

친환경 소화기용 탄심 재료 및 2중 구조 설계 분석

Design and Performance Analysis of Environment Friendly Double Core Bullets for Small Arms

홍준희* 장탁순** 송창빈*** 김병인*
 Jun-Hee Hong Tak-Soon Jang Chang-Bin Song Byung-In Kim

Abstract

This paper focuses on possibility to design and fabrication new combination of bullet core to substitute current toxic material of heavy metal such as lead by environment-friendly ones.

The core is designed as dual structure to manipulate the core center of gravity easily by combining materials, which of basis is tungsten of low cost and easily acquired. Those combinations are W-M series such as W-Cu, W-Sn, W-Cu-Sn, and W-Cu-Ni to target the density of lead, 11.34g/cm³ through powder-metallurgy.

Out of four, combination of W-Cu-Ni shows the highest compression density of 96% and is confirmed as the most suitable substitution for lead due to the excellent property of matter and sintering.

All combination samples is simulated on the PRODAS software for designing and structure analysis by adjusting the center of gravity of dual core samples forward and backward. The simulations confirm the similarity of current bullet core with respect to properties of mass, aero dynamics, and flying stability.

Keywords : Heavy Metal(중금속), Bullet(탄자), Environment-friendly Metals(친환경 재료), Combining Materials(복합 재료), the Center of Gravity(무게 중심)

1. 서론

최근 소화기용 탄자는 소화기의 종류, 사용목적 및 특성(관통능력, 파편 특성, 유효사거리) 등에 따라 매우 다양한 것들이 최첨단과학기술을 바탕으로 무수하

게 개발되어 사용되고 있다. 그러나 이러한 대부분 소화기용 탄자의 코어로 사용되는 납은 자연생태계의 연쇄적 파괴 및 오염으로 인한 피해는 물론, 폭탄테러나 항공기 납치 등 강력범죄의 증가로 인한 선의적인 피해도 증가하고 있기 때문에 독성인 납(lead)을 대체할 수 있는 새로운 소재개발이 요구됨에 따라 오래전부터 국내·외에서 그에 따른 관련 연구 및 기술개발이 진행되어 왔다^{1~6)}.

국내·외에서 수행된 기초연구 및 실용 특허기술 개발의 예를 살펴 보면, 캐나다의 베랑제 저매인(대한민국, 공개번호 특허 1995-700529호) 등이 독성인 납(Pb)

† 2010년 11월 5일 접수~2011년 2월 25일 게재승인

* 충남대학교

** 방위사업청

*** 공주대학교

책임저자 : 홍준희(hongjh@cnu.ac.kr)

탄자 코어(core)의 대체소재로 구리분말-나일론의 혼합물을 사출 성형하여 제조하는 기술과, 미국의 나드카르니 애널 브이(대한민국, 출원번호 : 10-1998-0701874호) 등에 의한 구리 혹은 구리합금(청동, 황동 및 분산물 보강구리)의 분말을 압축성형 및 소결에 의해 탄자를 제조하는 기술 등이 보고되어 있으나, 이들 제안 기술은 탄환의 중요한 파괴력과 파쇄 특성보다는 인체에 대한 독성 피해를 최소화함과 동시에 목표물에 부딪친 후에 쉽게 파쇄되어 되튀(back splatter)현상에 의한 피해를 줄일 수 있도록 한 것이다.

전술한 소화기용 탄자의 문제점을 해결하기 위한 일환으로, 저자들은 이미 “W-M(M = Cu, Sn, Ni)계 고밀도 복합재료 제조에 관한 연구”를 수행하여 W-Cu-Ni계 고밀도 복합재료가 탄자용 코어소재로 적합함을 확인하였다^[7].

따라서 본 연구는 종래 9mm 권총용 납 탄자를 친환경 소재로 대체함과 동시에 탄자 특성을 개선할 목적으로 W-Cu-Ni계 고밀도 복합재료를 사용하고 기존 납탄자의 무게 중심이 같거나 다를 때 탄자의 특성을 알기 위해 2중 코어 구조를 채택했으며 무게중심의 변화에 따른 2중 코어 탄자 특성을 시뮬레이션을 통해 조사하였다.

