

탄체 외형결함이 탄도에 미치는 영향

김기수*[†] · 신춘식* · 윤성민* · 박창규* · 강경훈**

Influence of Projectile Surface Defects on the Trajectory

Kisu Kim*[†] · Choonsik Shin* · Sungmin Yoon* · Changkyu Park* · Kyeonghoon Kang**

ABSTRACT

Projectile can be damaged during the storage and handling. Maximum range calculation of the ammunition was performed on the assumption that each projectiles have 1.5mm/3.3mm axisymmetric dent on the surface. Drag coefficient for trajectory calculation was delivered from CFD using commercial software FLUENT. In the result of CFD, damaged projectiles those have 1.5mm/3.3mm axisymmetric dent have similar drag coefficient compare with normal projectile in the region of subsonic. But, in supersonic region, drag coefficient was increased 3%, 9% each in average. In the result of trajectory calculation, Maximum rage was decreased 1%, 3% each.

초 록

군에서 사용하는 탄약의 보관 및 취급상 발생할 수 있는 외형결함을 가정하여 그것이 사거리에 미치는 영향을 예측하였다. 외형결함은 탄체두부의 오자이브 형상에 각 1.5mm, 3.3mm의 축대칭 함몰부가 생기는 것으로 가정하였다. FLUENT를 사용하여 마하수 별 항력계수를 해석하였고, 탄도해석 프로그램인 PRODAS에 항력계수 데이터를 입력하여 탄도해석을 하였다. 공력해석결과 1.5mm, 3.3mm 함몰 탄체의 항력증가율은 정상탄체와 비교했을 때 아음속 영역에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 초음속 영역에서 각각 평균 3%, 9%의 증가율을 보였다. 최대 사거리는 포구속도 650m/s를 기준으로 각각 1%, 3% 감소한 결과를 보였다.

Key Words: Projectile Defects(탄체결함), CFD (전산유체해석), External Ballistics(강외탄도)

1. 서 론

탄약은 저장과 취급 시 탈취, 폭발, 성능저하 등이 발생할 수 있기 때문에 관리방법이 국내/

외의 규정집에 명기되어있다[1, 2]. 국내의 탄약 저장 상태는 여건에 따라 차이가 있으며, 열약한 저장환경에 있는 탄약은 훼손발생 확률이 높다. 탄약은 저장조건에 따라 5년에서 20년 이상까지 사용가능한 것으로 나타나 있다[3].

탄약취급 규정집에는 탄약 저장장소는 습기에 대비한 환기시설을 마련하도록 되어있으며, 과도

* (주)풍산

** 국방기술품질원

[†] 교신저자, E-mail: kimkisu@poongsan.co.kr

하게 습윤한 환경은 부품 및 화공품에 이상을 발생시켜 탄약의 수명을 단축시킨다. 탄약에서 뇌관 및 신관 부품의 결함은 치명적이기 때문에 이에 관련한 연구에서 화공품의 저장수명을 예측한 바 있다[4, 5]. 그러나 탄체의 외부결함에 관한 연구는 수행된 적이 없는 듯하다.

탄체의 외형결함은 포발사 시 강내 및 강외 탄도에 영향을 미친다. 강내탄도에서는 탄체의 구조안전성에 영향을 끼치고, 강외탄도에서는 공력계수 및 비행 안정성에 영향을 끼친다. 본 연구에서는 구조안전성에 영향이 적은 탄체두부에 축대칭 형상의 외형결함을 가정하여 그것이 사거리에 미치는 영향을 해석적인 방법으로 예측하였다.

2. 해석모델의 형상선정

해석모델은 일반적인 Cargo형태의 155MM 탄약을 선정하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 탄체의 두부에 각각 1.5mm, 3.3mm 축대칭 함몰부가 발생한 것을 가정하였다. 함몰부의 위치는 장기지장 탄약에서 발생하기 쉬운 부식위치를 선정 한 것이며, 함몰깊이는 임의로 정하였다.

실제 부식현상은 대부분 국부적으로 발생하지만 항력계수를 산출하는 과정에서 공력해석 횡수가 많기 때문에 2D 축대칭모델을 사용하였다.



