

UC Davis

UC Davis Previously Published Works

Title

Numerical Investigation for Multi-layer Shock Absorber to Improve Survivability of Fuze at High Impact

Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/49g720nn>

Journal

Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, 33(4)

ISSN

1229-3059

Authors

Soh, Kyoung Jae

Kim, Minkyum

Lee, Daehee

Publication Date

2020-08-01

DOI

10.7734/coseik.2020.33.4.255

Copyright Information

This work is made available under the terms of a Creative Commons Attribution License, available at <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Peer reviewed

고충격에 신관의 생존성을 향상시키기 위한 다층 충격완충장치 전산해석 연구

소 경 재¹·김 민 겸¹·이 대 희^{1†}

¹국방과학연구소 4본부 3부 연구원

Numerical Investigation for Multi-layer Shock Absorber to Improve Survivability of Fuze at High Impact

Kyoung Jae Soh¹, Minkyum Kim¹ and Daehee Lee^{1†}

¹Researcher, The 4th R&D Institute 3rd Directorate, Agency for Defense Development, Daejeon, 34060, Korea

Abstract

This study proposes a method of constructing an effective shock absorber. The existing shock absorber is fabricated only with polyethylene; however, the new shock absorber comprises polyethylene on the outside and a high-density material on the inside. The shock was mostly reduced when the density difference between the inner and outer materials was large. Aluminum, titanium, and copper were chosen as the outer structure of two-layer. Shock reduction was most effective in copper with the highest density, and the maximum deceleration was reduced by 43% while the impulse was reduced by 51% in the proposed shock absorber than the traditional shock absorber. In the cases of four-layer and six-layer shock absorbers, the impulse was reduced, but the maximum deceleration was increased. The fuze must survive from the biggest shock and the remaining shock waves should not exceed the threshold. Thus, a two-layer structure shock absorber using polyethylene-copper was proposed.

Keywords : multi-layer shock absorber, shock wave impedance, shock wave reflection characteristics, ANSYS AUTODYN

1. 서론

무기체계에서 신관은 평상시 탄의 안전을 보장하고, 목표 시점에 기폭신호를 출력하여 무기체계의 안전과 탄두의 폭발을 보장하는 장치다. 신관은 그 기능과 작동 방법에 따라 순발신관, 근접신관, 침투신관으로 분류된다. 특히, 침투신관은 지하 견고 표적을 파괴하기 위한 목적으로 사용된다(Lim *et al.*, 2017). 따라서 표적 충돌 후에도 생존하여 표적 감지 후 기폭 출력이 요구되며 충돌 및 침투 간 고충격에 의해 기계적 파손이나 전기적 오작동이 없어야 한다.

신관은 기폭 출력 동작을 위해 기계적 장전 방식과 전기적 장전 방식으로 나뉜다. 기계적 장전 방식은 장전 신호를 수신하였을 때, 기계적 회전에 의해 화약류의 정렬을 시키는 방식이다. 따라서 기계적인 회전을 위한 기구부가 필요하다. 해당

역할을 하는 기구부의 경우 충돌 및 침투 간 가해지는 자중에 의해 손상 또는 파손이 쉽다는 한계가 있다. 이에 최근 기계적 회전 동작이 없이 전기적 회로 제어로 장전 및 기폭을 수행하는 전자식 안전 장전장치가 개발되어 기계적 안전 장전장치를 대체해 가고 있다. 전기적 안전장치의 경우 가벼운 무게의 전자제품으로 구성되며, 충격에 기계적 장치보다 충돌 및 침투 간 가해지는 자중이 낮아 충격 및 침투 신관에 주로 사용된다. 최근에는 더욱 견고한 표적 또는 더욱 깊은 표적의 타격이 요구되어, 높은 운동 에너지를 통해 침투 깊이를 높이기 위해 무기 시스템의 비행 속도를 높이고 있다. 그러나 이는 대상에 대한 침투 시 신관이 받는 충격의 증가를 의미한다. 이 경우 제한된 충격 이상에 노출되면 신관의 전자 부품이 손상되거나 오작동할 수 있다(Daniel, 1999; Teverovsky, 2007; Jung *et al.*, 2011). 따라서 충격에 의한 생존성을 시험하기 위한 고충격 시

[†]Corresponding author:

Tel: +82-42-821-3610; E-mail: zzzzogml@add.re.kr

Received April 4 2020; Revised June 2 2020;

Accepted June 3 2020

© 2020 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

험이 필요하다. 고충격 시험에는 가스건 시험이 있다. 가스건 시험은 질소 가스를 사용해 시험 물체를 적재한 버드 조립체를 표적에 부딪쳐 실제와 유사한 충돌 현상 등을 모사하는 시험이다. 이러한 가스건 시험은 실제 데이터를 바로 획득 가능하지만 실제 시험이므로 반복을 통해 고충격 시험을 하기에는 경제적인 제한을 받을 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 가스건 시험 전에 Ansys Autodyn(2014)을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 실시해야 한다. 앞선 논문에서 실제 가스건 시험 결과와 전산해석 결과의 정확성을 검증하였다(Yoon *et al.*, 2019).

