하는 것이 타당 하므로 최악의 경우(worst case)를 적용하여 위험성을 평가해 왔다<sup>22)</sup>. 이것은 동일한 횟수, 동일한 에너지에 노출되는 상황을 가정 하였을 때, 같은 크기의 소음에 여러 차례 노출되는 것 보다 단 한번이라도 강한 소음에 노출될 경우 더욱 큰 피해를 입을 수 있다는 연구에 기반을 둔 것이다. 그러나 최악의 경우를 적용하게 되면 단순하게는 훈련량 부족으로 인한 전술 이해 및 운용 능력 저하에서부터 향후 대외 수출 시 경쟁 기종에 비해 약점으로 지적 될 수 있는 등 유무형의 손실이 예상되기도 한다. 따라서 본 연구에서의 Proportional Dose 후처리 기법과 같은 손실을 방지하기 위한 방안으로 대안의 위험평가 방법을 병행하여 이용할 것을 제안한다. Proportional Dose 후처리 기법은 Patterson이 제안한 방법으로서, 위험 지수(hazard indicator, HI)를 이용하여 각각의 위치에서 나타나는 위험성을 평가한다. 본 연구에서는 실내 충격소음의 위험성 평가시에는 MIL-STD-1474D 적용기준을 적용함과 동시에 보완적인 사항으로 Proportional Dose 후처리 기법을 함께 순차적으로 적용하여 제시하는 방법을 제안한다.

## 3. 실내 충격소음 위험 평가 기준

### 3.1. MIL-STD-1474D 위험 평가 기준

실내 충격소음의 위험평가 기준으로 MIL-STD-1474D

Table 3. Summary of the MIL-STD-1474D

Criteria	Waveform based model (waveform parameter-based damage risk criteria)
Parameter	- Peak sound pressure level (dB) - B-Duration (ms) - Daily average number of firing
Measurement	- This assessment method is measured by microphone, and sound pressure signal data evaluates without protection equipment
Assessment Eq.	- Shorter duration the 200 ms on the basis of the evaluation of the expression varies with the rather long - If assessment equation transformed by using the 1st exposure level, the tolerance level of the daily permitted numbers are calculated
Limit Levels	- Evaluation criteria by the 177 dB - X-, Y-, Z-curve of the allowable limit for three phases - X-curve: 2,000 times - Y-curve: 100 times - Z-curve: 5 times (All in a single protection equipment standards) - If dual protection equipment, it allows up to 20 times compared to a single protection equipment

가 활용되고 있다. 다음 Table 3은 MIL-STD-1474D에 대해 중요 핵심사항을 간략하게 정리 요약한 것이다.

MIL-STD-1474D는 앞에서 언급했던 것처럼 파형 기초 모델로 분류하고, 매개변수로 최고 소음도와 B-지속시간, 그리고 1일 평균 노출 횟수를 적용한다. 측정을 통해 평가가 이루어지는 경우 마이크론을 해당 위치에 설치하여 음압 신호를 측정하여 결과 신호를 바탕으로 평가가 진행된다<sup>15)</sup>. 규정에서 정의하는 평가 식은 다음과 같다. 지속시간 200 ms를 기준으로 다른 평가 식을 적용한다.

$$L_R = L_{peak} + 6.64 \log \frac{T_B}{200} + 5 \log N, (T_B < 200 \text{ ms}) \quad (1)$$

$$L_R = L_{peak} + 5 \log N, (T_B \geq 200 \text{ ms}) \quad (2)$$

위 식을 변형하여 최고 소음도와 지속시간으로부터 1일 허용 횟수를 계산할 수 있다.