Fig. 1 Projectile Shapes for Analysis, (a) No Dent, (b) 1.5mm Dent, (c) 3.3mm Dent

3. 공력해석

3.1 공력해석 방법

각 형상에 대한 항력계수 도출을 위하여, 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하여 축대칭 2차원 압축성 Navier-Stokes 방정식의 해를 구하였다. 선행연구로, 수치해에 미치는 격자의존성과 수치해석 영역의 영향을 조사하였으며, 또 여러 난류모델을 적용하였다. 그 결과 후술하는 바와 같은 계산영역과 계산격자를 얻을 수 있었으며, 압축성을 고려한 $k-\omega$ 난류모델이 가장 잘 결과를 예측하는 것으로 판단되었다. 탄체회전이 항력에 미치는 영향은 크지 않기 때문에 비회전체로 가정하여 계산하였다[6].

3.2 계산영역 및 경계조건

수치계산에 사용된 계산영역과 경계조건을 Fig. 2에 나타내었다. 계산영역의 크기는 x방향으로 탄체직경의 80배, y방향으로 탄체전장의 40배였으며, 계산영역은 마하수에 따라 조정하였다. 계산에 사용된 격자는 대략 10만개이다.

경계조건으로 탄체외부를 Pressure Far Field로 적용하였고, 벽면에는 단일 No-slip 조건을 적용하였다. 본 연구에서 Pressure Far Field를 대기압(P_0)과 대기온도(T_0)로 가정하고 마하수(M_∞)를 0.6에서 2.5의 범위에서 다양하게 변화시켰다. 1.5mm, 3.3mm 함몰탄체에 대해서도 같은 조건으로 계산을 수행하였다.

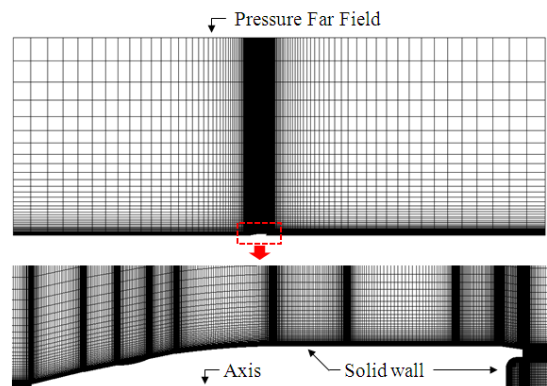


Fig. 2 Cell Structure and Boundary Conditions

3.3 수치해석결과

Figure 2는 탄체주변의 M_∞ 가 1.5의 경우, 외부결함의 깊이에 따른 탄체주변의 마하수 분포도이다. Fig. 3(a)는 외부결함이 없는 정상탄체로 선두부에서 강한 경사충격파와 오자이브 끝부분과 탄미에서 발생하는 팽창파를 가지는 전형적인 탄체 유동장을 보인다. 또한 탄체중간 연결부의 단에서 발생하는 약한 충격파와 팽창파도 관찰된다. 탄체의 후방부에는 유동이 박리하여 탄저(베이스) 후방으로 형성되는 후류가 발생한다.

Figure 3(b), (c)는 각각 1.5mm, 3.3mm 함몰탄체이다. 그림에서 전체적인 유동장은 정상탄체와 유사하지만 함몰부에서 발생하는 강한 충격파는 충격파 이후의 압력증가를 유발하여 선두부의 항력을 증가시킨다. 이러한 현상은 초음속 영역에서 발생하며, 탄체의 함몰 깊이가 깊을수록 강한 충격파가 관찰된다.

Figure 4은 공력해석결과 마하수에 따른 항력계수(C_d)의 값으로 정상탄체와 함몰탄체의 C_d 값은 아음속 영역에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 초음속 영역에서 각각 평균 3%, 9%의 증가율을 보였다. 이는 전술하는 바와 같이 함몰부에서 추가적으로 발생하는 충격파에 기인한다.

4. 탄도해석

4.1 탄도해석 방법

탄도해석은 상용 소프트웨어인 PRODAS를 사용하였으며, 4차의 Runge-Kutta integration scheme을 이용하여 6-DOF 운동방정식의 해를 얻었다. 해석모델의 중량분포와 형상은 실제 탄약의 데이터를 사용하였으며 발사속도 및 회전속도는 탄약의 운용환경과 동일하게 설정하였다.