본 논문은 충돌 및 침투 간 신관이 받는 충격을 줄이기 위해 효과적인 충격완충장치를 제안하여 침투 간 신관의 생존성을 높이는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 새로운 충격완충장치는 내부 물질과 외부 물질이 다른 2층 구조로 만들어졌다. 이것은 물질의 본질적 특성인 충격파 임피던스의 차이로 인한 충격파 반사 특성을 이용한 것이다. 2장에서 이 이론에 대해 설명한다. 3장에서는 2층 구조를 통해 두 물질 사이의 밀도 차이에 의해 충격이 어떻게 달라지는지를 보여준다. 다음으로 4층과 6층을 통해 층수가 충격감소에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

2. 이론

서로 다른 물질은 충격파에 대해 고유의 특성인 충격파 임피던스($Z_0 = \rho_0 C$)를 가진다. ρ_0 는 물질의 밀도를 나타내는 상수이며, C 는 충격파 속도로 충격이 증가함에 따라 점차 증가하는 특성을 갖는 물리적 성질이다. 단, 충격파 속도 C 의 경우 충격파 분석 시 변화량이 적어서 상수로 간주할 수 있다(Lee, 2018). 즉, 충격파 임피던스는 해당 물질의 밀도에 비례하는 특성을 가진다.

충격파는 서로 다른 물질의 접촉면을 통과할 때 반사파 응력 값(σ_R)과 전달파 응력 값(σ_T)으로 분리된다. 힘 평형, 입자 속도의 연속성 및 응력 전파에 대한 기초 이론에 따르면, 물질 1에서 물질 2까지 반사파와 전달된 파동은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_R &= F \times \sigma_I \\ \sigma_T &= T \times \sigma_I \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} F &= (1 - n) / (1 + n), \quad T = 2 / (1 + n) \\ n &= (A\rho_0 C_0)_{material1} / (A\rho_0 C_0)_{material2} \end{aligned}$$

식 (1)에서 I, R, T 는 각각 입력, 반사파 그리고 전달파와 관련된 양을 나타낸다. A 는 두 물질 만나는 단면적의 면적이다. F 와

T 는 서로 다른 두 물질 사이의 충격파 임피던스의 비율을 결정하는 반사 계수 및 전달 계수이다(Zaid, 2016; Zhang *et al.*, 2018).

따라서 충격파 임피던스가 작은 물질에서 충격파 임피던스가 큰 물질로 진행되면 ($n < 1$) 충격파는 증가한다. 반대 조건 ($n > 1$)에서는 충격파가 감소한다. 이 논문에서는 충격파 임피던스의 차이로 인해 충격파가 증가하거나 감소하는 충격파 반사 특성을 이용하여 새로운 충격완충장치를 제안하고 시뮬레이션을 진행하여 이를 결과분석하였다.

3. 전산해석

현재 관통 신관에 전달되는 충격량을 감소시키기 위해 신관 외부에 있는 단일 폴리에틸렌으로 만들어진 충격완충장치를 사용하여 충격량을 감소시킨다(Kim and Lee, 2001). 이 완충장치의 효능을 알기 위해 600m/s 속도의 버드조립체가 납표적에 충돌하게 시뮬레이션하였다. 샘플링 주파수는 실제 가스건 시험에서 사용되는 침투이력 측정장치의 샘플링 주파수인 125kHz를 사용하였으며, 버드조립체의 속도 변화가 1% 미만 (20msec)이 될 때까지 시뮬레이션을 수행했다.

가스건 시험에서 사용된 버드조립체는 축대칭이기 때문에 단순화하여 2차원 해석이 가능하다. 이에 본 연구에서는 전산 해석에 소요되는 계산 시간을 절감시키기 위하여 2차원의 축대칭 형태로 버드조립체와 표적에 대한 모델링을 수행하였다.