$$N = 10^{(L_R - L_{peak} - 6.64 \log(T_B/200))/5}, (T_B < 200 \text{ ms}) \quad (3)$$

$$N = 10^{(L_R - L_{peak})/5}, (T_B \geq 200 \text{ ms}) \quad (4)$$

여기서  $L_R$ 은 평가 레벨(rating level)을 말하는 것으로 소음 규제를 위한 실질적인 평가 소음도를 의미한다.  $L_{peak}$ 은 최고 소음도를,  $T_B$ 는 B-지속시간, 그리고  $N$ 은 1일 노출 횟수를 나타낸다. MIL-STD-1474D에서는 최고 소음도가 140 dB를 초과할 경우 청각 보호 장구 착용을 의무화하고 있으며, 평가 레벨 기준의 한계 소음도는 177 dB로 정의하고 있다. 그리고 단일 청각 보호 장구(single protection, 귀마개 또는 귀덮개)를 착용한 상태에서 1일 허용 횟수를 기준으로 2,000회, 100회, 그리고 5회에 해당하는 선을 각각 Z-curve, Y-curve,

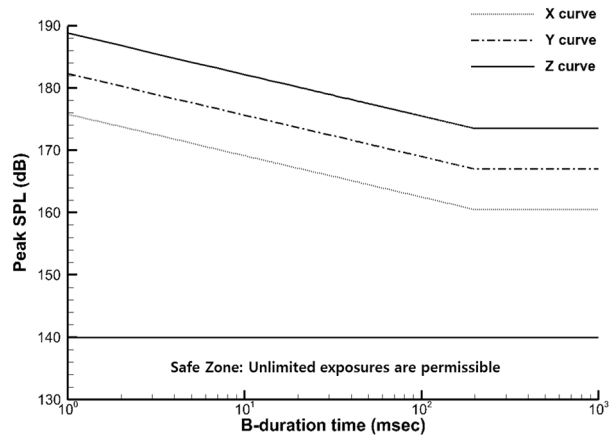


Fig. 1. Regulation of MIL-STD-1474D by duration times.

그리고 X-curve라고 정의하고, Z-curve를 넘지 않아야 한다고 규정하고 있다. 만약 이중 청각 보호 장구(double protection, 귀마개와 귀덮개)를 착용한 경우 단일 청각 보호 장구를 착용했을 때의 20배까지 허용하고 있다. MIL-STD-1474D의 x축은 지속시간, y축은 최고 소음도로 도시하면 Fig. 1과 같다.

그래프를 보면 최고 소음도를 기준으로 140 dB 아래에 안전영역(Safe Zone)이 형성되어 있고 X-, Y-, Z-curve가 차례대로 나타나 있다. Murphy의 보고서에 따르면, X-curve는 140 dB 선(W-curve라고 부름)에서 단일 청각 보호 장구의 효과를 29 dB로 가정하고 이에 해당하는 만큼을 이동(shift)시킨 결과라고 분석하고 있다<sup>23)</sup>.

Fig. 2는 MIL-STD-1474D를 이용한 위험 평가에 사용되는 두 매개변수, 최고 소음도와 B-지속시간을 정의한 것이다. 지속시간에는 4가지 종류(A, B, C, D)가 있는데 MIL-STD-1474D에 적용되는 B-지속시간은 음원에서 발생한 충격파의 에너지 뿐 만 아니라 지면 반사와 같은 주변 환경의 영향도 함께 고려한 것으로, 본 연구에서 다루는 실내 공간에서의 충격소음에 대한 위

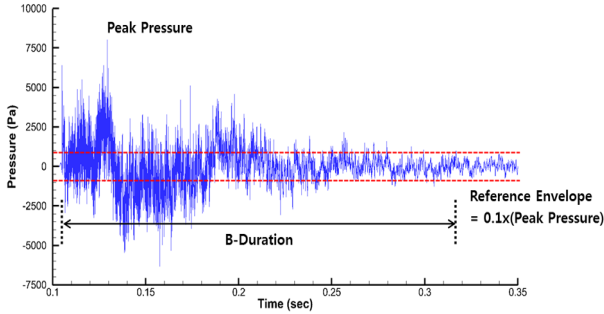


Fig. 2. Definition of max noise and duration.

