

## 포 발사에 따른 쉘터 구조물의 차음 및 구조안전성 연구

이해석<sup>1)</sup> · 허동은<sup>1)</sup> · 박노석<sup>1)</sup> · 나태흠<sup>1)</sup> · 장요한<sup>1)</sup> · 홍준희<sup>\*,2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제8기술연구본부

<sup>2)</sup> 충남대학교 기계공학과

### A Study of Sound Insulation and Structure Safety of the Shelter from the Firing of the Large Caliber Gun

HaeSuk Lee<sup>1)</sup> · DongEun Heo<sup>1)</sup> · NoSeok Park<sup>1)</sup> · TaeHeum Na<sup>1)</sup> · YoHan Jang<sup>1)</sup> · JunHee Hong<sup>\*,2)</sup>

<sup>1)</sup> The 8th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Korea

(Received 2 March 2017 / Revised 11 May 2017 / Accepted 11 August 2017)

#### ABSTRACT

This paper describes the sound insulation and structural safety of the shelter which may be used for shooters. The noise level of the shelter should be less than 100 dB on the basis of the Industrial Safety and Act, the World Health Organization and the MIL-STD. The sound insulation design was designed for the shelter structure. The designed shelter performance was verified by the real measurement after completing the construction of the shelter. The system was also designed using the finite element method with data of sound pressure measured in the test. Its response was obtained numerically. It is proved that the shelter structure is sufficiently safe considering the calculated maximum stress level with the allowable stress of structural property.

Key Words : Shelter, Shock Noise, Structure Analysis, Firing Test

#### 1. 서론

총포탄약 사격 시 발생하는 충격소음은 폭풍파의 형태로 전파되는 고강도로 무기 체계의 포구에너지 증대 추세에 따라 지속적으로 증가되고 있다. 충격소음의 원인은 크게 세가지로 분류할 수 있으며 그 첫째

는 포탄의 포구이탈에 앞선 공기 분출로 발생하는 선임충격파(Precursor wave), 둘째로는 포탄 이탈로 발생하는 탄자 파열음(Projectile burst shock wave), 셋째로는 포탄 이탈 후 추진가스의 고폭분출(High explosive emission)로 인해 발생하는 추진가스 폭풍파(Propellant shock wave)이다. 충격소음에 노출된 상태에서 시험을 연속적으로 수행하는 경우 인체에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 대책마련이 꾸준히 요구되어져 왔다<sup>1-4)</sup>.

\* Corresponding author, E-mail: hongjh@cnu.ac.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

또한 흑서기와 동절기에 외부환경에 노출된 상태로 시험수행 시 작업능률 저하와 외부여건에 의한 시험대기로 인해 피로 경감을 줄이기 위한 방안으로 화포 후방에 일정규모의 쉘터를 구축하여 시험을 진행할 수 있는 방안이 검토되어져 왔다.

Fig. 1은 야외에서 쉘터없이 견인곡사포를 이용하여 사격을 수행하는 장면에 대한 예를 나타낸 것이며 Fig. 2는 인체보호 및 시험수행효율 향상을 위한 방안으로 화포 후방에 쉘터가 설치된 모습을 나타낸 것이다. 쉘터는 화포에서 탄이 발사되는 사격지점과 폭압으로부터 1차적으로 신체 및 건물을 보호하는 방호벽 후방에 구축되며 시험요원은 쉘터내부에서 시험을 운용할 수 있다.



Fig. 1. The firing test by 155 mm howitzer at the firing test range<sup>[5]</sup>

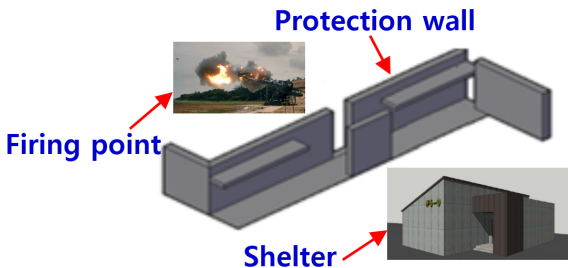


Fig. 2. The figure of the fixed mount and shelter built at the firing test range

쉘터 내부에서 원활한 시험을 수행하기 위해서는 실내소음 기준으로 산업안전보건법, 세계보건기구(WHO)와 MIL-STD<sup>[6]</sup>를 참조할 경우 100 dB(A) 이하로 설정되어진다.