3.1 Modeling

시뮬레이션을 위해 Fig. 1(a)와 같이 버드 조립체와 신관 및 폴리에틸렌으로 만든 충격완충장치를 모델링을 하였다. 버드 조립체는 충격완충장치의 효능을 알기 위해 원추형 충격자, 몸체로만 구성하였으며, 라그랑지안 요소로 모델링하였다. 생성된 격자의 형상은 Fig. 1(b)와 같으며, 총 격자수는 1727개로

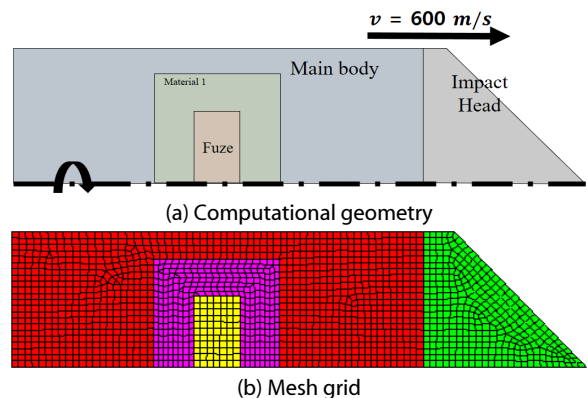


Fig. 1 Bird assembly computational analysis 2D modeling with existing shock absorber (Axial symmetry)

이루어져 있다. Fig. 2는 이 논문에서 제시한 2층 구조의 충격 완충장치를 사용한 모델링이며 충격자수는 Fig. 1과 같다.

표적은 실제 시험에서 침투깊이를 고려하여 설계하였다. 최종 설계된 표적의 전산해석 모델은 직사각형 형태로 길이 30mm, 직경 150mm로 이루어졌다. 생성된 표적의 격자는 469개로 이루어져 있다. 표적의 형상 및 구조 격자는 Fig. 3과 같으며, 버드조립체의 침투를 위해 고정구속조건(fixed support boundary condition)을 표적의 위측에 부여하였다.

Table 1에 모델링에 사용된 물질, 상태 방정식 및 강도 모델의 정보를 나타내었다. 재료 물성 모델링은 ANSYS AUTODYN에서 내장하고 있는 라이브러리 모델을 적용하였다. 버드조립체의 몸체 및 신관은 AUTODYN 내부 물성 라이브러리에 내장된 AL7075-T6 재질을 사용하였으며, 충격완충장치는 내장된 Polyethylene, Titanium, Copper를 사용하였다. 물성 값이 없는 경우에는 ANSYS Workbench의 Engineering Data에 실제와 동

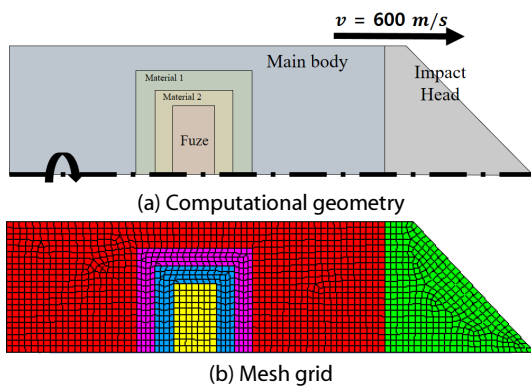


Fig. 2 Bird assembly computational analysis 2D modeling with proposed shock absorber(Axial symmetry)

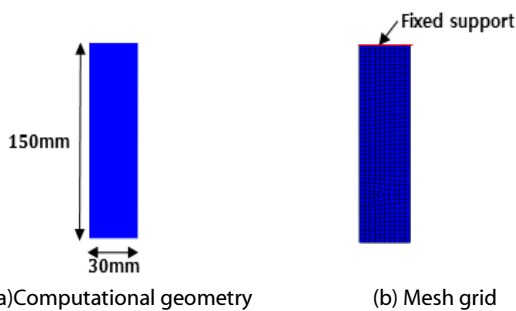


Fig. 3 Computational model of target

Table 1 Information on the materials and modeling

Structure	Material	EOS	Strength Model
Impact Head	STS630	Shock	Steinburg Guinan
Main Body	AL7075-T6	Shock	Steinburg Guinan
Fuze	AL7075-T6	Shock	Steinburg Guinan
Target	Lead	Shock	Steinburg Guinan
Material 1	Polyethylene	Shock	Elastic
Material 2	Titanium	Shock	Steinburg Guinan
Material 2	Copper	Shock	Steinburg Guinan

일한 물성 값을 적용하였다. 충격자의 경우 STS304재질을 기반으로 STS630의 물성치를 적용하였다.

버드조립체과 표적은 직접적으로 충돌하면서 충격에너지 및 충격하중을 내부 구성품으로 전달하므로 충격에너지에 대한 해석이 중요하다. 이를 위해 충격파 전면과 후면의 Hugoniot 관계식을 적용한 Shock 상태방정식(equation of state, EOS)을 사용하였다. 소성 변형의 기준이 되는 Strength 모델은 Steinberg-Guinan과 Elastic을 적용하였다.

버드조립체가 표적과 충돌 시 각 구성품의 변형이 되며 이에 대한 모델링을 위해 앞선 논문을 참고하여 Geometric strain erosion 값은 1.5를, Plastic Strain 값은 0.5를 적용하였다(Yoon et al., 2019).