험성 평가에 가장 적합하다고 할 수 있다.

두 매개변수는 다음과 같이 정의한다. 먼저 전체 음압 신호에서 최고 소음도를 정의한다. 최고 소음도는 순간 음압이 가장 높을 때의 음압 레벨 값으로 충격파에 의해 발생하는 양의 음압 값을 기준 음압(20 μPa)에 대해 변환한 값이다. 그리고 해당 음압 레벨보다 20 dB 낮은 값, 즉 음압 기준으로 순간 최고 음압의 1/10인 값을 기준 압력으로 설정하고 그림에 나타난 것과 같이 기준 영역을 설정한다. 이때, 충격파가 처음 관측되는 순간으로부터 시간이 지남에 따라 음압 변동이 감쇠를 통해 앞에서 정의한 기준 영역 내부로 제한되는 순간까지의 시간을 B-지속시간으로 정의한다. 일반적인 경우, B-지속시간은 최고 소음도가 관측된 순간부터라고 정의한다. 이것은 강한 충격파가 가장 먼저 관측되기 때문인데, 외부 경계면이 없는 실외 공간에서 측정된 음압 신호를 기준으로 정의한 것이다. 반면, 본 연구에서 다루는 실내 공간에서는 벽면에서의 반사로 인해 가장 강한 충격파가 가장 먼저 관측되지 않을 수 있으므로 ‘최초의 충격파가 나타난 시점’을 기준으로 B-지속시간을 정의하였다.

### 3.2. Proportional Dose 후처리 기법

Proportional Dose 후처리 기법은 Patterson이 제안한 기법으로 위험 지수(hazard indicator, HI)를 이용하여 각각의 위치에서 나타나는 위험성을 평가한다. 위험 지수는 다음과 같이 정의한다<sup>7)</sup>.

$$(HI) = \frac{1}{(ANOR)} \quad (5)$$

여기서 ANOR은 1일 허용 횟수(allowable number of round)를 나타낸다. 위험 지수는 1일 허용 횟수의 역수로 정의하며, 이것은 1일 허용 횟수가 클수록 위험성은 낮아지고, 작을수록 위험성이 높아지는 것에 착안한 것이다.

위험 지수를 큰 순서대로 누적시킨 값을 누적 위험 지수(accumulated hazard indicator, AHI)라고 정의하고 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$(AHI) = \sum_i (HI)_i = \sum_i \frac{1}{(ANOR)_i} \quad (6)$$

누적 위험 지수의 의미에 대해 언급하기에 앞서, Proportional Dose 후처리 기법을 적용하기 위한 전제를 알아둘 필요가 있다. Patterson은 Proportional Dose 후처리 기법을 제안하면서 “최악의 경우가 위험성 규정의 허용 범위를 초과하지 않는 경우”에만 Proportional Dose 후처리 기법을 적용할 수 있다고 언급하고 있다. 본 연구의 상황에 맞춰서 해석해 보면, 최악의 경우에 대한 측정 결과를 이용하여 산출한 1일 허용 횟수가 MIL-STD-1474D에서 한계값으로 정의하는 5회 이상인 경우에만 Proportional Dose 후처리 기법을 적용할 수 있다는 의미이다. 앞에서 위험성 평가에 적용했던 측정 결과를 살펴보면 최악의 경우에 해당하는 1일 허용 횟수가 7회로 나타났고 Proportional Dose 후처리 기법을 적용할 수 있다는 결론을 얻게 된다.