쉘터와 같은 구조물에 대하여 폭발과에 의한 폭압을 저감시키기 위한 방안에 대한 연구가 국,내외의 특수분야에서 주로 연구되어져 왔으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

R. Hajeck & M. Folar<sup>[7]</sup> 폭발과 전과 감소를 위해 사용되는 콘크리트 구조물에 대한 해석을 위해 FEM 모델과 LS-DYNA software를 이용하여 최대폭압 감소량을 예측하였으며 실제 실험을 통해 이를 검증하였다.

WU Jun 등은<sup>[8]</sup> 폭발방지를 위한 방안으로 설계된 방벽에 대한 충격과의 영향을 알아보기 위해 FEM 모델과 실제 실험을 통하여 검증작업을 수행하였으며 Mohammed Alias Yusof 등은<sup>[9]</sup> 강화된 콘크리트 폭압용 벽근처에 TNT 5 kg의 용량을 사용하여 폭발과 현상을 확인하였다.

강화된 콘크리트 두께는 250 mm이고 높이는 4,500 mm이다. 컴퓨터 해석은 Auto Dyna 3D 코드 소프트웨어를 이용하여 해석되어졌으며 실험결과와 이론결과가 잘 일치하였다.

Zeynep Koccaz 등은<sup>[10]</sup> 테러리스트 등이 폭발물 사용을 지속적으로 사용함에 따라 건물의 안전성을 확보해야할 필요성이 대두되어 폭압에 견딜 수 있는 건축구조물을 설계하였으며, 미육군(US Army)에서는<sup>[11]</sup> 이라크에서 주둔중인 미군들을 IED로부터 보호하기 위하여 TNT 폭발 후 발생하는 폭압으로부터 콘크리트 벽이 어느정도 견딜 수 있는지 연구를 수행하였다.

C. K. Gautam and R. C. Pathak<sup>[12]</sup> 충격과와 폭압에 견딜 수 있는 구조물 설계를 위해 1.5 m 높이에서 최대 12 psi의 압력이 발생될 경우 견딜 수 있는 구조물을 시뮬레이션 수행 후 실험을 실시하여 이를 검증하였다.

김남혁 등은<sup>[13]</sup> 폭약, 폭발물의 테러 공격으로부터 방호가능한 구조물의 출입문으로 사용되는 방폭문중 슬라이딩 방폭문에 대해 M&S를 이용한 수치해석 및 실험을 통해 방폭문의 구조적 안전성에 대한 연구를 진행하였으며 손동훈 등은<sup>[14]</sup> 군 작전 시 운용인원의 생존성 및 임무수행의 지속성을 보장하는 기능이 있는 쉘터구조물의 구조건정성을 소재물성시험과 해석을 통해 입증하였다.

지금까지 연구결과에서는 폭약 폭발에 따른 콘크리트 구조물과 방폭문등의 구조안전성과 군사임무 수행을 위한 생존성 및 임무수행의 지속성을 위한연구 내용을 주로 다루어 왔으며 화포에서 발생하는 충격소음을 저감할 수 있는 폭압저감 연구는 관련분야의 특

수성으로 인하여 많은 연구가 수행되지 않았다.

본 논문은 화포에서 발생하는 충격소음에 따른 시험요원의 노출을 최소화 할 수 있는 헬터에 대한 차음 및 구조안전성관련 연구내용이다.

논문의 전반부에서는 충격소음 특성과 폭압에 대한 이론적 고찰을 수행하였으며, 중반부에서는 방음해석 및 차음 설계 내용을 기술하였다.

후반부에서는 유한요소 모델링, 구속조건 및 결과분석 등을 통해 시험수행에 적합한 헬터의 구조안전성을 확인하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 충격소음 특성

충격소음은 35 msec 이내의 아주 작은 지속시간 동안 발생하는 과도상태의 소음을 의미한다.

충격성 소음은 급격한 압력 상승 후의 일정한 감쇠 형태를 나타내는 특성을 가진 형태와 압력 상승 후 감쇠가 진동하는 특성을 가진 형태로 크게 나누어 질 수 있다. 충격성 소음의 주파수 특성을 살펴보면 이론적으로 델타함수와 같이 완전한 충격의 주파수 특성은 랜덤노이즈(random noise)와 동일하게 전 주파수 대역에서 균일한 에너지 분포를 가지는 형태로 나타난다.