3.2 결과 분석

본 논문에서는 모든 시뮬레이션에서 신관이 동일하므로 신관의 질량은 동일하며, 신관이 받는 충격력은 $F=ma$ 로 인해 감가속도에 직접 비례한다. 따라서 감가속도를 측정하여 충격파를 관찰하였다. 또한 충격력을 시간에 적분하여 충격량을 계산하였다.

Fig. 4는 시뮬레이션 진행에 따른 버드조립체 및 표적 상태의 변화를 보여 주었다. Fig. 5는 신관의 감가속도를 보여준다. 측정된 최대 감가속도는 323kG이며, 시뮬레이션 시간(20msec)까지의 충격량은 3.78km/s이었다.

다음으로 충격파 임피던스 차이의 효과를 검증하기 위하여 본 논문에서 제시한 충격완충장치를 Fig. 2와 같이 모델링하여 시뮬레이션을 진행하였다. 기존 충격완충장치에 사용된 밀도가 0.915g/cm³인 폴리에틸렌을 물질 1로 사용하였고, 밀도가 3배인 2.745g/cm³의 폴리에틸렌을 물질 2로 구성하여 2층 구조를 형성하였다. 이때, 충격완충장치의 총 두께는 기존 충격완충장치의 두께와 동일하게 유지하였다.

충격파가 본체에서 신관으로 전달되는 과정에서 전달된 파장은 다음과 같다.

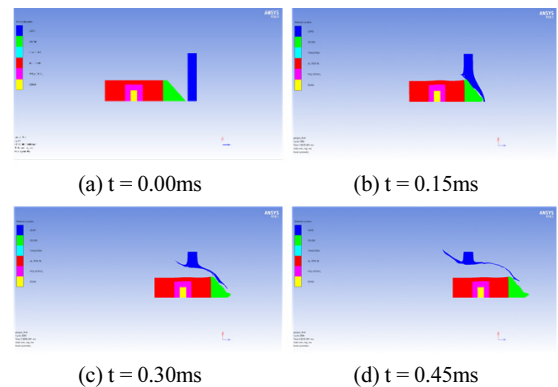


Fig. 4 Bird assembly computational analysis simulation

$$\begin{aligned} \sigma_{T4} &= T_{34} \times \sigma_{T3} = T_{34} \times T_{23} \times \sigma_{T2} = T_{34} \times T_{23} \times T_{12} \times \sigma_{I1} \\ &= \frac{2(A\rho_0 C_0)_{Fuze}}{(A\rho_0 C_0)_{Fuze} + (A\rho_0 C_0)_{material2}} \\ &\times \frac{2(A\rho_0 C_0)_{material2}}{(A\rho_0 C_0)_{material2} + (A\rho_0 C_0)_{material1}} \\ &\times \frac{2(A\rho_0 C_0)_{material1}}{(A\rho_0 C_0)_{material1} + (A\rho_0 C_0)_{mainbody}} \sigma_{I1} \\ &= 0.17 \sigma_{I1} \end{aligned}$$

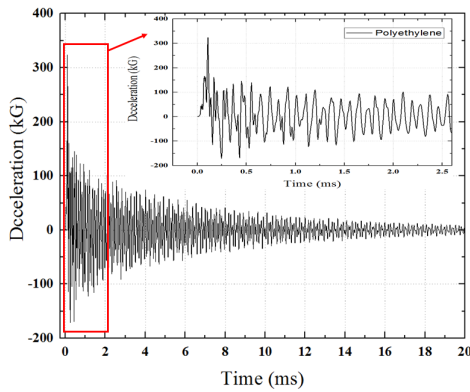
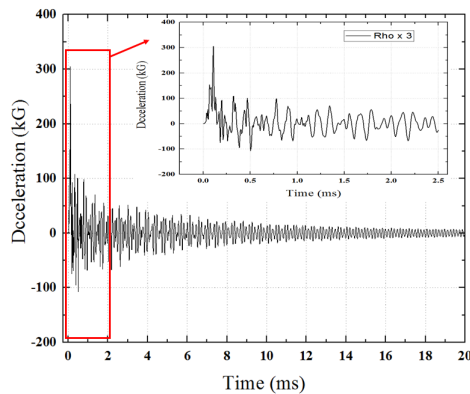
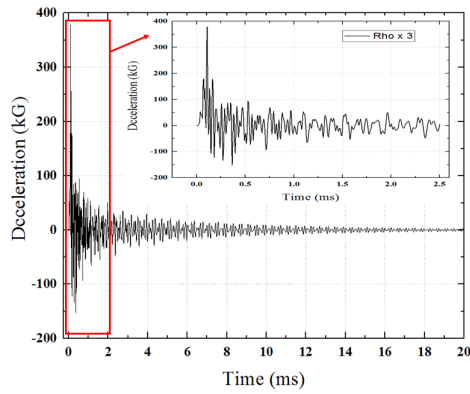


Fig. 5 The deceleration of fuze with existing shock absorber



(a)

