

# 유도무기의 제트소음 분석을 통한 발사환경에서의 소음지도 작성

## Drawing up a Noise Map under Launch Environment through Analyzing Jet Noise of Guided Weapon

김상민† · 박웅\* · 하재현\*\*

Sang Min Kim, Woong Park and Jae Hyoun Ha

**Key Words** : Noise Map(소음지도), Jet Noise(제트소음), Guided Weapon(유도무기)

### ABSTRACT

Noise map is drawn up under launch environment through analyzing jet noise of guided weapon in this research. This has an important significance in terms of having an opportunity to look at influence of noise which is caused by guided weapon in the surrounding environment. In this paper, the magnitude of jet noise that was measured by using microphone and the result of numerical analysis that was gained by using ENPro which is environment noise prediction program are shown. At this point estimation of noise source was based on ISO 9613. Finally noise map derived from results mentioned above will become useful material when setting safety guide for protecting hearing loss of operator of weapon system in the future.

### 기 호 설 명

- $L_{FT}$  : 수음점에서의 sound pressure level
- $L_w$  : 음원의 sound power level
- $D_c$  : 음원의 방향성
- $A$  : 음원 전파에 따른 전체 감쇠크기
- $A_{div}$  : 기하학적 확산에 따른 감쇠 크기
- $A_{atm}$  : 대기 흡수에 의한 감쇠 크기
- $A_{gr}$  : 지면에 의한 감쇠 크기
- $A_{bar}$  : 방음벽에 의한 감쇠 크기
- $A_{misc}$  : 기타 감쇠에 대한 크기
- $\alpha$  : 대기 흡수에 관련한 감쇠 계수
- $d$  : 음원과 수음점 사이의 거리
- $d_p$  : 지면에 정사영한 음원과 수음점 사이의 거리
- $h_s$  : 지면을 기준으로 한 음원 높이
- $h_r$  : 지면을 기준으로 한 수음점 높이
- $G_s$  : 음원 지역의 지면 감쇠 계수
- $G_r$  : 수음점 지역의 지면 감쇠 계수
- $A_s$  : 음원 지역에서의 지면 감쇠 크기
- $A_r$  : 수음점 지역에서의 지면 감쇠 크기

### 1. 서 론

소음은 사람이 듣기에 불쾌한 소리를 말한다. 이는 산업화가 고도로 진행되며 점차 편의성만을 위한 기술의 진보뿐만 아니라 생활함에 있어서 사람의 감성적인 측면도 중요시하는 하는 현재 상황에서 큰 이슈로 부각되고 있다. 즉, 모든 산업에 걸쳐서 점점 소음을 중요한 설계 변수로 판단하여 소음 저감을 위한 많은 노력과 투자를 하고 있다<sup>(1)</sup>. 마찬가지로 국방 산업 및 현장에서 소음을 중요하게 인지하기 시작하여 소음 저감과 군인들의 안전을 위한 대책 마련을 위해 연구를 진행하고 있다<sup>(2)</sup>.

군이 운용하는 무기체계에서 발생하는 소음의 형태로는 유도무기 사출 시 충격 소음 및 제트 소음, 총포 사격 시 충격 소음 등이 대표적이다.

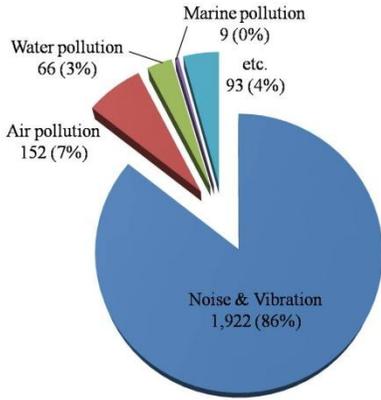
† 교신저자; 비회원, 국방과학연구소

E-mail : tkdalss17@naver.com

Tel : 041-671-2187, Fax : 041-673-1122

\* 국방과학연구소

\*\* 국방과학연구소



**Fig. 1** Current state of grievance mediation in environmental pollution (2009)

이와 같은 소음은 장비를 운용하는 군인들의 인체에 악영향을 미치며, 더불어 인근 주민들에게 소음 공해를 일으킴으로써 소송과 같은 법정분쟁으로 인한 경제적인 손실을 국가에 끼칠 수 있다. Fig. 1에서는 환경오염 분야별 분쟁조정현황을 제시하고 있으며 다양한 분야 중 특히 소음 및 진동관련 문제가 많은 법정분쟁으로 이어지고 있음을 여실히 보여주고 있다<sup>(3)</sup>. 따라서 무기체계에서 발생하는 소음을 줄이기 위한 노력이 필요하며, 그리고 소음원 분석을 통한 무기체계 운용자의 안전작업 영역 설정 및 주변의 소음 지도를 작성할 필요가 있다.