2. 납 대체 친환경 탄심 재료 설계

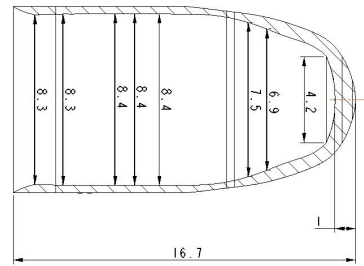
유독성 중금속인 납을 대체하기 위해 먼저 9mm(38구경) 납 탄자용 탄두 외피를 국내 전문업체로부터 제공받았다. 그리고 실용 9mm(38구경)용 납 탄자피 내·외측의 치수를 보다 정확히 측정하기 위해 (주)덕인에 의뢰하여 3차원 측정기를 이용하여 측정하고 이를 이용하여 3차원 모델링한 것이 Fig. 1이다.

3D 소프트웨어인 Pro/ENGINEER를 이용하여 무게중심을 계산한 결과 납 탄자의 무게중심은 8.91mm로 나타났다. 이 때 모의 탄자외피의 비중은 황동으로 아르키메데스법으로 측정된 결과 8.598g/cm³이었다.

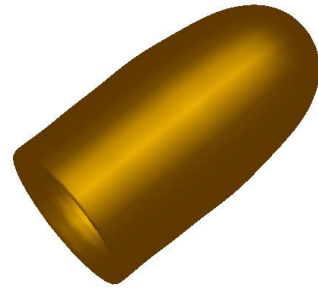
기존의 납탄과 똑같이 하여도 되지만 무게중심의 변화에 따라 탄도 및 파쇄 특성이 어떻게 변하는지를 조사하기 위해 무게중심을 조정 가능한 2중 코어 구조를 채택하였다.

3차원 측정기로 측정된 치수를 3차원 CAD를 이용하여 종래 9mm용 납 탄자자의 직경 및 길이는 동일하게 하고 납 코어가 차지하는 체적과 동일하게 코어 A와

B로 나누어 2중 코어로 구현하여 도시한 전단면도를 Fig. 2에 나타내었으며 실제 3차원 형상 도면을 Fig. 3에 나타내었다.



(a) Section



(b) 3D modelling of jacket

Fig. 1. 3D model of jacket reverse engineered by 3D measurement

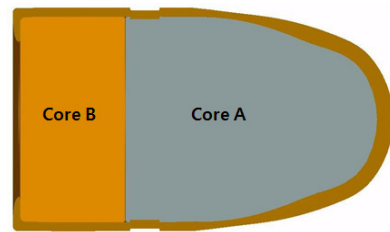


Fig. 2. Schematic drawing of bullet

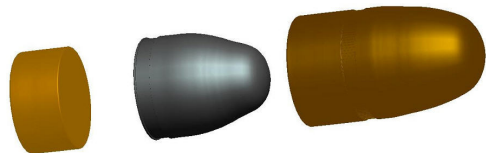


Fig. 3. Disassembly of bullet

이러한 2중 코어 설계는 특히 본 연구에서 시도하는 소화기용 유선형 탄자의 무게중심 변화에 따른 탄도 및 파쇄 특성을 조사하기 위한 것이다.

Fig. 4는 Fig. 2에 나타난 9mm용 2중 코어로 설계된 탄자의 전단면도에, 임의로 정한 무게중심 G1, G2, G3 및 G4를 나타낸 것으로 이들의 무게중심은 코어 A 및 B소재의 비중에 따라 변화가 가능하다.

