

# 합금 조성 및 소결 조건에 따른 9MM 탄자의 파쇄성에 관한 연구

김보람\*, 서정화, 정희철, 김규영  
국방기술품질원

## A Study of Frangibility of 9MM Bullet Related to Material Composition and Sinter Condition

Bo-Ram Kim\*, Jung-Hwa Seo, Hee-Chur Jung, Kyu-Young Kim  
Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 파쇄 탄두는 목표물에 충격시 탄두가 파쇄되어 사격 연습이나 댐, 핵발전소, 문화재 등 중요 시설에서 이루어지는 작전에서 파편의 도비로 인한 2차적인 피해를 줄일 수 있다. 최근에는 납(Lead)이 함유된 탄두로 인하여 사격장에서 발생하는 환경 유해물질을 줄이는 것이 정부와 환경단체에서 중요한 이슈로 부각되고 있다. 본 연구에서는 파쇄 탄두의 국내 개발 확대를 위해 파쇄탄의 효율적인 탄두 형상을 설계하였으며, 안전성과 신뢰성 확인을 위한 시험 진행 및 공정 조건별 실사격을 통한 실제 파편의 크기 확인을 진행하였다. 또한 소결된 파쇄탄자의 미세조직 사진 분석을 통해 공정별 압축강도, 밀도 및 파쇄성 등 물리적인 특성을 비교하였다. 본 실험을 통해 조성 성분 Cu-Sn 에서 조성 비율 - 85:15/ 소결온도 : 600°C/ 소결시간 : 1시간 조건에서 탄두의 정상적인 발사 및 목표물에 충격 후 최소의 파편으로 분쇄되는 최적의 결과를 나타내는 것을 확인했다. 본 연구를 기반으로 공정 조건 및 실험 방법 등을 더 발전시켜 향후 파쇄탄자의 성능개량 및 환경 개선 등에 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

**Abstract** Frangible bullets, which are shredded after impact on a target, reduce the possibility of both ricochet and unexpected injury in shooting training and in mission acts in dams, nuclear power plants, and cultural properties. Reducing the levels of hazardous materials in shooting ranges, such as lead, has become an important agenda for the government and environmental groups. In this study, the shape of a frangible bullet was designed for efficient shredding, and the safety and reliability were confirmed by actual firing under different process conditions. In addition, the physical characteristics, such as compaction pressure, density, and frangibility of each process, were compared by analyzing the microstructure of the sintered frangible bullet. The experiment revealed the smallest fragmentation after impact on the target under the following conditions: Cu-Sn 85:15; sintering temperature, 600°C; sintering time, one hour. Further development of the process conditions and experimental methods will contribute to the performance and environmental improvement of a frangible bullet.

**Keywords** : Frangible Bullet, Eco-Friendly Bullet, Shredded Bullet, Anti-Ricochet, Lead Free Bullet

### 1. 서론

군사작전이나 대 테러 작전의 경우 원자력 발전소 및 하늘을 날고 있는 항공기에서 수행되는 작전은 적의 제

압과 동시에 작전에서 가장 중요시 되는 요소 중 하나가 주요 시설 및 기체 등의 보호이다.

목표물을 명중시키지 못하거나 관통 후 목표물을 벗어난 탄두가 주요 시설 및 기체 등에 타격을 입힐 경우 안

\*Corresponding Author : Bo-Ram Kim(Defense Agency for Technology and Quality)  
email: boram@dtaq.re.kr

Received April 7, 2020

Accepted May 8, 2020

Revised April 28, 2020

Published May 31, 2020

전 및 작전 수행에 큰 영향을 미칠 수 있다.[1] 또한 소총탄에서 주로 사용되는 탄두는 납이 주된 성분으로써 사격장 등에서 지형물 및 목표물에 박혀있던 기존 탄두는 지속적인 토양 오염 및 사격시에 발생한 충격 등에 의해 유해물질을 대기중으로 방사하여 사격 수행 인원 등의 인체에 유해한 영향을 끼치게 된다[2].