본 논문에서는 유도무기의 제트 소음에 대한 분석을 통해서 주변 환경의 소음 지도를 작성하여 살펴보고자 한다. 이는 군 운용자의 안전을 확보할 수 있도록 작업 영역 설정에 도움을 줄 수 있고, 또한 발사대 주변 환경에서의 소음을 유추함으로써 인근 주민들의 소음 피해 최소화 및 소음 저감을 위한 방음벽 설치 등에 유용한 자료로 활용될 수 있다.

전체적인 연구 내용으로, 2장에서는 소음원 예측식 및 해석 프로그램의 특징을 설명하고 3장에서는 유도무기 시험환경 및 계측결과 그리고 소음 해석 결과를 다루고 있다. 끝으로 4장에서는 본 연구의 활용 범위 및 의의를 살펴본다.

## 2. 소음원 예측식 및 해석 프로그램

소음원을 중심으로 한 주변에서의 소음 크기를 예측하기 위해서는 소음원의 에너지를 알아야 한다. 따라서 시험을 통해 얻은 각각의 측정 위치에서의

소음 크기를 이용하여 소음원을 역추적하여야 한다. 이는 소리가 지형적인 요인과 환경적인 요인으로 인해 감쇠되는 특징을 이용하여 비교적 정확하게 소음원의 크기를 파악할 수 있다. 다음의 내용에서는 소음이 전파되는 동안 감쇠에 영향을 미치는 요인과 이를 활용하여 소음원을 예측하는 방법에 대하여 다루고 있다. 또한 소음해석 프로그램의 특징을 간략히 설명한다.

### 2.1 소음원 예측식

본 내용은 도로, 공사 및 산업 현장 등에서의 소음을 분석할 때 유용하게 사용될 수 있지만 군이 운용하는 무기체계에서 발생하는 충격파 및 폭풍파 등의 환경에서는 적절한 방법이 아닐 수 있다<sup>(4)</sup>. 하지만 제트소음 형태에서는 적용 가능성이 있어 위와 같은 소음의 형태라 가정을 하고 소음원을 분석해 보았다.

우선, 각각의 측정 위치에서 얻은 소음 크기값은 식(1)과 같은 관계식을 갖는다.

$$L_{PT} = L_w + D_c - A \quad (1)$$

즉, 소음원의 sound power level에서 고유의 방향성과 지형 및 환경적인 요인에 의한 감쇠 효과가 중첩되어 나타난다. 본 논문에서는 모든 방향으로 같은 크기의 소음이 전파된다고 가정해  $D_c = 0$ 으로 설정하였다. 따라서 감쇠에 의한 효과만 고려하여 소음원의 크기를 추정하였다.

식(2)는 소음이 전파되는 동안 다양한 환경조건에서 발생하는 감쇠를 나타낸다.

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (2)$$

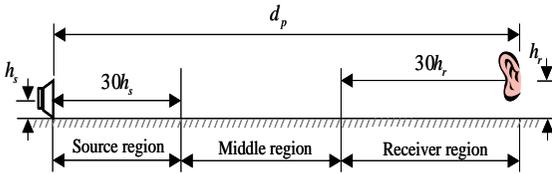
여기선, 두 지점 사이의 거리 차로 인해 생기는 기하학적 감쇠와 대기에 의한 흡수 그리고 지면 효과에 의한 감쇠만 고려대상으로 선정하였다. 왜냐하면 시험 시 주변에는 방음벽이 없으며 또한 식(2)에서 마지막 항의 효과는 앞의 세 개의 항에 비해 아주 미미하기 때문이다. 첫 번째로  $A_{div}$ 에 대하여 살펴보면 식(3)과 같다.

$$A_{div} = 20 \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 11, \quad d_0 = 1m \quad (3)$$