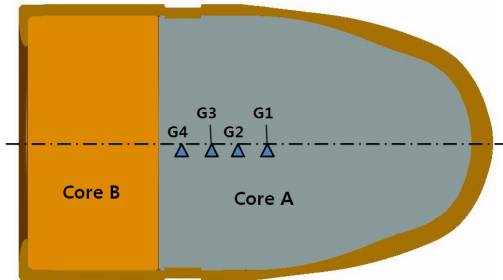


Fig. 4. Positioning center of gravity in bullet

시뮬레이션을 위해 본 연구에서는 종래 9mm용 일체형 납 탄심(비중 11.3g/cm³)으로 된 탄자의 무게중심(G3)을 3D 소프트웨어인 Pro/ENGINEER를 이용하여 무게중심을 계산한 결과 Table 1과 같이 8.91mm로 나타났다. 그리고 납 탄자보다 전방(비행방향) 0.3mm에 무게중심이 위치하도록 G1을 설정하고 납 탄자보다 전방(비행방향) 0.2mm에 무게중심이 위치하도록 G2를 설정하였다. 한편 G4는 납 탄자보다 후방(탄자 후미) 0.1mm에 오도록 Fig. 4와 같이 설정하였다. 이 때 코어 A 및 B 소재의 비중은 무게중심에 따라 각각 변화해야 하며 이것을 정리한 것이 Table 1이다.

Table 1. Distance from nose to center of gravity with respect to different density of each core

Sample group		Core A density (g/cm ³)(g _A)	Core B density (g/cm ³)(g _B)	Center of gravity (mm)	Variation (mm)
Front	G1	13.34	9.34	8.61	+0.3
	G2	12.34	10.34	8.72	+0.19
Standard point	G3	11.34	11.34	8.91	0
Rear	G4	10.84	11.84	9.03	-0.12

그러나 Table 1을 보면 알 수 있듯이 설정한 모의탄자의 무게중심 G1, G2 및 G4에 맞춰 2중 코어 A 및 B의 비중을 계산하였지만 정확히 무게중심을 맞출 수 없었으며 약간의 오차가 발생하였지만 크게 영향이 없으므로 표대로 하기로 했다.

3. 탄자 특성 시뮬레이션

현재 여러 나라의 군 또는 경찰에서 사용하고 있는 9mm 권총탄(Pb)과 동일한 형태와 무게를 가지고 있는 것과 무게중심이 현재 사용 중인 권총탄보다 앞 또는 뒤에 있는 탄자의 경우 어떠한 특성을 가지고 있는지를 분석하기 위해 탄자 특성을 시뮬레이션 하였다.

현재 사용 중인 탄자와 무게중심이 같거나 다르게 설계할 친환경 소재 탄자의 질량 특성(mass property), 공기동역학적 특성(aerodynamics property) 및 안정성(stability)을 확인하기 위해 탄자 및 로켓발사체 설계 해석용 프로그램인 프로다스(PRODAS : PROjectile Design and Analysis System)를 이용하여 시뮬레이션하고 이를 비교분석 하였다.

가. 시뮬레이션 조건

실험을 위한 대기온도, 압력, 총구속도 등은 국방규격¹⁸⁾을 참고하여 설정하였으며 그 값은 Table 2와 같다.

Table 2. Experimental condition

Parameter	Condition
Air Density	1.22500kg/m ³
Air Temperature	15.0C
Muzzle Spin Rate	1338.CPS
Muzzle Exit Twist	28.7cal/rev
Muzzle Velocity	340.0m/sec
Bullet Length	15.0368mm
Ogive Length	7.5184mm
Ogive Diameter	13.8357mm

나. 질량 특성

시뮬레이션을 위해 탄자의 총 무게와 탄자피 무게는 기존 탄자와 동일하게 설정하였으며 친환경 소재 탄심은 코어 A, 코어 B로 구분, 두 코어의 무게를 달리하여 무게중심의 위치를 기존 납 탄자와 다르게 하되 기존 납 탄의 코어 무게와 동일하게 선정된 텅스텐의 밀도를 고려하여 제작 가능한 무게를 임의로 선정하였다. 또한 탄자의 무게중심의 변화에 따른 비행동역학적 차이를 시뮬레이션을 통해 명확히 확인하기 위해 텅스텐의 밀도 고려시 실제 제작이 불가능한 G5와 G6의 코어 무게를 임의로 설정했다.

Table 3은 기존 납탄자의 탄심 무게와 동일하게 임의로 선정한 친환경 이중 코어, 기존 탄자의 탄심, 탄자피 및 총질량이다.