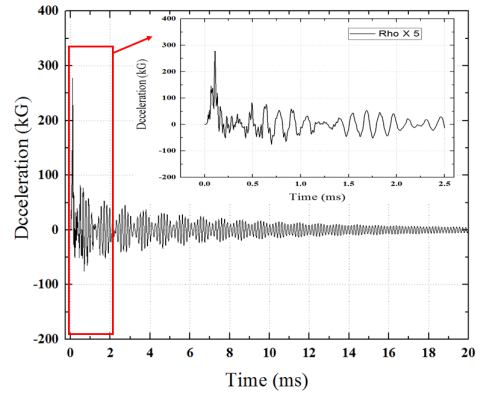


(b)

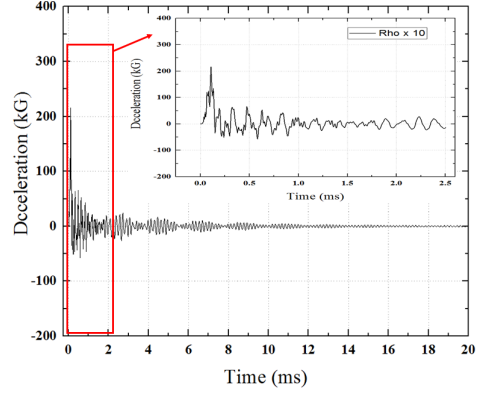
Fig. 6 The deceleration according to position of polyethylene with 3 times density (a) use 3 times density of polyethylene inner (b) use 3 times density of polyethylene outer

반대로 물질 1과 물질 2의 위치를 바꾸면 $\sigma_{T4} = 0.20 \times \sigma_{I1}$ 이다. 더 무거운 물질을 충격완충장치의 내부로 사용하고 더 가벼운 물질을 외부로 만든 2층 구조가 더 좋은 결과를 보였다. Fig. 6은 감가속도의 시뮬레이션을 결과를 보여준다. 시뮬레이션 결과 각각 최대 감가속도는 304kG와 378kG이었다. 이론적 계산과 시뮬레이션의 감소율은 이론적인 결과가 반사파 없이 계속해서 전달된 파동만 고려하여 계산되었기 때문에 다르다. 그러나 두 결과 모두 내부에 무거운 물질을 사용하고 가벼운 물질을 외부에 사용하였을 때 더 좋았으며 계속해서 Fig. 2와 같은 구조를 사용하였다.

다음으로 물질 2의 밀도를 5배, 10배인 4.575g/cm^3 과 9.150g/cm^3 으로 내형 충격완충장치의 밀도를 조정하였다. Fig. 7은 감가속도에 대한 시간 기반 정보를 보여 준다. 밀도를 5배와 10배까지 증가시키면 최대 감가속도는 감소하였다. 시뮬레이션 결과 각각 278kG와 216kG가 나왔다. Fig. 8은 시뮬레이션 시간 동안 신관으로 전달되는 충격량을 보여준다. 물질 2의 밀도가 증가함에 따라 충격량도 감소하였으며, 10배의 밀도를 사용한 충격완충장치에서 0.94km/s 의 값으로 기존 충격완충장치의 3.78km/s 보다 75% 낮았다. 이를 통해 밀도차이가 큰 2층 구조



(a) 5 times density



(b) 10 times density

Fig. 7 The deceleration according to density of polyethylene of material 2 (a) use 5 times density of polyethylene (b) use 10 times density of polyethylene

로 충격완충장치를 구성했을 때 충격과 전달을 줄일 수 있다는 것이 확인되었다.

다음으로, 충격완충장치의 실제 최적화 물질을 찾기 위해 Table 2에 있는 물질을 사용하여 충격파를 관측하여 최상의 물질을 선정하였다. 저렴하고 구하기 쉬운 알루미늄, 티타늄, 구리가 선정되었다. 물질 1은 폴리에틸렌으로 고정되었으며, 물질 2는 각각 3g/cm³의 밀도를 가지는 알루미늄, 4.5g/cm³의 밀도를 가지는 티타늄, 8.9g/cm³의 밀도를 가지는 구리로 변경된다. Fig. 9는 감가속도의 변화를 보여 주었다. 최대 감가속도는 각각 303kG, 225kG, 182kG로 측정되었다. Fig. 10은 각각 3.62km/s, 2.52km/s, 1.85km/s의 충격량을 보여준다. 알루미늄을 사용하였을 때 기존 충격완충장치에 비해 최대 감가속도는 22%, 충격력은 4% 감소하였다. 티타늄을 사용하였을 때 기존 충격완충장치에 비해 최대 감가속도는 42%, 충격력은 33% 감소하였다. 구리를 사용할 때의 감가속도는 기존 충격완충장치에 비해 53%, 충격량은 51% 감소했다. 이 시뮬레이션을 통해 충격파 임피던스의 차이에 의한 반사현상에 의해 감속과 충격량이 감소된 것으로 확인되었다. 이를 통해 구리, 티타늄, 알루미늄 순으로 내부 물질의 밀도가 커질수록 신관이 받는 충격파가 더 적어진다는 것을 알 수 있다. 따라서 2층 구조의 알루미늄-구리의 충격완충장치가 효과적인 것을 알 수 있다.