하지만 실제의 경우 충격파형의 상승속도, 최대치(peak) 및 지속(duration)이 다르기 때문에 충격 형상에 따라 상이한 주파수 특성을 가지게 된다<sup>[15]</sup>.

충격소음을 측정하는 방법으로 A-duration 시간과 B-duration 시간을 측정하는데, A-duration의 경우는 순간적인 피크압력 후에 음압이 최초 대기압으로 도달하는 시간을 측정하는 것으로 폭음의 영향이 직접적으로 시험요원에게 영향을 주는 경우에 타당성이 있는 측정방법이지만 실제로 계측시에는 반사파의 영향을 무시하기 어렵다. 따라서 A-duration만으로는 폭음에 따른 영향(전달, 반사, 굴절등)을 모두 나타낼 수 없으므로 음압이 처음 피크가 된 이후 정상상태가 될 때까지, 간접적으로 영향을 받는 부분을 모두 전체값에 포함시키는 B-duration을 사용한다.

### 2.2 폭발압력 모델<sup>[16]</sup>

화포 포구주위에 갑작스런 에너지 방출로 압력이 급격히 증가하게 되는 것을 폭발파라고 하는데, 폭발파

는 주변의 공기를 순식간에 팽창시켜 압력을 만들어 낸다.

이때의 압력은 대기압에서 최고입사 압력까지 상승하며, 초기에 발생한 최고치의 입사 압력은 다시 일정한 시간에 걸쳐 서서히 멀어지게 되는데, 대기압보다 낮은 압력인 부압단계를 거친 뒤 다시 대기압으로 회복한다.

Fig. 3에서 X축은 시간을 나타내며 Y축은 압력을 나타내고 있다. 대기압력  $P_0$ 는 참조로서 보여주며, 플러스(+)압력과 마이너스(-) 압력값에 대하여 제로(0) 압력이다. 폭발 후 폭발파는 시간  $t_d$ 에 목표물에 이르게 된다.

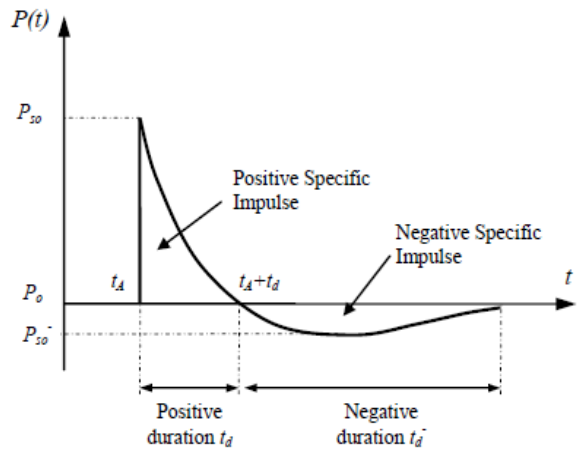


Fig. 3. Blast wave pressure-time history

그리고 즉시 최대압력  $P_{SO}$ 에 닿는다.  $P_{SO}$ 는 최대 플러스(+)압력이며 대기압력  $P_0$ 에 즉각적으로 감소한다. 경향은 마이너스(-)방향과 마이너스(-)압력인  $P_{SO-}$ 에 계속 진행된다. 최대압력  $P_{SO}$ 는 폭압하중에 대한 구조물의 설계와 응답을 알아내기 위해서 매우 중요한 변수로 고려되어진다.

## 3. 차음 설계 조건

### 3.1 외부 소음원의 크기

실내 소음 설계기준 100 dB(A)를 만족하기 위한 헬터 차음 설계 수행 시 헬터 외부에 입사하는 충격 소음도는 실측 및 자료분석 등을 통해 Fig. 4와 같이

결정 되어졌다. 화포에서 발생하는 소음의 경우 사격 장소, 날씨 및 지형등에 따라 소음값이 달라질 수 있기 때문에 실제 쉘터 설계를 위해 사용되는 최대 소음값을 찾아내는 것이 필요하므로 여러곳의 화력시험 진지에서 화포의 최대 소음을 측정한 후 주파수 분석을 통해 주파수별로 가장 높은 소음이 발생하는 값에 대한 평균값을 구하여 Fig. 4와 같은 그래프가 작성되어 있다.