이를 방지하기 위하여 사격 후 강 내와 탄두 비행시에 문제가 없고, 목표물에 기준치 이상의 타격을 가할 수 있으며 목표물 명중 시에는 탄자가 파쇄 되어 파편이 도비되지 않도록 개발된 탄두를 파쇄탄두(Fig. 1)라 한다.

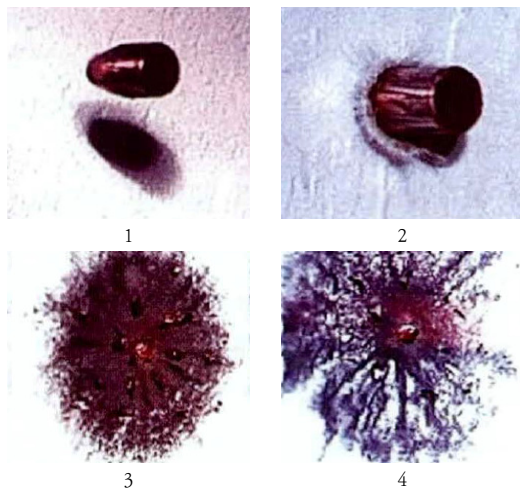


Fig. 1. Frangible bullet shredded image[3]

파쇄탄두는 사용 목적상 일정한 조건에서 파쇄가 되어야 하므로 다양한 금속분말의 조성을 일정 온도와 시간의 변수를 조절하여 소결하는 연구가 필요하다. 현재 국내에서는 수요, 공급에 따른 생산성 비 효율화로 인해 거의 전량을 해외에서 수입하고 있어 국내에서 파쇄 탄자에 대한 연구 개발이 희소한 실정이다. 파쇄 탄자의 국내 연구 및 개발을 위해 본 논문에서는 탄자의 주요 합금 조성 및 소결 온도, 시간 등의 공정 조건에 따른 탄자의 물성과 파쇄성을 연구하여 탄자의 목적 및 성능을 충족하는 최적의 조합 및 공정을 찾는 실험을 진행 한다.

## 2. 본론

### 2.1 시험계획 수립

#### 2.1.1 시험항목 선정

파쇄 탄자의 국내 개발 및 성능 확인을 위한 탄자 제작 공정상 탄자의 파쇄성에 영향을 미치는 요소를 크게 3가지로 나누어 실험 샘플을 제작하였다. 먼저 탄자를 이루는 합금 성분과 탄자의 소결 온도 그리고 소결 시간이다. 이 세 가지 요소를 조합한 시료의 파쇄성을 확인하고, 시료의 금속 미세 구조를 광학현미경(200배율)으로 촬영 및 아르키메데스 법으로 밀도를 측정 하여 파쇄성과 미세구조 그리고 밀도 사이의 연관성을 확인하고자 하였다. 실험 절차는 아래 Fig. 2와 같다.

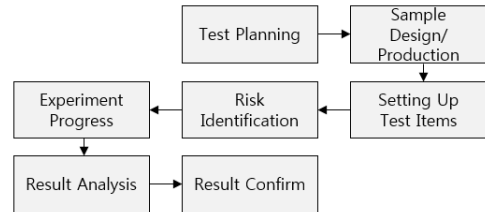


Fig. 2. 9MM Frangible bullet test procedure

본 연구의 신뢰성 향상 및 안전 확인을 위하여 국방 규격의 AWHD-819-85243 권총 탄 탄도수락시험 절차 및 방법에 따라 파쇄 탄자의 사격 전 검증 및 실제 총기에서의 실 사격을 실시하였으며 항목은 육안 및 게이지 측정, 탄자 견인력, 잔류응력, 속도, 약실압력, 정확도, 기능 및 재해, 안전도, 파쇄성 등이다. 시험 항목 및 시료 수량은 Table 1에서 확인 할 수 있다.