마지막으로 두 물질을 반복한 충격완충장치를 시뮬레이션하여 반사 횟수의 증가를 통해 충격의 거동을 살펴보았다. 충격완충장치는 알루미늄-구리의 두 물질을 사용하여 4층 및 6층 시스템을 통해 제작되었다. Fig. 11은 시뮬레이션을 위한 2

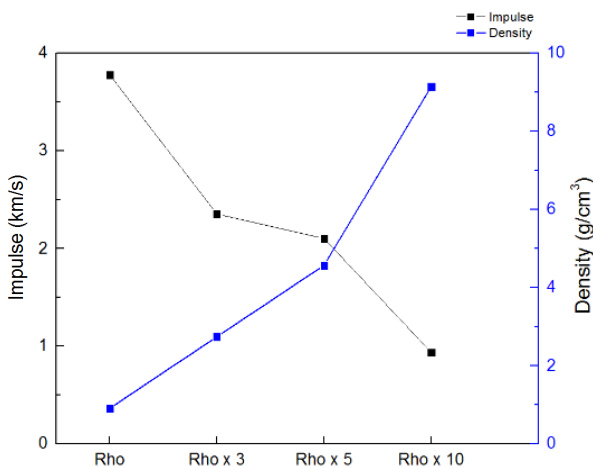
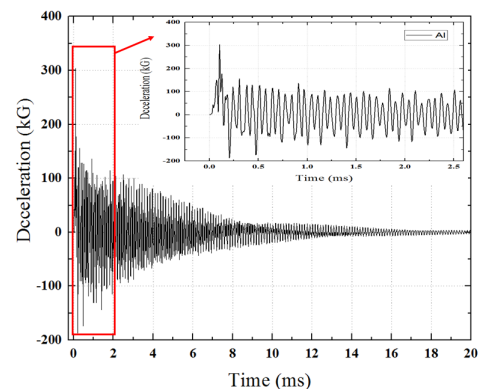


Fig. 8 The impulse according to density of polyethylene of material 2

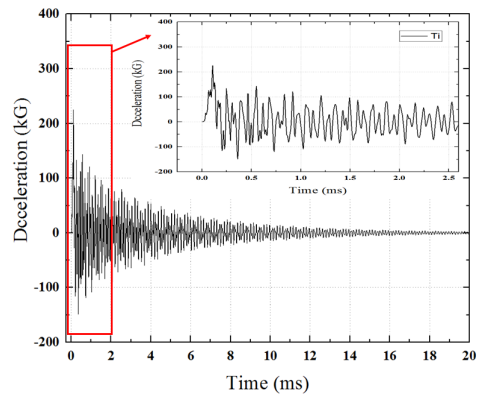
Table 2 Information on the materials

Material 2	Density(g/cm ³)
AL7075-T6	3
Titanium	4.5
Copper	8.9

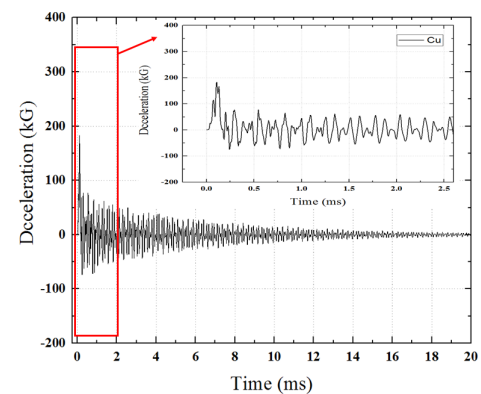
층, 4층 및 6층 구성을 보여 주었다. 충격완충장치의 총 두께는 그대로 유지하며 알루미늄과 구리 두 물질이 반복되어 4층과 6층 충격완충장치 구조를 이룬다. 감가속도와 충격량은 Figs. 12, 13에 표시하였다. 폴리에틸렌-구리 구성에서 4층 및 6층 충격완충장치의 경우, 최대 감가속도는 각각 256kG와 301kG이었다. 이를 통해 최대 감가속도가 182kG로 제일 작았던 2층 구조에서 최대 감가속도 흡수 능력이 가장 최적임을 보여준다. 그러나 충격량은 4층과 6층에서 각각 0.65km/s와 0.61km/s이었다. 앞선 실험에서 2층 구조의 충격량은 1.85km/s로 가장 컸으며, 4층과 6층 구조 사이에는 차이가 없었다. 이는 이미 4층