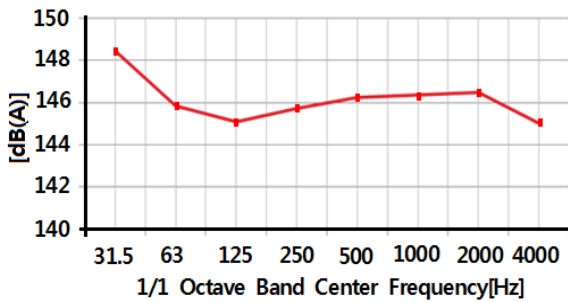


Fig. 4. The maximum value to each point according to the frequency

그래프를 살펴보면 31.5 Hz 구간에서 약 149 dB(A), 63~4,000 Hz 사이에서는 144~146dB(A) 정도의 소음이 발생된 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 목표 차음량

상기 외부 충격소음 적용시 실내 소음 기준을 만족하기 위한 차음량(NR, Noise Reduction, dB) 목표는 구조 벽체에 비해 차음 성능이 낮은 출입문 등에 의한 건물의 복합 차음량이 이론치에 비해 통상 8~15 dB 가량 저하되는 점 및 Fig. 4 시험자료의 31.5 Hz 지점에서 최대 소음이 약 149 dB(A), 실내소음 설계기준 100 dB(A)를 만족시키기 위해 오차범위 등을 고려하여 55dB 이상으로 설정하였다. 55dB 이상으로 설정된 이유는 콘크리트 벽에서의 차음효과가 55 dB보다 훨씬 크고 출입문등에서는 55 dB보다 적기 때문에 이 값들을 평균 값으로 할 경우 약 55 dB가 되므로 본 값으로 설정하였다.

### 3.3 차음량 및 실내 전달 소음 계산

쉘터의 차음량 계산은 건축 부재의 음향투과손실 시뮬레이션용 범용 계산 소프트웨어인 뉴질랜드 Marshall Day Acoustics社의 INSUL ver 7.0을 사용하였다. 검토

결과 목표 차음량 기준 55 dB를 만족하기 위한 부재별 차음 설계 결과는 Table 1과 같다.

차음 계산시 적용된 쉘터부재의 크기는 Table 1과 같이 벽면에 해당되는 15 m(L) × 4 m(H) × 0.9 m(T) 2곳, 10 m(L) × 4 m(H) × 0.9 m(T) 2곳, 15 m(L) × 10 m(L) × 0.6 m(T) 크기의 지붕 1곳, 출입문 1.0 m(L) × 2.0 m(H) 등으로 구성되어진다.

Table 1. The result of sound insulation design

	A	S(m)	N	T(m)	M
Outside	Wall 1	15(L) × 4(H)	1	0.9	Concrete
	Wall 2	15(L) × 4(H)	1	0.9	Concrete
	Wall 3	10(L) × 4(H)	1	0.9	Concrete
	Wall 4	10(L) × 4(H)	1	0.9	Concrete
	Roof	15(L) × 10(L)	1	0.6	Concrete
Fitting	Entrance Door	1.0(L) × 2.0(H)	1	In/Out Insulation door	Sound Insulation (1 Door)
	Surveillance window	0.5(L) × 0.3(H)	5	In/Out 31.52	Sound Insulation (2 Glass)
Inside	Wall, Ceiling	13.2(L) × 8.2(L) × 3.4(H)	5	0.05	Sound Absorbition (Board)
	Floor	13.2(L) × 8.2(L)	1	0.003	Heat Tile
<b>Reference</b>					
A : Area, S : Size, N : Number, T : Thickness, M : Material L : Length					

또한 콘크리트 내부의 벽과 천정은 13.2 m(L) × 8.2 m(L) × 3.4 m(H) 크기로 흡음재를 설치하는 방안으로 설계되어졌으며, 쉘터내부의 바닥은 열에 견딜 수 있는 타일은 13.2 m(L) × 8.2 m(L) × 0.003 m(T) 크기로 설정되어졌다.