Table 1. Test items and quantity for safe and accurate test

No.	Test Items	Quantity
1	Visual and gauge measurement	725
2	Traction power of bullet	60
3	Residual Stress	60
4	Velocity	60
5	Pressure of breech	60
6	Accuracy	75
7	Function	425
8	Safety	25
9	Fragmentation	20

#### 2.1.2 위험 식별

9MM 파쇄 탄자의 경우 파쇄성 향상을 위해 일반 탄보다 속도의 향상이 필요하다. 이를 위해 추진제의 약량을 Table 2와 같이 증가시켰고 이로 인해 탄자 속도는

항상이 되나 약실 내 압력이 증가될 수 있기 때문에 약실 내 압력을 감소시킬 수 있는 안정제 성분을 추가한 추진제를 파쇄탄에 적용하였다. 시험의 종류 및 조건, 목적은 아래에서 설명한다.

Table 2. Kinds of propellant and it's characteristic

Items	9MM Normal	9MM Frangible
propellant	PMC7209	PMC1210
Weight	4.7 ~ 5 grain	6.9 grain
Velocity	343 ± 15 m/s	365 ± 51.2 m/s

## 2.2 시험수행 결과

### 2.2.1 시험방법

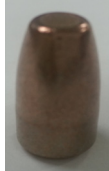


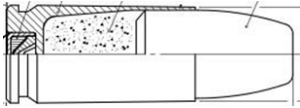
본 연구에서는 일반 탄의 주요 재료인 납(Pb)을 대신하여 구리(Cu)와 주석(Sn)의 구성 성분으로 탄자를 제작하였다. 1~3번 시료는 Cu와 Sn의 성분비를 85:15로 하고 소결 온도를 400,500,600°C로 나누었으며 각각의 소결 시간은 모두 1시간으로 동일하게 설정하였다. 4~6번 시료는 Cu와 Sn의 성분비를 90:10으로 설정하고 마찬가지로 소결 온도와 시간을 400~600°C, 1시간으로 설정하였다. 7번과 8번 시료는 소결 시간에 따른 차이를 알아보기 위해 90:10의 조건에서 소결 시간만 30분으로 설정하였다. 자세한 조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Sintering temperature and time

Sample No.	(Cu/Sn)	Temp.	Time
#1	85:15	400°C	1 hr
#2	85:15	500°C	1 hr
#3	85:15	600°C	1 hr
#4	80:20	400°C	1 hr
#5	80:20	500°C	1 hr
#6	80:20	600°C	1 hr
#7	90:10	500°C	0.5 hr
#8	90:10	600°C	0.5 hr



본 실험을 위해 먼저 탄자의 형상을 설계하였다. 탄자의 파쇄성 향상을 위한 충돌 충격을 탄자 전체에 전달하기 위해 Table 4와 같이 flat type 형상으로 설계하였으며 전면 형상이 round가 아니기 때문에 연발 사격 시 걸림 현상이 발생할 수 있어서 기관단총(SMG)에 사용이 제한됨을 염두하고 연구를 진행하였다. 1gr은 0.064799g 이고 탄자의 무게는 약 100gr으로 제작이 되었다.

Table 4. 9MM Frangible bullet design

Charactor	9MM Frangible Bullet	
Warhead		
Bullet		
Blueprint		

실험 탄의 최종 완성품을 일반 탄과 비교하면 Table 5와 같이 무게는 약 10%정도 감소하였고 길이는 약 10% 증가하였다.