Table 3. Total weight of bullet including jacket, core A and core B
Unit(g)

Sample Group	Total	Jacket	Core A	Core B
G1	8.472	1.572	4.960	1.940
G2			4.800	2.100
G3			6.900	
G4			4.026	2.873
G5			5.000	1.900
G6			0.960	5.940

중량의 영향을 받는 무게중심(CG)과 대기로 인한 압력중심(CP)이 서로 상이하므로 Fig. 3 및 Table 4는 시뮬레이션을 통해 계산된 탄자의 무게중심 및 압력중심을 나타내는 것으로 6개의 시료 모두 탄자의 압력중심이 무게중심보다 앞에 위치하고 있음을 확인했다.

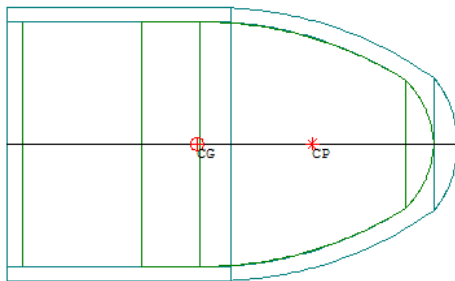


Fig. 5. CG(center of gravity) and CP(center of pressure)

Table 4. Distance of CG and CP from nose of bullet

Sample Group	CG	CP
G1	8.61mm	4.76mm
G2	8.72mm	4.87mm
G3	8.91mm	5.06mm
G4	9.03mm	5.18mm
G5	10.77mm	6.92mm
G6	7.91mm	4.06mm

다. 비행동역학적 분석

비행동역학적 안정성은 발사체의 외관에 의해 결정되며 탄자 비행간 정적안정성 및 동적안정성을 동시에 유지해야 하며, 비행안정성 확인을 위해 회전안정성 및 동적안정성 요소와 항력을 시험하였다.

1) 회전안정성 요소

회전안정성 요소(Gyroscopic stability factor)는 비행중 발사체의 선단이 비행방향으로 향하는 안정성을 판단하는 것으로 시뮬레이션을 통해 이를 계산하고 비교하였다.

회전안정성 요소는 다음 식으로 구할 수 있다⁹⁾.

$$S_g = \frac{2I_x^2 p^2}{\pi I_y \rho C_{m\alpha} d^3} \tag{1}$$

여기서

- I_x : 축방향 관성모멘트(kg-m²)
- p : 탄자회전속도(rad/sec)
- ρ_o : 총구에서의 공기밀도(kg/m³)
- I_y : 횡방향 관성모멘트(kg-m²)
- $C_{m\alpha}$: 1차 미분 피칭모멘트
- d : 탄자지름(mm)
- V_m : 총구속도(m/sec)

탄자가 비행시 안정을 유지하는 방법 중 하나는 탄자를 대칭축을 중심으로 회전시켜 안정을 유지하는 회전안정법이다. 안정 해석을 위해 안정인수를 사용하며 시뮬레이션에서 음속에 대한 상수로 나타나고 안정성의 기준은 회전안정성 요소 값이 반드시 1보다 커야

한다.

Table 5는 탄자의 비행속도에 따른 회전 안정인수로 6개의 시료 모두 탄자의 속도가 음속 1인 경우 안정인수가 12~16으로 안정함을 알 수 있다. 또한 기존 탄자의 무게중심보다 앞·뒤로 탄자의 무게중심 위치를 1mm 미만으로 변화시키면 회전안정성은 동일하며 탄자의 무게중심 위치를 1mm 이상으로 변화시키면 회전안정성은 약간의 변화가 있으나 안정을 유지함을 알 수 있다.

Table 5. Mach number vs gyroscopic stability factor

Mach No.	G1~G4	G5	G6
0.600	9.720	12.13	12.000
0.700	10.160	12.68	12.540
0.750	10.390	12.98	12.830
0.800	10.640	13.29	13.140
0.850	10.740	13.42	13.260
0.900	10.850	13.54	13.390
0.950	10.960	13.68	13.530
1.000	12.020	15.01	14.840
1.050	13.380	16.71	16.520
1.100	14.660	18.3	18.100
1.200	17.290	21.59	21.340
1.350	22.870	28.55	28.230
1.500	30.560	38.28	37.850
1.750	53.830	67.22	66.450
2.000	108.960	136.06	134.520

2) 동적안정성 요소

동적 안정성을 판단하는데 사용되는 동적안정인수(dynamic stability factor)는 회전 안정인수에 공기저항으로 인해 일어나는 감쇠효과를 고려하여 다음 식으로 계산한다^[10].