소음원에서 계측지점까지의 거리는  $d$ 로 표현되고 단위는 m이다. 이 항은 감쇠에서 차지하는 비중이

**Table 1** Atmospheric absorption attenuation coefficient

| Temp. (°C) | 5                     | 10                    |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| 63         | $1.99 \times 10^{-1}$ | $1.88 \times 10^{-1}$ |
| 125        | $4.74 \times 10^{-1}$ | $5.22 \times 10^{-1}$ |
| 250        | $9.15 \times 10^{-1}$ | 1.04                  |
| 500        | 2.10                  | 1.98                  |
| 1000       | 6.48                  | 5.07                  |
| 2000       | $2.27 \times 10$      | $1.68 \times 10$      |
| 4000       | $7.25 \times 10$      | $5.90 \times 10$      |
| 8000       | $1.69 \times 10^2$    | $1.77 \times 10^2$    |



**Fig. 2** Three distinct regions for determination of ground attenuation

가장 크다. 다음으로  $A_{atm}$ 은 식(4)로 표현된다.

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{1000} \text{ dB/km} \quad (4)$$

이때, 계수  $\alpha$ 는 주파수 별로 다르며 또한 온도, 습도 등에도 영향을 받는다. 예를 들면 Table1과 같이 상대습도가 40%일 때 온도에 따른 각 주파수 성분의 계수가 다름을 확인할 수 있다. 마지막으로  $A_{gr}$ 은 소음원과 예측지점 사이의 거리와 각각의 높이에 따라 3개의 지역으로 구분 가능하며, 이는 Fig. 2에 표현된 바와 같다<sup>(5)</sup>. 즉, 위의 그림에서 나타난 바와 같이  $A_{gr}$ 은 source, middle, receiver region을 모두 고려하여 표현된다. 이때 경우에 따라서는 middle region이 존재하지 않을 수도 있다. 여기서도 마찬가지로 각 주파수 별로 나누어 계산해야 하며 이는 식 (5), (6)에 정리되어 있다.

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (5)$$

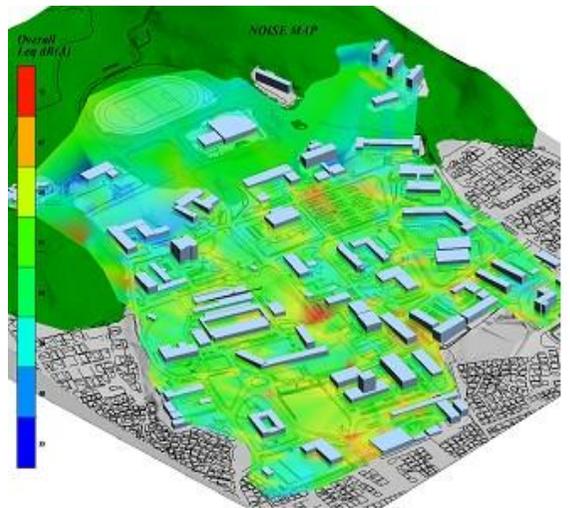
$$A_{gr} = \begin{cases} -3q - 3 & \text{at 63Hz} \\ G_s A'_s + G_r A'_r - 3q(1 - G_m) - 3 & \text{at 125Hz} \\ G_s B'_s + G_r B'_r - 3q(1 - G_m) - 3 & \text{at 250Hz} \\ G_s C'_s + G_r C'_r - 3q(1 - G_m) - 3 & \text{at 500Hz} \\ G_s D'_s + G_r D'_r - 3q(1 - G_m) - 3 & \text{at 1 kHz} \\ 1.5(G_s + G_r) - 3q(1 - G_m) - 3 & \text{at 2, 4, 8 kHz} \end{cases}$$

$$\begin{cases} q = 1 - \frac{30(h_s+h_r)}{d_p}, \text{ if } q < 0, q = 0 \\ A' = 1.5 + 3e^{-0.12(h-5)^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right) \\ \quad + 5.7e^{-0.09h^2} (1 - e^{-2.8 \times 10^{-6} \times d_p^2}) \\ B' = 1.5 + 8.6e^{-0.09h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right) \\ C' = 1.5 + 14e^{-0.46h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right) \\ D' = 1.5 + 5e^{-0.9h^2} \left(1 - e^{-\frac{d_p}{50}}\right) \end{cases} \quad (6)$$

위의 식에서 G값은 0~1 사이의 값을 가지며, 콘크리트와 같이 지면이 딱딱하면 0으로 표현한다.