Table 5. Comparing 9MM normal and frangible bullet

Charactor	9MM Normal	9MM Frangible
Shape		
Weight	113.5 ~ 116.5	97 ~ 103
Length	14.79~15.29	16.1
Diameter	9.010~9.028	9.010~9.042
Components	Pb, Cu, Zn, Sb (Metal)	Cu, Sn (Metal powder)
Frangibility	-	Under 10% fragments

앞서 말한 바와 같이 파쇄 탄두의 압축 강도는 합금 조성과 소결온도, 소결 시간과 연관이 있다. 압축 강도는 탄자가 총기에서 정상 발사되는지와 목표물에 타격 후 파쇄가 되는지에 있어 가장 중요한 요소이기 때문에 Table 6과 같이 공정 조건별로 사격 전 압축강도 확인을 진행하였다.

Table 6. Compaction pressure

Sample No.	(Cu/Sn)	Comp. Pressure (psi)
#1	85:15	325.04
#2	85:15	1495.30
#3	85:15	990.61
#4	80:20	396.26
#5	80:20	1462.15
#6	80:20	1203.75
#7	90:10	201.15
#8	90:10	361.02

각 조성 성분 및 소결 조건에 따라 실험용 샘플을 제작 후 파쇄 시험을 진행하기에 앞서, 권총 탄 탄도수락시험 절차 및 방법에 따라 본 파쇄 시험이 신뢰성을 가질 수 있는지에 대한 시험을 아래 Fig. 3과 같은 순서로 수행하였다.

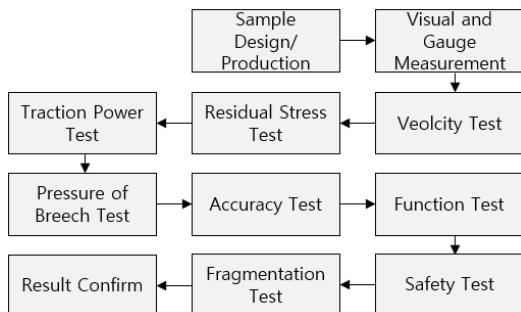


Fig. 3. Frangible bullet experimental procedure diagram

위 시험 항목 중 속도, 약실 압력, 기능 및 재해, 정확도, 파쇄성에 대한 시험이 중요도가 높다고 판단하여 아래에서 자세히 기술한다.

먼저 탄두의 속도 및 균일성을 확인하기 위한 속도 시험을 진행하였다. 이 시험의 기준은 평균속도  $365 \pm 15.2\text{m/s}$  이며 표준 편차는  $9.8\text{m/s}$  이하이다.총기 및 루미라인 스크린을 총구로부터 10ft, 20ft에 각각 설치하여 15ft 지점 속도를 측정하였다. 탄환의 속도는 측정 장치에 의해 자동으로 기록하였으며 총 60개의 시료 모두 Table 7과 같이 평균속도 및 표준편차 기준을 충족함을 확인하였다.

Table 7. Velocity test result

No.	Quantity	Test Result (ft/s)
1	20	Ave. Velocity : 1,198
		Standard Deviation : 10
2	20	Ave. Velocity : 1,200
		Standard Deviation : 8
3	20	Ave. Velocity : 1,201
		Standard Deviation : 13



본 시험의 안정성 확인을 위해 약실 내 발생하는 압력을 측정하는 시험을 진행하였다. 시험 시료는 60발이며 기준은 35,000psi 이하이다. 본 시험은 위의 속도 시험과 동시에 진행하였으며 결과는 Table 8과 같이 기준에 충족함을 확인하였다.

Table 8. Pressure of breech test result

No.	Quantity	Test Result (psi)
1	20	Ave. Pressure : 29,900
2	20	Ave. Pressure : 29,700
3	20	Ave. Pressure : 30,200

탄이 총기에서 정상적인 기능을 수행할 수 있는지 확인하기 위한 기능 및 재해 시험을 실시하였다. 권총(Pistol) 1회 발사 탄수는 7발이며 냉각 주기는 안전을 고려하여 70발로 설정하였다. 탄피의 재해 여부를 확인하기 위하여 사격한 탄피에 대해 육안검사를 수행하였으며 Table 9와 같이 사격 탄 전수 기준을 충족하였다.