Fig. 5는 차음설계 적용 후 각 부재를 통한 쉘터내부 전달음과 총 합성소음 계산 결과를 나타낸 것이다.

여기서,  $L_pElement1 \sim L_pElement5$ 는 각부재를 통해 충격소음이 인입되는 소음값을 나타낸 것이다.

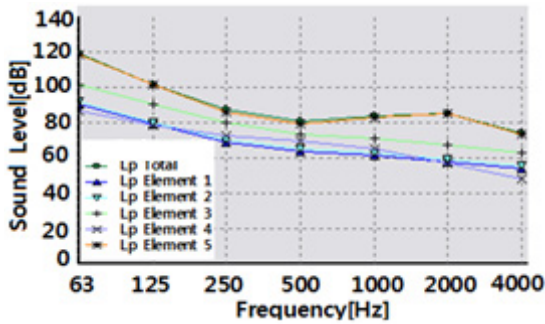


Fig. 5. The transmission to interior noise of the shelter after soundproofing design

Lp Element 1, Lp Element 2는 콘크리트 벽, Lp Element 3은 지붕, Lp Element 4는 감시창, Lp Element 5는 문으로부터 들어오는 충격소음을 말하며 Lp Total은 전체를 총 합한 것이다. Fig. 5의 충격소음 값은 청감보정을 하지 않은 값이며 A-weighting으로 보정할 경우 쉘터내부에서의 소음은 최대 약 91 dB(A)가 된다.

Table 2. The sound insulation efficiency of the sound proofing door and the sound absorption of the efficiency for interior material

Frequency(Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
The door of sound proof Performance (TL, dB)	25	30	40	40	45	50
The finish of indoor Performance (Ratio, $\alpha$ )	0.2	0.6	0.9	0.9	0.9	0.9

계산결과 실내 전달소음은 이론적으로 91 dB(A)로 설계기준 100 dB(A)를 만족하였다. 여기에 시뮬레이션 허용 오차 범위 4 dB(A)를 고려하더라도 95 dB(A)로 설계 기준 이하를 만족할 것으로 확인되었다.

Table 2는 방음문의 주파수별 음향투과등급(STC, Sound Transmission Class) 기준과 실내 흡음 마감재의 흡음율 기준을 표기한 것으로서, 표기 기준 동등 이상의 성능을 갖는 재료를 사용하면 기준치를 만족하게 된다.

#### 4. 신호 획득 방법 및 계측결과

음압센서는 지상 1.5 m 위치에 삼각대를 이용하여 Fig. 6과 같이 쉘터 내부와 외부 5개 지점에 설치하였으며 기상상태는 맑은날씨, 기온은 영상 20도에 습도는 25 % 조건이다.

사격에 따른 순간적인 최대음압 계측을 위해 신호 획득 장치는 B&K PULSE 3560C로 분해능 24 bit와 샘플링 2 kS/sec가 적용되어 되었다.

자료처리는 Analyzer Pulse S/W가 사용되어졌으며 사용된 센서는 음압범위에 따라 쉘터 내부(2곳) 및 외부(3곳)에 PCB 106B와 PCB 378802를 설치하였다<sup>[17,18]</sup>.

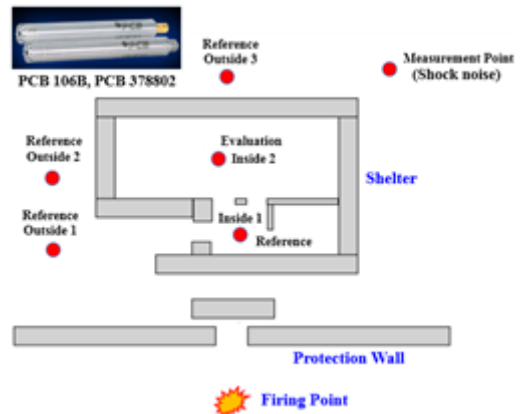


Fig. 6. The location of sensor installation to the inside and outside of the shelter