누적 위험 지수의 정의를 바탕으로 해당되는 값이 1인 사례를 고려해 보면, 위험 지수와 누적 위험 지수는 동일한 차원의 변수이기 때문에 누적 위험 지수가 1이라는 것은 1일 허용 횟수가 1회라는 의미와 동일하다. 누적 위험 지수가 1이 되는 경우가 중요한 이유는 1을 기준으로 해서 실내 충격소음 노출 불가와 노출 가능성이 결정되기 때문인데, 만약 누적 위험 지수가 1을 넘어서게 되면 그 역수인 1일 허용 횟수는 1보다 작아지기 때문에 실내 충격소음 노출 불가라는 결과를 얻게 된다. 결과적으로 누적 위험 지수가 1보다 작으면서 최대값을 가질 때, 누적된 위험 지수의 개수를 Proportional Dose 후처리 기법을 적용한 1일 허용 횟수로 정의한다. 이를 바탕으로 생각해보면 위험 지수를 큰 순서대로 누적시킨 것은 위험성이 큰 결과부터 고려한다는 뜻이므로 최악의 경우를 고려하는 방법과도 어느 정도 관련이 있다고 할 수 있다. 또, 하나의 결과가 아니라 여러 측정 결과를 바탕으로 누적된 위험 정도, 즉 노출 에너지양을 기준으로 위험성을 판단한다는 점에서 충분히 논리적이라고 생각할 수 있다. 이처럼 Proportional Dose 후처리 기법을 적용했을 경우, 1일 허용 횟수는 최악의 경우를 적용하여 얻은 결과보다 같거나 커지게 되고 정확한 평가를 위해서는 적어도 20개, 보통 30개 이상의 측정 결과가 필요하다. 본 연구에서는 사례 연구를 통하여 Proportional Dose 후처리 기법을 실제 측정 데이터에 적

Table 3. Results of risk-index

Freq.	ch.1	ch.2	ch.3	ch.4	ch.5	ch.6	ch.7	ch.8	ch.9	ch.10
1	0.04545	0.05556	0.03846	0.04348	0.04545	0.05000	0.05882	0.04545	0.03846	0.04545
2	0.01852	0.01961	0.01852	0.01250	0.01429	0.02703	0.02000	0.05263	0.04000	0.04000
3	0.05000	0.08333	0.04167	0.06250	0.04000	0.06667	0.08333	0.12500	0.12500	0.07692
4	0.03571	0.05556	0.04348	0.03571	0.04167	0.03333	0.07692	0.06667	0.05000	0.03030
5	0.02326	0.06667	0.02703	0.02083	0.01887	0.01724	0.02564	0.02500	0.04762	0.03571
6	0.03846	0.05556	0.11111	0.03226	0.02439	0.05556	0.14286	0.11111	0.06667	0.03125
7	0.02083	0.03704	0.02000	0.01190	0.01852	0.01887	0.03333	0.03571	0.05000	0.01852
8	0.03704	0.04762	0.06250	0.05882	0.04348	0.04545	0.05556	0.07143	0.06667	0.03448
9	0.05556	0.06667	0.14286	0.05000	0.03704	0.05882	0.06250	0.05882	0.05000	0.05000
10	0.04000	0.06250	0.03448	0.03448	0.02632	0.03226	0.03125	0.05263	0.04762	0.02632

용해 보고 기존의 방법(worst case)과 비교하여 어떤 차이가 발생하는지 분석 하였다.