Table 9. Function and accident test result

Gun	Quantity	Test Result
K5 	213	Cartridge Case Jam and Tear : Qualified
COLT 	212	Cartridge Case Jam and Tear : Qualified

사격 시 탄자 분리 또는 파손 발생 여부 확인을 위해 25발의 시료로 시험을 진행하였으며 시험 기준은 사격 후 탄자가 강 내 및 강 외에서 비행 중에 파손되지 않아야 하고 표적지에 충돌하였을 때에는 표적지 손상 없이 파손이 되어야 한다. 시험 결과는 Fig. 4와 같이 탄자 분리 및 파손 없이 기준을 충족함을 확인하였다.

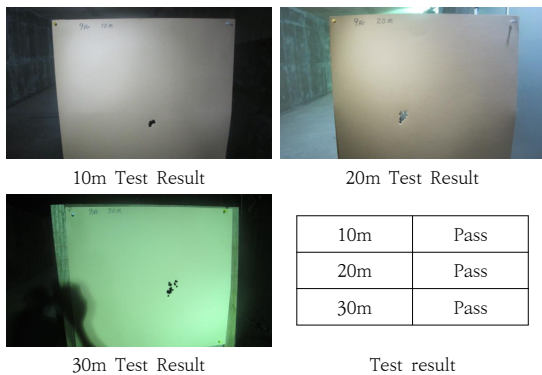


Fig. 4. Safety test result

발사된 탄자의 최대 산포(정확성)를 확인하기 위해 정확도 시험을 진행하였으며 시료 수는 75발이고 시험 기준은 최대 산포의 평균 7.62cm(3in) 이하이다. 22.9m (25yd) 사거리에서 길이 101.6mm (4in) 정확도 시험용 총열로 표적에 5발씩 사격하여 가장 멀리 떨어져있는 탄착점 간의 중심거리 측정(최대산포) 값의 평균을 측정하였으며 시험 결과는 Fig. 5 및 Table 10과 같이 기준에 충족하였다.

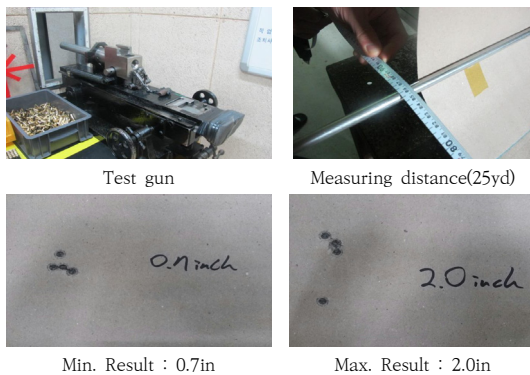


Fig. 5. Test procedure and result

Table 10. Accuracy test result

No.	Quantity	Test Result
1	25	Ave. Max Accuracy : 1.3in
2	25	Ave. Max Accuracy : 1.6in
3	25	Ave. Max Accuracy : 1.2in

2.2.2 시험결과

마지막으로 본 연구의 목적인 조성 성분 및 소결 조건 별 탄자의 파쇄성에 관한 시험을 진행하였다. 본 시험의 목적은 사격 시 도비 방지를 위한 탄자 파쇄여부와 파쇄 정도를 확인하기 위함이며 총 20발의 시료에 대해 탄자 총 질량의 10% 이내로 파편이 형성되어야 함을 기준으로 설정하였다.