(a) Al



(b) Ti



(c) Cu

Fig. 9 The deceleration according to kinds of material 2

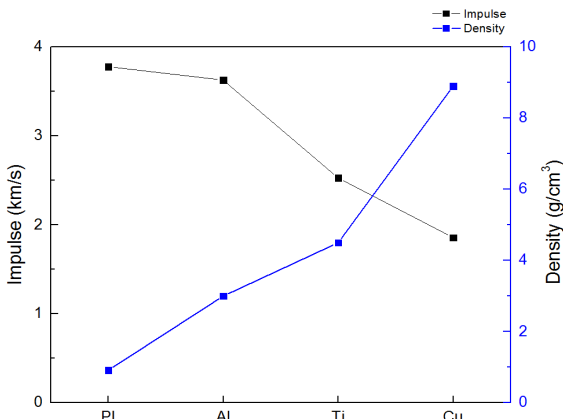


Fig. 10 The impulse and density according to kinds of material 2

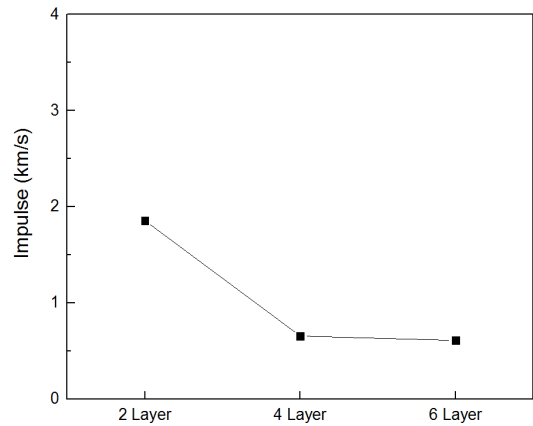


Fig. 13 The impulse according to layer shock absorber

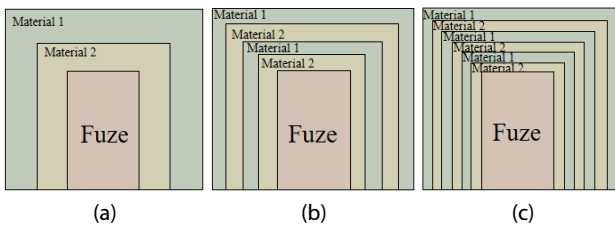


Fig. 11 Two-, Four-, Six-layer shock absorber ; material1 used aluminum and material 2 used copper

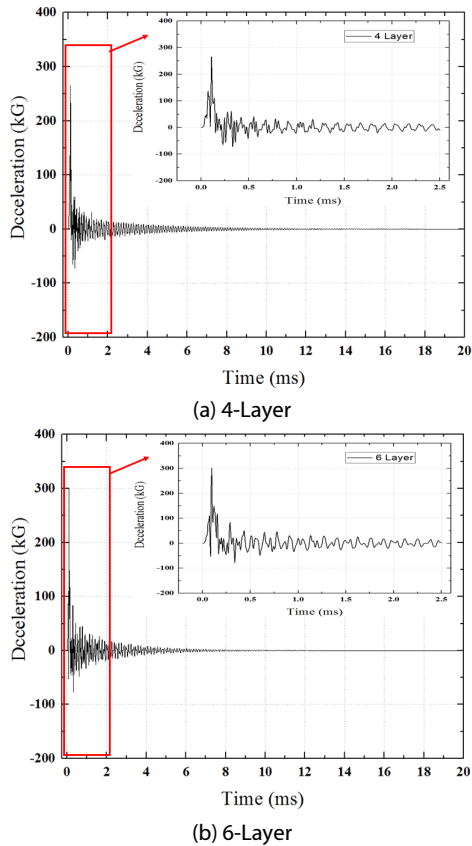


Fig. 12 The deceleration according to multi-layers shock absorber with copper

에는 많은 충격과 반사를 통해 충격파가 거의 남아 있지 않기 때문에 보인다. 하지만 신관은 1차 충격 중에 발생하는 가장 큰 충격파로부터 살아남아야 하며, 1차 충격 후에 흡수되어 남은 나머지 충격파는 신관을 손상시킬 수 있는 한계점을 넘지 않는다. 따라서 충격량은 4층과 6층이 더 최적이지만 1차 충격이 제일 작은 2층 구조가 최적으로 설계된 충격장치이다. 그러므로 이 논문은 폴리에틸렌과 구리를 사용한 2층 충격완충장치를 제안한다.