#### 4. 실내 충격소음 위험 평가

MIL-STD-1474D의 평가 방법을 적용하여 실내 충격소음에 대한 위험성 평가를 실시하였다. 이를 위해 소음원에서 30cm 떨어진 양쪽 위치에 각각 다섯 개의 마이크로폰(제품번호: B&K4944A-125342~11)으로 구성된 마이크로폰 배열을 설치하여 총 10개의 채널에서 10회 충격소음 시험을 진행하여 해당 위치에서의 음압신호를 얻었다. 본 실험을 위하여 구축한 시험장의 상세한 사양과 시험조건을 기술하였다<sup>24,25)</sup>. 또한, 실험조건을 결정하기 위하여 다양한 시험조건에서 시뮬레이션 결과도 연구하였다<sup>26,27)</sup>. Fig. 3은 획득한 100가지 측정 데이터를 분석하여 산출한 최고 소음도, B-지속시간을 MIL-STD-1474D 표기방식으로 표시한 것이다. 이 평가방법에 따른 1일 허용 횟수의 분석결과, 1일 허용 횟수가 가장 작은 경우와 가장 큰 경우는 각각 7회와 84회로 나타났다. 모두 MIL-STD-1474D에서 정의하는 한계 횟수인 5회 이상으로 나타났음을 알 수 있다. 이를 바탕으로 생각해보면 위험 지수를 큰 순서대로 누적시킨 것은 위험성이 큰 결과부터 고려한다는 뜻이므로 최악의 경우를 고려하는 방법과도 어느 정도 관련이 있다고 할 수 있다. 또, 하나의 결과가 아니라 여러 측정 결과를 바탕으로 누적된 위험 정도, 즉 노출 에너지를 기준으로 위험성을 판단한다는 점에서 충분히 논리적이라고 생각할 수 있다. 이처럼 Proportional Dose 후처리 기법을 적용했을 경우, 1일 허용 횟수는 최악의 경우를 적용하여 얻은 결과보다 같거나 커지게 되고 정확한 평가를 위해서는 적어도 20개, 보통 30개 이상의 측정 결과가 필요하다.

본 연구에서는 Proportional Dose 후처리 기법을 실제 측정 결과에 적용해 보고 기존의 방법(worst case)과 비교

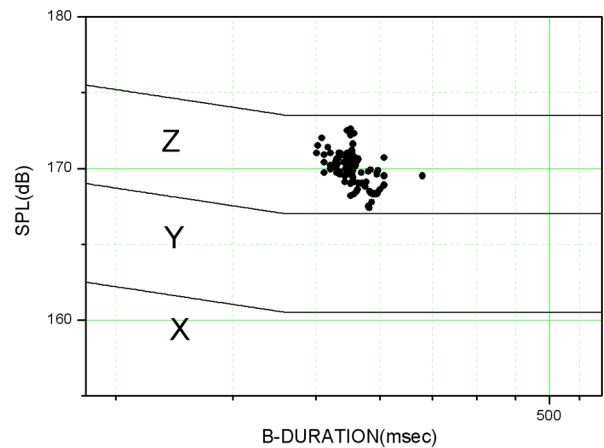


Fig. 3. Result of risk assessment for indoor noise.

하여 어떤 차이가 나타났는지 분석 하였다. 측정 위치에서 마이크로폰 배열을 이용해 측정한 결과를 바탕으로 각각의 위험 지수를 계산한 것이다. 1일 허용 횟수를 위험성 지수로 다음의 Table 3에서 표기하였다.

Table 4. Results of incremental risk-index ranking

No.	Channel	ANOR	HI	AHI	Count
9	3	7	0.14286	0.14286	1
6	7	7	0.14286	0.28571	2
3	8	8	0.12500	0.41071	3
3	9	8	0.12500	0.53571	4
6	3	9	0.11111	0.64683	5
6	8	9	0.11111	0.75794	6
3	2	12	0.08333	0.84127	7
3	7	12	0.08333	0.92460	8
4	7	13	0.07692	1.00153	9
3	10	13	0.07692	1.07845	10
8	8	14	0.07143	1.14988	11
5	2	15	0.06667	1.21654	12
9	2	15	0.06667	1.28321	13
3	6	15	0.06667	1.34988	14

그리고 이것을 위험 지수 기준 내림차순으로 정렬하고 위험성이 큰 순서대로 누적시킨 누적 위험 지수를 계산하면 아래 Table 4와 같다.

Proportional Dose 후처리 기법의 정의에 따라 후처리 된 1일 허용 횟수를 산출하면 8회가 되는데, 이는 기존의 방법으로 산출한 1일 허용 횟수인 7회 보다 1회 늘어난 값이다. 예상과는 달리 크게 차이가 나타나지 않는데, USAARL의 보고서에 따르면 견착 무기체계(shoulder-fired weapon systems)에 적용한 경우보다는 대구경 화기(artillery)나 박격포(mortar)에 적용했을 때 더 효과적이라고 언급하고 있다<sup>7)</sup>.