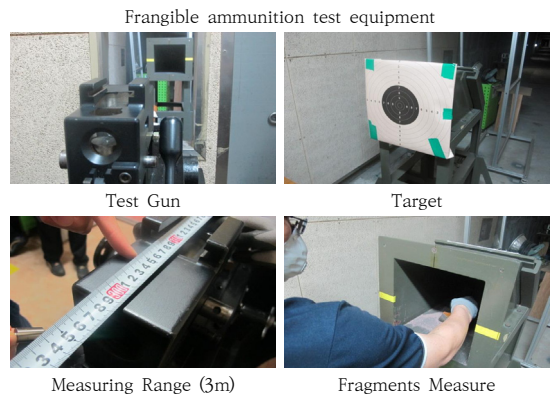
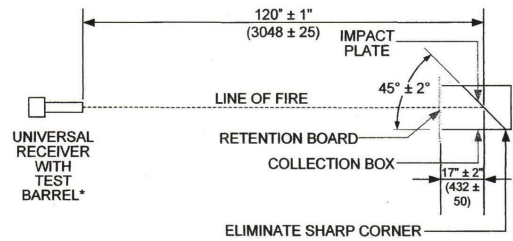


Fig. 6. Test procedure

시험 방법은 Fig. 6과 같이 총구로부터 3m 지점에 금속 표적(AR500 재질)을 설치 후 탄자 파쇄성을 확인 하는 것으로 탄자 파편을 회수하여 파편의 무게 측정 및 표적지의 도비 여부를 통해 결과를 확인하였다.

Table 11. Fragmentation test result

Sample No.	(Cu/Sn)	Temp.	Time	Comp. Pressure	Max. Fragment
#1	85:15	400°C	1 hr	325.04	-
#2	85:15	500°C	1 hr	1495.30	5.984gr
#3	85:15	600°C	1 hr	990.61	3.10gr
#4	80:20	400°C	1 hr	396.26	-
#5	80:20	500°C	1 hr	1462.15	3.538gr
#6	80:20	600°C	1 hr	1203.75	3.12gr
#7	90:10	500°C	0.5 hr	201.15	-
#8	90:10	600°C	0.5 hr	361.02	-

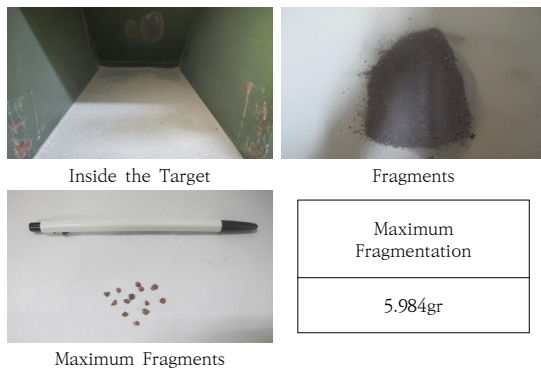


Fig. 7. Fragmentation result confirm

Table 11, Fig. 7에서 보는 바와 같이 총 4개의 시료에서 기준치에 만족하는 결과를 확인 할 수 있었다. 최대 크기 5.984gr의 파편이 형성되었고 파편의 최소 크기는 3.10gr이다. 각 온도별 압축 강도는 소결온도가 500℃에서 최대값이 측정되었다. Cu-Sn합금 소결시 600℃에서 생성되는 β상보다 500℃에 존재하는 γ상의 강도가 높아서 그 영향을 받은 것으로 확인되었다.[5] 이에 따라 500℃의 압축강도는 600℃에서의 압축 강도보다 더 강하게 되고 파편의 크기를 통해서도 영향성을 확인 할 수 있다.

1번과 4번 시료는 압축 강도가 낮아 배럴 내에서 탄자의 파쇄가 예상되거나 불발이 될 수 있어 실제 사격시험을 진행하지 않았다.