## 2.2 소음 해석 프로그램

2.1절에서 설명한 소음원 예측식을 이용하여 음원의 sound power level을 구하면, 소음해석은 ENPro(Environment Noise Prediction & Design Program)를 활용하여 수행한다. 이 소프트웨어는 크리에이티브과 부산대 첨단조선공학연구센터가 공동 개발한 실내·외 환경소음 시뮬레이션 프로그램이다. 실내 소음에는 확산음장이론을 적용하고 있으며 실외 소음에는 ISO 9613을 기반으로 하고 있다<sup>(6)</sup>. Fig. 3에서는 다양한 소음원과 주변환경을 모델링하여 환경 소음지도를 그린 예를 보여주고 있다. 본 프로그램은 국내·외 기업 및 기관에서 건설, 교통, 발전소와 같은 산업시설에서 유발되는 소음 등을 예측하고 소음저감 대책을 수립할 때 시뮬레이션 도구로 활용되고 있어 소프트웨어의 신뢰성을 인정받고 있다.



**Fig. 3** Example of noise map drawn by using ENPro

### 3. 유도무기 소음 해석

2장에서 제시한 내용을 바탕으로 유도무기의 소음을 분석하였다. 따라서 3장에서는 시험 대상인 유도무기에 대한 간략한 소개와 시험 환경 그리고 계측 결과 및 소음 해석 결과를 다루고 있다.

#### 3.1 시험 무기 체계

아래의 그림에 소개된 유도무기 체계는 국산 첨단 지대공 미사일 ‘철매-II’이다. 이 유도무기는 중 고도용으로 개발되었으며 지상에서 수직으로 발사된다. ‘철매-II’는 교전통체계 및 다기능레이더 체계와 함께 운용이 되며, 초기 발사 후 표적의 방향에 맞게 측추력기를 이용한 초기 턴을 시행한다. 이후 최적의 비행궤적을 따라 이동 후 목표물을 격추시킨다<sup>(7)</sup>.

#### 3.2 시험 환경 및 계측 결과

3.1에서 언급한 유도무기의 비행 시험 시 발사장의 기온, 습도, 풍향 및 풍속은 Table 2에 정리된 바와 같다. 이는 소음 해석을 수행할 때 환경변수로 사용된다. 그리고 소음을 계측하기 위해 발사장 주변에 총 9개의 microphone을 Fig. 5과 같이 설치하였다. 이때 각각의 센서들이 발사지점으로부터 떨어진 거리와 지상에서의 높이는 3번 센서를 기준으로 작성하였고 이는 Table 3에 나타난 바와 같다.



Fig. 4 Guided weapon system-‘chulmae II’

Table 2 Environment data

| Parameter   | Value  |
|-------------|--------|
| Temperature | 8.2 °C |
| Humidity    | 40 %   |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Atmospheric pressure | 1019.7 hPa |
| Wind speed           | 3.1 m/s    |
| Wind direction       | 145 °      |

Table 3 Information about sensor used in test

| Channel | Distance | Height | Sensor                     |
|---------|----------|--------|----------------------------|
| 1       | 0.033    | 1      | B&K Type 4958 (free-field) |
| 2       | 0.500    |        |                            |
| 3       | 1        |        |                            |
| 4       | 0.233    |        |                            |
| 5       | 1.333    |        |                            |
| 6       | 1.333    |        |                            |
| 7       | 1        |        |                            |
| 8       | 0.500    |        |                            |
| 9       | 0.961    | 2.631  |                            |