## 5. 결론

본 연구에서 분석한 MIL-STD-1474D의 경우 B-지속 시간에 대한 최고 소음도 그래프에서 측정 결과가 제한 선을 넘어 갔는지 여부로 위험성 여부를 판단 할 수 있어 매우 직관적으로 위험성 여부를 판단 할 수 있었다. 측정 위치에 마이크를 설치하여 측정한 결과에 해당 규정을 적용하여 위험성을 분석한 결과, 모든 결과가 허용 범위 내에 위치하고 있으므로 실내 충격 소음은 측정위치에서 안전성이 확보되었다고 해석 할 수 있다.

실내 충격소음원이 동일한 운용 조건(고각 0도, 방향 각 0도)에서 얻은 100개의 매개 변수 조합에서 다소 편차가 발생하였으나, 1일 허용 횟수를 산정하기 위한 최적의 방안으로 Proportional Dose 후처리 기법을 사용하였다. 기존의 MIL-STD-1474D를 적용할 경우, 84회가 산출되었다. 대포값을 선정하기 위한 안전기준을 적용하고자 할 때, 지속시간에 따른 차이가 존재하므로 이를 보정하기 위한 Proportional Dose 후처리 기법을 적용하는 방안을 고려하였다. 지속시간에 따라 어떤 값을 해당 체계의 대표 값으로 지정해야 하는지 결정하는 과정에서 어려움이 예상된다. 이러한 문제에 따라, Patterson이 제안 했던 Proportional Dose 후처리 기법을 적용하였다. 그 결과, 실내 충격소음측정 결과에 Proportional Dose 후처리 기법을 적용해 본 결과 기존의 방법으로 산출한 1일 허용 횟수에 비해 1횟수 증가한 결과 값을 얻었다. 거의 유사한 결과치임을 알 수 있다. 이러한 연구결과는 안전성 측면에서는 검증하여 타당함을 보였다. 본 연구의 결과를 훈련이나 실제 현장에서의 사용성을 고려하여 이어지는 Proportional Dose 후처리 기법을 순차적으로 적용하는 방법에 대한 사례연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

첫 번째의 MIL-STD-1474D방법은 간단하게 위험평

가 방법으로 활용할 수 있겠으나 심도 깊은 위험성을 평가하는 방법으로 후처리 기법을 포함하는 순차적인 방법을 적용할 것을 제안한다. 본 연구의 제안방법을 통하여 합리적인 1일 허용 횟수를 산출 할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- 1) U.S. Environmental Protection Agency, "Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety", EPA, pp.7-28, 1974.
- 2) E. B. Shank and G. R. Grinther, "Firing from Enclosures with LAW, DRAGON an TOW", Technical Memorandum 16-75, U. S. Army Human Engineering Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, pp.39, 1975.
- 3) National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard Occupational Noise Exposure, 1996.
- 4) E Y. Matti and O. P. Jussi, "Physical Characteristics of Gunfire Impulse Noise and Its Attenuation by Hearing Protectors", Scand Adiol, 24, pp.3-11, 1995.
- 5) G. R. Garinther and K. D. Kryter, "Auditory and Acoustical Evaluation of Several Shoulder-rifles", Technical Memorandum, U. S Army Human Engineering Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, pp.1-65, 1965.
- 6) G. R. Price and J. T. Kalb, "A New Approach to a Damage Risk Criterion for Weapons Impulses", In Proceedings of XXI Nordic Congress of Military Medicine, Oslo, Norway, 1990.
- 7) J. H. Patterson, D. L. Johnson, "Temporary Threshold Shifts Produced by High Intensity Free Field Impulse Noise in Humans Wearing Hearing Protection", USAARL Report No. 8, pp.94-46, 1994.
- 8) U. S. Army Human Engineering Lab, "Maximum Noise Level for Army Materiel Command Equipment", HEL Standard S-1-63B, Aberdeen Proving Ground, MD, pp. 16, 1965.
- 9) D. K. Karl, "The Handbook of Hearing and the Effects of Noise-Physiology, Psychology, and Public Health", Academic Press, 1994.
- 10) A. Glorig, W. D. Ward and J. Nixon, "Damage Risk Criteria and Noise-induced Hearing Loss", Arch, Otolaryngol, No.74, pp.413-423, 1965.
- 11) G. R. Garinther and J. B. Moreland, "Transducer Techniques for Measuring the Effect of Small Arms' Noise on Hearing",