4. 결론

본 논문에서는 충격완충장치를 사용하여 신관에 전달되는 충격을 줄이기 위한 연구가 실시되었다. 충격파 반사 특성을 활용하여 2층 구조물에 새로운 충격완충장치 설계를 제안했다. 신형 충격완충장치는 겉에는 폴리에틸렌, 안에는 고밀도 소재로 구성됐다. 내측 폴리에틸렌의 밀도를 3, 5, 10배의 시판용 폴리에틸렌보다 높여 Ansys Autodyn을 이용하여 전산해석을 실시하였다. 내부 물질의 밀도가 높으면 최대충격력 및 충격량이 줄어들음을 확인하였다. 기존 폴리에틸렌 밀도의 3배 (2.745g/cm³)를 사용할 때 최대 감가속도는 304kG, 충격량은 2.35km/s이며, 5배(4.575g/cm³)를 사용할 때 최대 감가속도는 278kG, 충격량은 2.10km/s이었으며, 10배(9.15g/cm³)를 사용할 때 최대 감가속도는 216kG, 충격량은 0.94km/s이었다.

알루미늄, 티타늄, 구리를 내부 물질로 사용할 경우 최대 감속도는 각각 303kG, 225kG, 182kG, 충격량은 각각 3.62km/s, 2.52km/s, 1.85km/s이었다.

반면 폴리에틸렌-구리를 이용한 4층, 6층의 경우 충격량은 0.65km/s, 0.61km/s로 줄었지만 최대 감가속도는 각각 256kG, 301kG으로 늘어났다. 본 논문은 신관은 1차 충격 중에 발생하는 최대 감속으로부터 살아남아야 하므로 폴리에틸렌과 구리를 이용한 2층 충격완충장치를 제안했다.

이 전산 해석을 통해 신관으로 전달되는 충격파가 감소했음을 보여주었다. 다음 연구에서는 실제 가스건 실험을 통해 전산해석과의 결과를 비교할 것이다.

References

- ANSYS AUTDOYN** (2014) Theory Manual Revision 4.3, ANSYS Inc.
- Daniel, R.M.** (1999) Pyroshock Test Criteria, NASA-STD-7003, NASA Report, USA.
- Jung, J.R., Lee, S.J., Kim, I.G.** (2011) Study on the Characteristics of the Shock Propagation for Structural Components Subjected to Pyroshock, *The Korean Society for Aeronautical & Space Conference*, 2011(11), pp.111~115.
- Kim, K.L., Lee, J.W.** (2001) The G-Force Data Recorder- I (Design and Fabrication), Agency for Defense Development Report.
- Lee, Y.H.** (2018) *Gunpowder Theory and Practice*, Iworkbook, Korea.
- Lim, W.G., Bae, U.W., Kim, Y.S., Park, M.K., Noh, J.I., Kim, K.L., Joh, S.K., Kim, H.S., Lee, S.M., Park, I.J., Lee, J.M., Jung, J.W.** (2017) *Introduction to Warhead and Ammunition*, Agency for Defense Development, Daejeon, Korea.
- Teverovsky, A.** (2007) Effect of Mechanical Stresses on Characteristics of Chip Tantalum Capacitors, *IEEE Transactions On Device And Materials Reliability*, 7(3), pp.399~406.
- Yoon, H., Oh, J.S., Jung, M.S.** (2019) A Numerical Investigation for Prediction of Shock Deceleration of Conical Impactor in Gas-Gun Test, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, pp.279~286.
- Zaid, A.I.O.** (2016) Stress Waves in Solids, Transmission, Reflection and Interaction and Fractures Caused by Them: State of the Art, *Int. J.Theor. & Appl. Mech.*, 1, pp.155~164.
- Zhang, J., Zhang, H., Yu, D.** (2018) Design of ultra-High g penetration Fuze Data Record Device, *International Conference on Control Science and Systems Engineering*.

요 지

본 논문은 충격을 줄이기 위해 효과적인 충격완충장치를 구성하는 방법을 제안했다. 기존의 충격완충장치는 폴리에틸렌으로만 만들어졌지만, 새로운 충격완충장치는 외측에는 폴리에틸렌, 내측에는 고무도 재료로 구성하였다. 충격은 내측과 외측 물질 사이의 밀도 차이가 더 클 때 줄어들었다. 2층 구조의 외측으로 설계하기 위해 알루미늄, 티타늄, 구리를 선택하였다. 가장 밀도가 높은 구리에서는 충격 감소가 가장 좋았으며, 기존 충격완충장치보다 최대 감가속도는 43%, 충격량은 51% 감소하였다. 4층, 6층 충격완충장치의 경우, 충격량은 줄었지만, 최대 감가속도는 증가하였다. 신관은 가장 큰 충격으로부터 살아남아야 하며 나머지 충격파는 임계값을 초과하지 않으므로, 본 논문은 폴리에틸렌-구리를 사용한 2층 구조용 충격완충장치를 제안하였다.

핵심용어 : 다층 구조 충격완충장치, 충격파 임피던스, 충격파 반사 특성, ANSYS AUTODYN