$$S_d = \frac{2(C_{n\alpha} - C_x(k_1^{-2}/2)C_{np\alpha}}{(C_{np\alpha} - C_x - k_2^{-2})C_{mq} + (k_1^{-2}/2)C_{lp}} \quad (2)$$

여기서 $k_1^{-2} = \frac{md^2}{I_x}$, $k_2^{-2} = \frac{md^2}{I_y}$

- $C_{n\alpha}$: 수직력 계수
- C_x : 축력 계수
- $C_{np\alpha}$: 1차 미분 Magnus 모멘트 계수
- C_{mq} : 피칭 감쇠모멘트 계수
- I_x : 축방향 관성모멘트(kg-m²)
- I_y : 횡방향 관성모멘트(kg-m²)

동적안정성 유지를 위해서는 $0.0 < S_d < 2.0$ 이고, $S_d > \frac{1}{2 - S_d}$ 이어야 한다.

Table 6. Mach number vs dynamic stability factor

Mach No.	G1~G5	G6
0.600	0.160	0.130
0.700	0.160	0.140
0.750	0.160	0.140
0.800	0.170	0.140
0.850	0.160	0.140
0.875	0.160	0.140
0.900	0.160	0.140
0.925	0.150	0.130
0.950	0.140	0.130
0.975	0.130	0.120
1.000	0.130	0.110
1.025	0.120	0.100
1.050	0.110	0.100
1.100	0.110	0.100
1.200	0.110	0.090
1.350	0.120	0.110
1.500	0.140	0.120
1.750	0.160	0.140
2.000	0.180	0.160

Table 6은 탄자의 비행 속도별 동적 안정인수를 나타낸 것으로 시뮬레이션 결과 탄자가 음속 1로 비행할 경우 기존 납 탄자 무게중심의 위치보다 1mm 미만 앞 또는 뒤에 무게중심이 위치한 시료는 기존 납탄자(G3)와 안정성이 동일하였으며 기존 탐보다 무게 중심이 1mm 이상 앞에 위치한 시료 G6의 경우 약간의 차이를 보였으나 탄자 속도가 음속 1인 경우 S_d 는 0.11 ~ 0.13이고 $1/2 - S_d$ 의 값이 0.529~0.534로 동적 안정 조건을 모두 만족함을 확인하였다.

3) 항력

탄자가 총구를 떠나 목표물까지 비행하는 동안 중력의 영향만 받는 것이 아니라 공기의 저항력도 받게 되며 탄자에 작용하는 공기역학적 힘은 탄자의 전 표면에 작용하는 압력 분포에 따라 결정되며 이들이 합성력은 벡터량으로 크기와 방향을 가지게 된다. 또한 작용점이 존재하며 이 작용점을 압력중심(CG)이라 부른다. 탄자가 운동하는 방향에 반대방향으로 작용하는 힘을 항력이라 하며 시뮬레이션을 통해 이를 계산하고 비교하였다.

Table 7. Zero yaw drag force at muzzle

Mach No	Unit(N)	
	G1	G6
0.01	0.2055	0.2055
0.4	0.2055	0.2055
0.6	0.2055	0.2055
0.7	0.2077	0.2077
0.8	0.21	0.21
0.9	0.24	0.24
1	0.56	0.56
1.1	0.64	0.64
1.2	0.62	0.62
1.5	0.58	0.58
2	0.54	0.54
2.5	0.54	0.54
3	0.54	0.54
3.5	0.54	0.54
4	0.54	0.54

Table 7에서 알 수 있듯이 사격시 Yaw가 발생하지 않는다면 외형과 무게가 같은 탄자의 총구에서의 항력은 동일하다.

4) 무게중심에 따른 탄도

총구를 떠나 목표까지 비행하는 탄자는 총구속도, 탄자의 형상 및 단면하중, 온도, 압력, 습도, 바람 등의 영향을 받으므로 동일한 조건에서 사격해도 외적인 영향에 의해 탄도가 달라질 수 있다. 시뮬레이션에서는 총구속도 및 탄자의 단면 하중, 대기조건 등의 조건을 동일하게 적용하고 탄자의 무게중심 위치는 기존 납 탄자와 동일하거나 다른 6개의 시료를 가지고 시뮬레이션 하였다.