- Technical Memorandum, U. S. Army Human Engineering Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, pp.11-65, 1965.
- 12) M. P. Branch, "Comparison of Muzzle Suppression and Ear-level Hearing Protection in Firearm Use," 2011.
  - 13) MIL-STD-1474D, "Department of Defense Design Criteria Standard", NOISE LIMITS, 1997.
  - 14) K. Buck, "Performance of Hearing Protectors in Impulse Noise", RTO HFM Lecture Series, 2000.
  - 15) D. J. Lee, W. R. Kang, S. G. Lee, B. H. Kong, S. S. Jeong and Y. N. Kim, "Interior Launch Evaluation of Portable Medium Range Guided Missile(I)", ADDR-421-038532, 2013.
  - 16) K. Buck, "Performance of Different Types of Hearing Protectors under Going High-level Impulse Noise," International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, Vol.15, No.2, pp.227-240, 2009.
  - 17) D. C. Hodge and R. B. McCommons, "Growth of TTS from Impulse-noise Exposure: A Methodological Study", Technical Memorandum 10-67, U.S. Army Human Engineering Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, pp.19, 1967.
  - 18) A. Cohen, B. Kylin and P. J. LaBenz, "Temporary Threshold Shifts in Hearing from Exposure to Combined Impact/ Stead-state Noise Condition", L. acoust. Soc. Amer., 40 pp.1371-1380, 1966.
  - 19) H. L. Sprian, "Assessing Fit Effectiveness of Earplugs", Hard Leight Acoustical Laboratory, pp.1-7, 2008.
  - 20) D. Gauger and E. H. Berger, "A New Hearing Protector Rating: the Noise Reduction Statistic for use with a Weighting (NRSA)", 3M, 2004.
  - 21) E. H. Berger, "Preferred Methods for Measuring Hearing Protector Attenuation," Inter-noise, 2005.
  - 22) J. H. Patterson, "Proposed New Procedure for Estimating Allowable Number of Rounds for Blast Overpressure Hazard Assessment", U.S. Army Aeromedical Research Laboratory (USAARL), Report No.98-03, 1997.
  - 23) W. J. Murphy and C. A. Kardous, "A Case for using A-weighted Equivalent Energy as a Damage Risk Criterion", National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 350-11a, 2012.
  - 24) K. H. Song and S. H. Chung, "A Study of the Measurement Systems Implementation for the Interior Impulse Noise", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 6, pp.93-100, 2014.
  - 25) K. H. Song, S. H. Chung, W. R. Kang, D. J. Lee and J. H. Park, "A Study of the Comparison Analysis for the Rocket Motor Impulse Noise by the Indoor Sizes", Journal of The Korea Society of Safety, Vol. 29, No. 3, pp.85-90, 2014.
  - 26) K. H. Song and S. H. Chung, "A Study of Response Characteristics for the Interior Impulse Noise Based on Interpreted Models", Journal of The Korea Society of Safety, Vol. 29, No. 5, pp.22-28, 2014.
  - 27) K. H. Song, W. R. Kang, D. J. Lee and Y. N. Kim, "Study on the Indoor Acoustic Field Analysis using the Blast Wave Model", Journal of The Korea Society of Safety, Vol. 30, No. 4, pp.142-150, 2015.