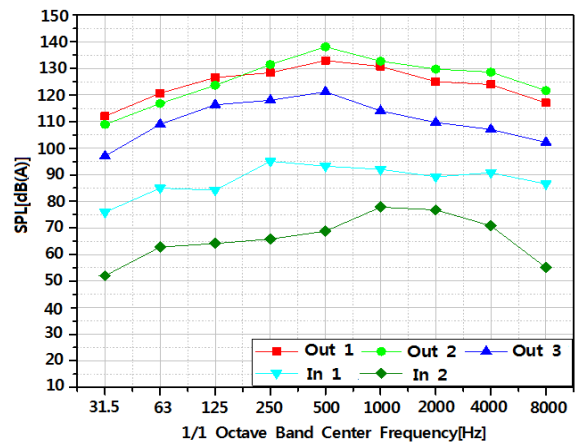


Fig. 7. The measurement value of the noise at inside and outside of the shelter

Fig. 7은 쉘터구축 후 실내 및 외부에 음압센서를 설치하여 측정된 값을 나타낸 것으로 In 1, In 2는 쉘터내부에 센서를 설치한 것이며, Out 1, Out 2, Out 3은 쉘터외부에 센서를 설치한 것이다. 쉘터내부 Inside 1지점에서(In 1) 최고 95 dB(A)가 계측된 것을 확인할 수 있으며 대체적으로 250~1,000 Hz 구간에 가장 높은 소음이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

이는 쉘터외부 Outside 2 지점인 약 140 dB(A) 보다 50 dB(A) 정도 소음이 저감된 것을 확인할 수 있으며 쉘터 구축전 음향투과손실 시뮬레이션 자료와 유사한 것을 확인할 수 있다.

### 5. 쉘터 구조 안전성 해석

쉘터는 콘크리트 구조물로써 시험요원과 계측 장비가 안전하게 대피하는 공간이다. 따라서 본 구조물은 외부 폭압에 대한 안전성이 검증되어야 한다.

콘크리트 구조물은 Fig. 8과 같이 매립층에 의하여 1 m의 깊이로 매립되어 있으며, 차음설계를 통해 확보된 자료를 이용하여 벽두께, 지붕두께 등을 모델링하였다. 또한, 구조 안전성을 검증하기 위하여 유한요소기법을 이용하여 시스템을 모델링하고 측정된 음압데이터를 입력하여 이의 응답을 해석적으로 구하고 해석된 최대 스트레스를 구조 물성의 허용 스트레스와 비교하여 그 크기가 작은지 여부를 검증하였다.

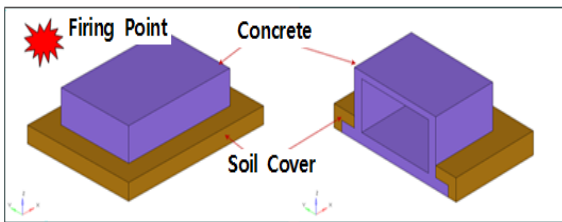


Fig. 8. The structure of Shelter modeling for overpressure using

쉘터를 어느 정도 단순화할 필요성이 제기되어 박스형태의 구조물로 설계 하였으며 쉘터에 최대 약조건이 가해졌을 경우를 고려하여 폭압이 직접 쉘터에 영향을 미친다는 가정 하에 구조해석을 실시하였다. 또한, 쉘터구축의 목적은 시험요원이 쉘터 내부에서

폭압의 영향 없이 안전하게 시험을 수행할 수 있기 위한 구조물 설계가 기본이다.

즉, 소음저감폭포치로서 쉘터 내부에서 100 dB(A) 이내의 소음이 발생될 수 있도록 설계하는 것이 가장 중요한 설계요소이다.

100 dB(A) 이내로 소음이 저감될 수 있는 구조물을 설계하기 위해서는 우선적으로 벽두께 및 천정두께가 설정되었다. 벽두께와 천정두께가 정해진 다음 구조물에 대한 해석은 2차적으로 수행되어지게 된다.

본 논문에서는 쉘터에 대한 구조해석은 실제 100 dB(A) 이하의 소음을 저감시킬 수 있는 구조물에 대하여 안전성을 확인하는 측면이 크다고 할 수 있다.

#### 5.1 유한요소 모델링

유한요소 모델링에 필요한 전처리는 HyperMesh를 이용하였다. 스트레스 해석을 위해서는 조밀하고 정형화된 엘리먼트의 형태를 유도할 필요가 있다.