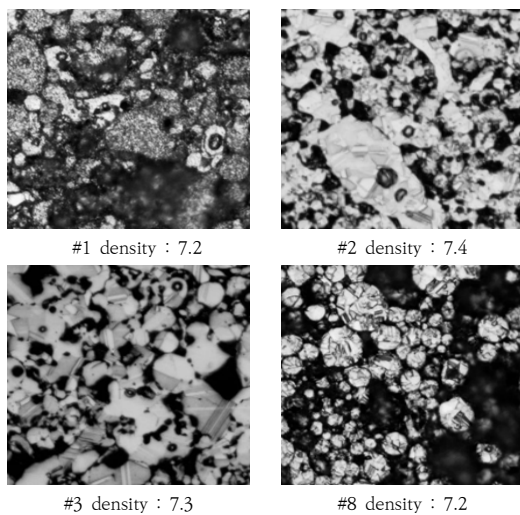


Fig. 8. Processed micrographs of sintered compacted samples

Fig. 8에서 볼 수 있듯이, 소결 공정 조건에 따른 파쇄 탄자의 금속 미세구조 형상 및 밀도를 확인하면 사격 후 형성된 파편의 크기와 연관성을 확인할 수 있다. 미세구조 사진 상 금속의 결정이 작고 검은색 기공이 커지게 되면 밀도가 낮아져서 파편이 작아지게 되고 금속의 결정이 크고 기공이 작아지게 되면 이로 인해 밀도가 더 높아지게 되고, 탄자가 목표물을 타격 후에도 금속 결정 조직이 더 치밀하고 단단하여 파편이 더 커지게 된다[6].

### 2.2.3 효과 검증

본 시험을 통해 얻은 데이터의 결과 값으로는 Cu (85%), Sn(15%)의 조성으로 소결 온도 600℃ 소결 시간은 1hr 조건에서 소결한 3번 시료가 파쇄 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있다. 1번 시료는 밀도 및 압축 강도가 낮아, 총기 내에서 탄자가 파쇄 될 수 있는 확률이 올라가게 되고 2번 시료는 밀도 및 압축 강도가 높아 파편의 크기가 커지게 된다. 3번 시료는 밀도와 압축 강도가 1,2번 시료의 사이 값으로 총기 내에서도 정상적으로 발사되고 목표물 명중 후에도 작은 크기의 파편이 형성됨을 확인할 수 있다.

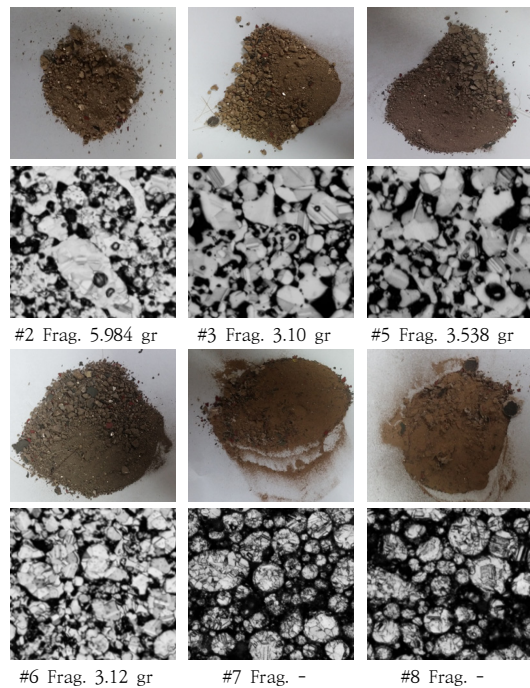




Fig. 9. Microscope and fragments photographs of samples

Fig. 9에서는 압축강도 및 소결 온도에 따른 미세구조와 탄자 파편의 크기를 비교하였다. 7, 8번 시료의 조직 사진을 관찰하면 입자 사이의 기공이 크고 치밀하지 않은 조직이기 때문에 목표물에 충격 후 파편이 더 작게 파쇄되었으나 배럴 내에서 탄자가 파쇄 될 가능성이 커 탄두로서의 기능을 하지 못함을 알 수 있다.

최종적으로 파쇄탄자의 파편을 일반 탄자와 비교하여 보면 아래 Table 10과 같이 목표물에 충격 후 파쇄탄자 파편의 크기가 더 작아 파편의 도비를 최소화 할 수 있음을 알 수 있다.