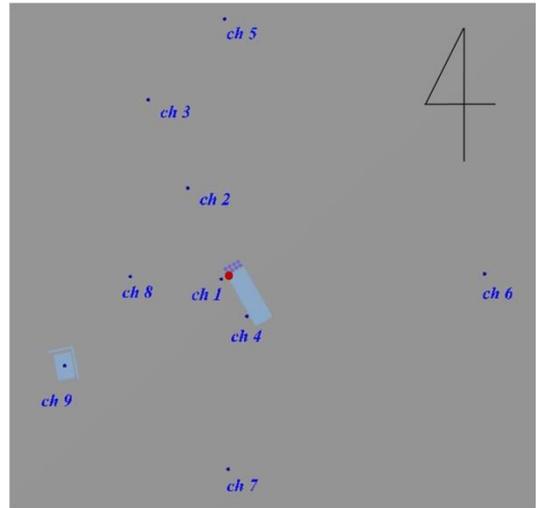


Fig. 5 Location of microphones around launch pad

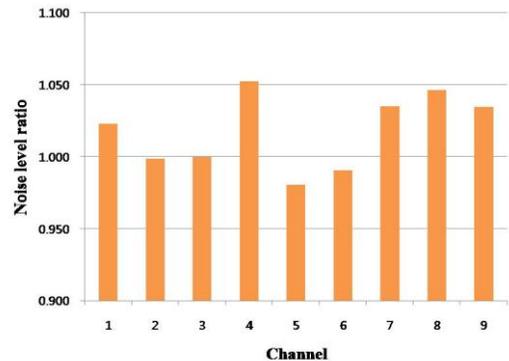


Fig. 6 Value of noise level measured at each microphone

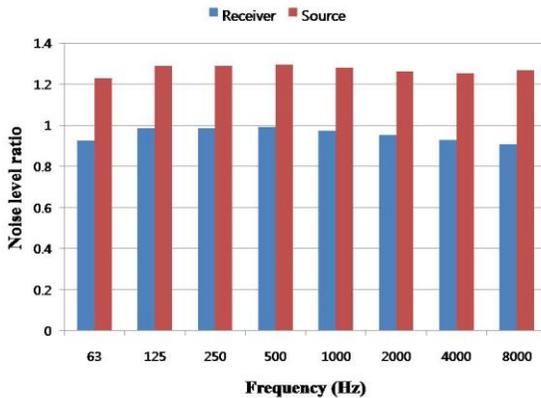
시험 후 얻은 소음 데이터를 가지고 octave 분석을 수행하였고, 최대 소음이 발생한 시점을 기준으로 결과를 비교해보았다. 이를 그래프로 나타내면 Fig. 6와 같으며 마찬가지로 결과값들은 3번 센서의 결과값에 대한 비로 표현하였다. 결과들을 살펴보면 발사지점과의 거리가 가까울수록 최대 소음의 크기가 증가함을 알 수 있다. 그리고 발사대의 면을 기준으로 두 지역에서 측정한 전체적인 소음 크기에 차이가 있음을 그래프를 통해서 확인할 수 있다.

### 3.3 소음 해석 결과

앞서 언급한 측정 데이터를 토대로 소음원의 sound power level을 유추하여 소음 해석을 수행하였다. 여기에서는 7번 센서의 자료를 바탕으로 소음원을 추정해 보았다. 아래의 표에서는 소음원에서 수음점까지 도달하는 동안 일어나는 감쇠 크기를 정리해 보여주고 있다. 각각의 크기는 2.1에서 설명한 식들을 활용하여 구할 수 있으며, 아래의 값은 3번 센서를 기준으로 상대적인 크기를 나타내고 있다.

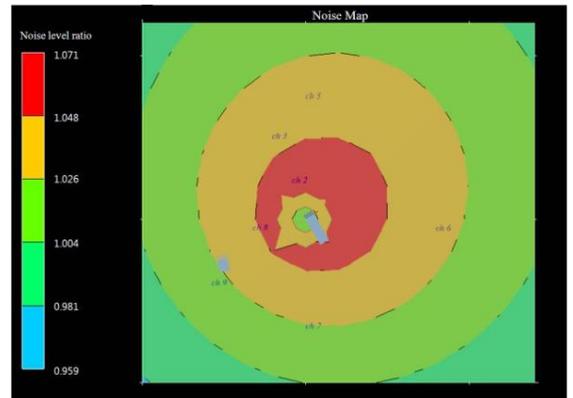
**Table 4** Result of calculation of attenuation

| A         | $A_{div}$ | $A_{atm}$ | $A_{gr}$ |
|-----------|-----------|-----------|----------|
| Freq.(Hz) |           |           |          |
| 63        | 1.010     | 1.051     | 1        |
| 125       |           |           |          |
| 250       |           |           |          |
| 500       |           |           |          |
| 1000      |           |           |          |
| 2000      |           |           |          |
| 4000      |           |           |          |
| 8000      |           |           |          |