또한 스트레스 확인을 위한 해석은 솔리드 요소의 경우 구조물의 단면에 최소 3겹 이상의 요소로 구성하여야 한다. 평균요소의 크기는 0.10~0.15 m 수준으로 전체 길이와 비교해 보았을 때 스트레스 해석에 적절한 조밀도를 가진다.

총 절점 개수는 133,590개, 요소의 수는 정방형 솔리드 요소를 이용하여 128,320개로 구성하였다.

#### 5.2 구속조건

구속 조건은 해석에 이용되는 유한 요소 모델에 입력되는 경계 조건으로 최대한 현실과 유사한 특징을 부여하여야 한다.

매립층의 외부는 무한히 넓은 토양층과 연속적으로 연결되어 있기 때문에 모델링상에서 완전 구속 조건을 부여하였다. 또한 폭압은 공기중에 방사되어 공기와 닿는 면에 가진력으로 작용하게 되므로 모델의 노출부는 모두 Surface를 생성하고, 생성된 Surface는 시간 도메인에서 폭압의 형태를 입력한다.

Table 3. The data of Properties used for analysis

Properties	Concrete	Filling layer
Young's Modulus(GPa)	23	0.1
Possion's Ration	0.15	0.35
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2,400	1,800

이는 매우 열악한 조건으로 실제로는 음압이 가해지는 반대면은 그보다 훨씬 작은 음압이 작용된다. 따라서 본 해석의 결과를 만족한다면 실제 구조물은 매우 강건하다고 판단할 수 있다. Table 3은 해석에 사용된 물성치 데이터를 나타낸 것이다.

### 5.3 해석 방법 및 결과분석

작성된 유한 요소 모델을 측정된 시간 도메인의 음압 데이터를 입력으로 적용하여 해석하기 위하여 ABAQUS/Explicit가 이용되었다.

이는 시간 도메인에서 임의의 입력에 대한 시스템의 비선형 과도 응답을 해석하기에 매우 알맞은 솔버이다. 총 해석시간은 입력 음압 데이터의 측정 시간인 500 msec로 설정하였으며 해석의 결과를 출력하는 시간은 1 msec로 설정하여 총 500개의 데이터를 출력하도록 설정하였다.

해석의 결과는 총 500개의 시간 도메인 결과로 시간이 증가함에 따라 구조물의 동적 거동을 나타낸다. 그 중 관심 있는 부분은 최대의 스트레스(Max. Stress)를 나타내는 시간과 그 요소이다. 후처리 과정을 거쳐 최대 스트레스를 나타내는 시간은 129 msec이며 최대 스트레스는 0.129 MPa 임을 확인하였다.

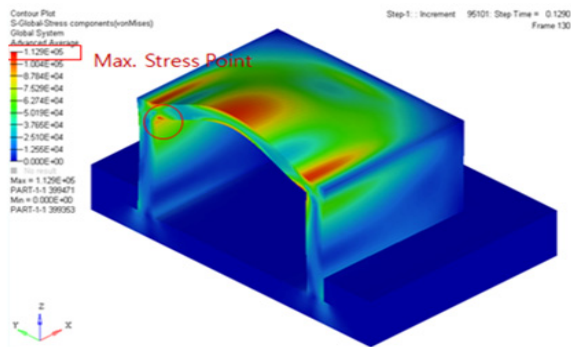


Fig. 9 The result of analysis at the Max Stress

주요 스트레스 지점은 Fig. 9와 같이 중앙부와 그의 끝단 연결부임을 확인할 수 있었으며 음압 입력에 따라 스트레스는 일정한 진동수로 진동하며 그 값이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

### 5.4 구조 안전성 검증

콘크리트 구조물의 허용 응력은 Table 4를 근거로 하여 가장 약한 6.89 MPa를 기준으로 하였다.

Table 4. Compressive strength of concrete masonry

Net area compressive strength of concrete masonry units(MPa)		Net area compressive strength of masonry (MPa) *
Type M or S mortar	Type N mortar	
8.61	8.96	6.89
13.09	14.82	10.34
19.30	21.02	13.78
25.85	27.92	17.23
33.09	36.16	20.68

이는 매우 열악한 조건으로 실제로는 음압이 가해지는 반대면은 그보다 훨씬 작은 음압이 작용된다. 따라서 본 해석의 결과를 만족한다면 실제 구조물은 매우 강건하다고 판단할 수 있다. Table 3은 해석에 사용된 물성치 데이터를 나타낸 것이다.