Table 10. Comparing result of normal and frangible bullet

Bullet	Components	Fragments	Max Size
Normal Warhead	Pb,Cu,Zn, Sb (Metal)		Over 10gr
Frangible Warhead	Cu,Sn (Powder Sintering)		3.10gr

본 실험을 통해 조성 성분 및 온도 뿐 아니라 소결 시간 또한 파쇄 탄자의 공정에 중요한 요소라는 것을 확인할 수 있었고 추후 추가적인 실험을 통해 소결 시간에 따른 시험도 진행 예정이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 파쇄 탄두의 공정 조건별 성능 확인 및 실제 탄자로써의 활용 가능성을 살펴보기 위한 안전성 및 신뢰성 시험을 진행하여 최적의 조성 성분 및 조건을 확인한 결과를 소개하였다. 이를 통해 최소 파편 크기 (3.10gr)가 완성 탄두의 약 3% 수준으로 파쇄탄두로서의 성능 조건과 운용 환경 및 안전에도 만족할 수 있는 시험 결과를 찾을 수 있었다.

향후 본 연구를 더욱 발전시켜 군사 작전이나 사격 훈련을 수행함에 있어 현재 사용 중인 탄두의 위력 및 안전성과 비교하여 동등 이상 수준의 파쇄 탄두를 개발함과 동시에 결과를 더 개선할 수 있는 소결 공정 조건을 찾아 공정 효율성 및 실용성을 높이는 방안을 연구하도록 할 것이다. 이를 통해 파쇄탄자의 성능 발전 및 금속 재료 공학 분야에 기여할 수 있도록 하겠다.

### References

- [1] M. H. Kim, B. C. Shon. "Study on the improving thermal and mechanical properties of eco-friendly materials used for training ammunition", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.5, pp.557-562, 2018  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.5.557>
- [2] J. H. Hong, T. S. Jang, C. B. Song, B. I. Kim, "Design and performance analysis of environment", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.14, No.2, pp.264-270, Apr. 2011
- [3] Editorial department. "Poongsan institute of technology to open a new future of precision ammunition", *Defence and Technology (365)*, pp.32-41, Jul. 2009
- [4] Anish, Upadhyaya, Guneet Sethi. "Effect of heating mode on the densification and microstructural homogenization response of premixed bronze", *Scripata Materialia*, Vol.56, pp.469-472, 2007
- [5] S. Furtauer, D. Li, D. Cupid, H. Flandorfer. "The Cu-Sn phase diagram, Part I : New experimental results", *Intermetallic*, Vol.34, pp.142-147, 2013
- [6] Adnan, S. Jabur. "Effect of powder metallurgy conditions on the properties of porous bronze", *Powder Technology*, Vol.237, pp.477-483, 2013

김 보 램(Bo-Ram Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (학사)
- 2008년 2월 ~ 2012년 4월 : 삼성 전자 LCD사업부 선행기술개발팀 연구원
- 2012년 4월 ~ 2014년 1월 : 삼성 디스플레이 개발팀 선임연구원
- 2018년12월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

금속공학, 전자공학, 방산

서 정 화(Jung-Hwa Seo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 공과대학 금속공학과 (학사)
- 1989년 2월 : 경북대학교 대학원 금속공학과 (석사)
- 1993년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 책임연구원

<관심분야>

금속공학, 전자공학, 화학

---

정 희 철(Hee-Chur Jung)

[정회원]



- 2018년 9월 : 경북대학교 기계공학과 (석사)
- 2010년 10월 ~ 2012년 11월 : 한국항공우주산업 사원
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임연구원

<관심분야>

재료공학, 물리학, 화학

---

김 규 영(Kyu-Young Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (학사)
- 2013년 3월 ~ 2018년 7월 : (주) 한화/방산 대리
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

기계공학, 재료공학, 방산