Table 8은 각 시료의 사거리별 Y축 및 Z축 방향 편차로 기존 납 탄자(G3)보다 무게중심의 위치가 1mm 미만 앞과 뒤에 위치한 시료(G1, G2, G4)는 기존 납탄자와 동일한 탄도를 가지며 기존탄보다 무게중심의 위치가 1mm 이상 앞과 뒤에 위치한 시료 G5와 G6는 기존 납탄과 약간 다른 탄도를 얻었으나 권총의 유효사거리 고려시 탄도는 모두 유사하다고 할 수 있다.

Table 8. Deviation Y and Z axis of bullets

Range (m)	Unit(m)					
	G1~G4		G5		G6	
	Y	Z	Y	Z	Y	Z
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00	-0.02
30	0.00	-0.04	0.00	-0.04	0.00	-0.04
40	0.00	-0.07	0.00	-0.07	0.00	-0.07
50	0.00	-0.12	-0.01	-0.11	0.00	-0.11
100	-0.02	-0.50	-0.02	-0.49	-0.02	-0.49
150	-0.05	-1.19	-0.05	-1.16	-0.05	-1.16

4. 결론

본 연구는 납을 대체할 새로운 친환경 소화기용 탄자개발의 일환으로 기존 9mm용 일체형 납 코어 탄자의 외피는 현재와 동일하게 사용하면서 탄심만을 납 대신 친환경 소재로 바꾸기 위한 기초 연구를 진행하

였다.

탄자의 무게 중심을 변화시키기 위해 기존 납 코어 탄자의 코어 치수와 형상은 동일하면서 2중 코어 구조를 제안하고 무게 중심의 위치에 따른 2중 코어의 비중을 시뮬레이션으로 알아내었다.

또한 설계한 6종류의 모의 탄자의 질량 특성(mass property), 공기동역학적 특성(aerodynamics property) 및 안정성(stability)을 확인하기 위해 탄자 및 로켓발사체 설계 해석용 프로그램인 프로다스(PRODAS : PROjectile Design and Analysis System)를 이용하여 시뮬레이션하고 이를 비교분석 하였다. 그 결과 종래 일체형 납 코어를 친환경 고밀도 소재인 W-Cu-Ni 3차원계로 대체함과 동시에 2중 코어로 설계하여도 탄도의 비행 특성에는 큰 영향이 없었다.

References

[1] 박장호, 이금석, “환경 친화성 탄약 개발현황”, 제 11회 지상무기체계 발전 세미나 탄약/소재분과, (주)풍산 기술연구소, 1999.

[2] Arthur R. Pizza, “Green Bullet Program”, 2000 NDIA Joint Services Small Arms Symposium Exhibition &

Firing Demonstration, 2000. 8.

[3] “SERDP AND ESTCP Sponsor Development of Environmentally Friendly Small Caliber Ammunition -Results in Production Cost Savings”, SERDP Information Bulletin, No. 19, April 1998.

[4] Don Mikko, “U.S. Military Green Bullet”, Association of Firearm and Tool Mark Examiners Journal, Vol. 31 No. 4, Fall 1999.

[5] Robert R. Durkee, “Development of Lead-Free 5.56mm Ammunition”, 2000 NDIA Joint Services Small Arms Symposium Exhibition & Firing Demonstration, 2000. 8.

[6] Mark R. Mabry, “Lead-Free 5.56mm Ammunition”, 2000 NDIA Joint Services Small Arms Symposium Exhibition & Firing Demonstration, 2000. 8.

[7] 장탁순, 홍준희, 이태행, 구자명, 송창빈, “W-M(M = Cu, Sn, Ni)계 고밀도 복합재료 제조에 관한 연구(I)”, Journal of Korean Powder Metallurgy Institute, Vol. 16, No. 4, pp. 268~274, 2009. 8.

[8] 국방 기술품질원, “국방규격서(38mm 권총탄)”, 1981.

[9] 박희용 외 4인, 병기공학, 청문각, 1979.

[10] Arrow Tech, “Basic Aerodynamics”, 2005.