따라서 본 구조물은 충격소음에 대하여 매우 견고한 구조물임을 확인할 수 있다.

## 6. 결론

쉘터내부의 소음설계 기준인 100 dB(A)를 만족하기 위한 쉘터 차음설계를 수행하였으며, 실 계측수행을 통하여 이를 입증하였다.

또한, 유한 요소 기법을 이용하여 시스템을 모델링하고 측정된 음압데이터를 입력하여 이의 응답을 해석적으로 구하고, 최대 스트레스를 구조 물성의 허용 스트레스와 비교하여 쉘터구조물이 충분히 안전성 있음을 확인하였다.

본 논문은 향후 군 또는 시험장에서 사격요원 보호를 위한 쉘터 구축 시 설계자료로 제공될 경우 상당한 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## References

[1] K. J. Kang, S. H. Ko, D. S. Lee, "A Study on Impulsive Sound Attenuation for a High-Pressure Blast Flowfield," Journal of Mechanical Science and

- Technology, 2008.
- [2] William J. Murphy, Randy L. Tubbs, "Assessment of Noise Exposure for Indoor and Outdoor Firing Ranges," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, ISSN : 1545-9624, pp. 688~697, September, 2007.
- [3] A. Y. Jeong, J. S. Kim, "A Analysis of Acoustic Characteristics and Shooting Noise Prediction for Shooting Range Shielding in Military," *Proceedings of KSNVE Annual Autumn Conference*, pp. 833~839, 2011.
- [4] J. H. Lee, "An Experimental Study on Shielding Apparatus for the Impulse Noise of K2 Rifle," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 13, No. 3, pp. 486~492, July, 2010.
- [5] <https://www.bing.com/images/search?view=deatilV2&ccid>
- [6] MIL-STD-1474D, "Department of Defense Design Criteria Standard, NOISE LIMITS," 1997.
- [7] R. Hajeck & M. Folar, "The Reduction of Peak Overpressure using Concrete Blast Barriers," *Structure Under Shock and Impact XIII*, ISSN 1743-3509, pp. 265~267.
- [8] WU Jun, LIU Jingbo, YAN Qiushi, "Effect of Shock Wave on Fabricated Anti-Blast Wall and Distribution Law Around the Wall Under Near Surface Explosion," *Tianjin University and Springer-Verlag*, pp. 265~267, 2008.
- [9] Mohammed Alias Yusof, Rafka Norhidayu Rosdi and etc, "Simulation of Reinforced Concreated Blast Wall Subjected to Air Blast Loading," *Journal of Asian Scientific Research*, Vol. 4, No. 9, pp. 522~533, 2014.
- [10] Zeynep Koccaz, Fatih Sutcu, Necdet Torunbalci, "Architectural and Structural Design for Blast Resistant Buildings," *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 2008.
- [11] DEPARTMENT OF THE ARMY, "Blast Wall Requirements and Usage for Search Areas and Other VBIED Targets," AFRC-ENMS-DEP8.
- [12] C. K. Gautam and R. C. Pathak, "Design of Blast Resistance Structure," *Defence Science Journal*, Vol. 47, No. 2, pp. 139~148, 1997.
- [13] Kim Nam Hyuk, Park Kwan Jin, Lee Keun-Oh, "A Study on Structural Stability of Blast Door by Blast Pressure," *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 3, pp. 8~15, 2016.
- [14] D. H. Son, K. H. Kang, J. H. Choi, D. H. Park, J. H. Kim, "Research for Dynamic Characteristic Analysis of a Movable Shelter Structure by using Finite Element Analysis," *Proceedings of Korea Railroad Annual Autumn Conference*, pp. 414~415, 2013.
- [15] John. E. K. F, "Sound Analysis and Noise Control," Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 208~209, 1990.
- [16] T. Ngo, P. MENDIS, A. Gupta & J. Raysy, "Blast Loading and Blast Effects on-An Overview," *EJSE Special Issue : Loading on Structure*, pp. 76~91, 2007.
- [17] US Army TECOM, "Sound Level Measurement," TOP 1-2-608, 1981.
- [18] Arnold P. G. Peterson, "Handbook of Noise Measurement," GenRad Inc., USA, pp. 3-18, 1984.