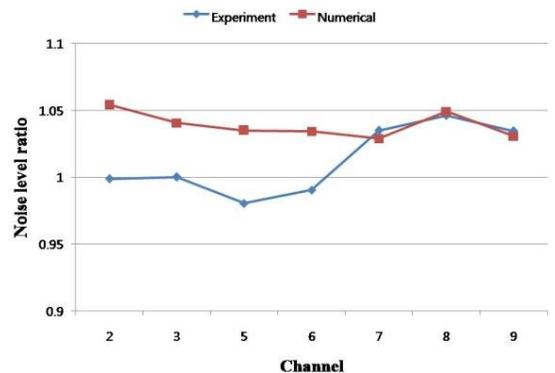


**Fig. 7** Comparison of noise level in receiver and source

Table 4의 결과를 활용하여 소음원의 sound power level을 추정하면 Fig. 7과 같다. 위의 결과는 7번 센서에서 측정한 자료를 가지고 1/1 octave band analysis를 수행하여 각 band의 중심 주파수에서의 크기를 구한 후, Table 4에 제시된 감쇠 크기를 더함으로써 얻은 것이다. 위에 제시된 값을 이용하여 소음해석을 하면 Fig. 8과 같은 소음 지도를 얻을 수 있다. 그리고 시뮬레이션 결과와 실제 측정값을 Fig. 9와 같이 그래프로 나타내어 서로 비교해보았다. 마찬가지로, 여기에서도 각각의 크기들은 3번 센서에서 관측된 최대 소음 크기를 기준으로 하여 표현되었다. 우선 비교대상에서는 1번과 4번 센서 결과를 제외하였다. 왜냐하면 발사대와 가까운 거리에서 측정하였기 때문에 외란의 영향으로 소음해석 시 설정한 환경과는 많은 차이를 가지고 있기 때문이다. 따라서 이를 제외한 나머지에서 결과를 비교하였고 전반적으로 측정값과 수치해가 유사함을 확인할 수 있었다.



**Fig. 8** Drawing up a noise map under launch environment



**Fig. 9** Comparison between experimental data and numerical result

#### 4. 결 론

전반적인 연구 내용을 정리하면 다음과 같다. 군에서 운용하는 유도무기체계의 소음을 microphone을 이용하여 계측하고 이를 분석하여 소음원의 sound power level을 유추하였다. 그리고 본 자료를 토대로 실내·외 소음 해석 프로그램인 ENPro를 사용하여 발사 환경에서의 소음지도를 작성하였다. 또한 시뮬레이션 결과와 시험 계측 결과를 비교해봄으로써 향후 시뮬레이션 결과의 활용도를 높일 수 있는 가능성을 엿보았다.

본 논문의 결과들은 다양한 분야에 활용될 수 있다고 보여진다. 우선적으로, 무기체계를 운용하는 군인의 청각을 보호하기 위한 기반 자료로 사용될 수 있다. 왜냐하면 각 무기체계에서 발생하는 소음을 기준으로 소음지도를 예측한다면 운용자의 안전작업영역을 설정하는데 도움을 줄 수 있기 때문이다. 이는 점점 운용자의 안전을 중시하는 시대적 변화에서 중요한 역할을 할 것이다. 그리고 유도무기 시험 장소를 중심으로 소음지도를 예측해봄으로써 인근 지역 주민들이 겪을 수 있는 소음의 수준을 예상하여 주민들의 피해를 최소화 할 수 있도록 방음벽 등의 소음감쇠 장치들의 마련 또는 시험장소 변경 등의 결정에 유용한 자료로 활용할 수 있다.

앞으로의 연구 방향으로는 소음원 모델에 대한 데이터베이스화 및 시간에 따른 이동 소음원에 대한 해석 등이 있다. 본 논문에서는 소음원을 간단한 점 소음원 형태 및 모든 방향으로 같은 크기의 소음이 전파된다고 가정을 하였는데, 이후에는 방향성과 같은 정보를 담은 보다 정교한 모델로 구성하여 다양한 무기체계의 소음자료를 데이터로 정리해 보존할 필요가 있다. 또한 무기체계는 정적이지 않고 동적이기 때문에 시간에 따라 이동하는 소음원에 대한 해석을 수행하여 실제와 더욱 가까운 시뮬레이션 환경을 구현함으로써 군 및 무기 개발 연구원들에게 더욱 가치있는 자료로 활용될 수 있도록 하여야 한다.

#### 참 고 문 헌

(1) Song, M. K., Oh, K. S. and Lee, S. K., 2008, Structural Modification for the Reduction of Radiation Noise of a Powertrain Based on CAE Technology, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 18, No. 4, pp. 439~447.  
(2) Kang, K. J., Ahn, S. T., Choi, U. J. and Hong, S.

K., 2009, A Study on Impulsive Noise caused when shooting firearm, Journal of KSNVE. Vol. 19, No. 2, pp. 4~8.

(3) <http://edc.me.go.kr>

(4) ISO 9613-1:1993, Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 1,2.

(5) ENPro User and Technical Manual

(6) <http://www.createch.co.kr>

(7) <http://blog.daum.net/dapapr>