탄도해석 프로그램은 내부에 형상에 따른 공력계수 데이터베이스를 포함하고 있지만 본 연구에서는 공력해석에서 획득한 항력계수를 사용하고 나머지는 프로그램 내부의 데이터베이스를 사용하였다. 탄약의 초기상태 입력값은 Table 1과 같다.

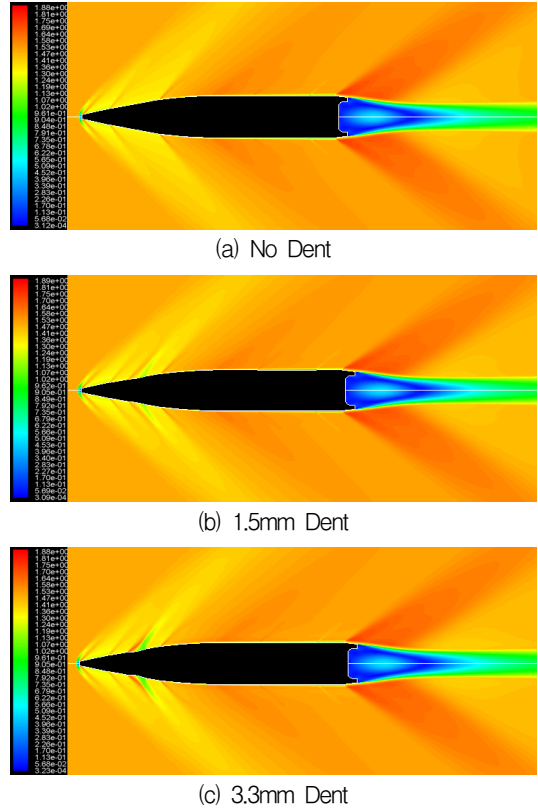


Fig. 3 Contour of Mach Number at $M=1.5$

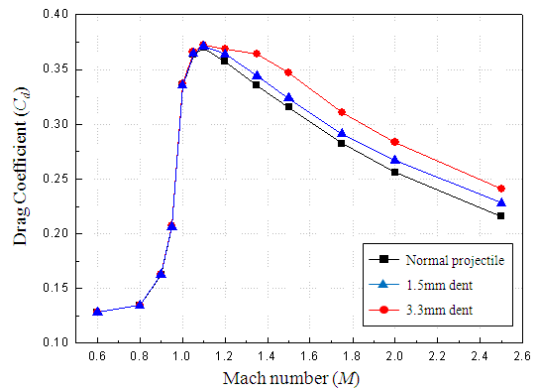


Fig. 4 Drag Coefficient with Mach Number

4.2 탄도해석 결과

탄도해석의 결과, Table 2과 Fig 5에 나타난 바와 같이 함몰부의 깊이가 깊을수록 최대 사거리가 감소하였다. 최대사거리의 경우, 1.5mm, 3.3mm 함몰탄체는 정상탄체와 비교해서 각각 171m, 531m의 차이를 보였으나,

종말속도는 탄체의 외형에 관계없이 동일하였다. 비행속도 차이는 포구속도 650m/s 부터 초음속구간에서 점차적으로 커지고, 천음속구간부터 아음속 구간에서는 점차 줄어드는 경향을 보인다.

Table 1. Initial Condition for Trajectory Analysis

Property	Value
Atmosphere	Sea Level Condition
Muzzle Velocity	650 m/s
Projectile Weight	46.95 kg
Time Step	0.05 sec

Table 2. Results of Trajectory Analysis

	Range (m)	Terminal Vel. (m/s)	difference in Range (m)
No Dent	18,213	332.6	-
1.5 Dent	18,042	332.5	-171 (1%)
3.3 Dent	17,682	332.5	-531 (3%)

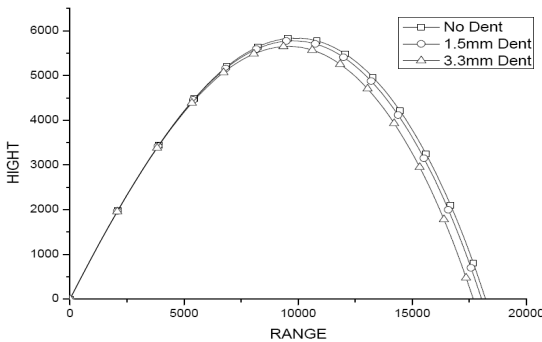


Fig. 5 Comparison of Trajectory

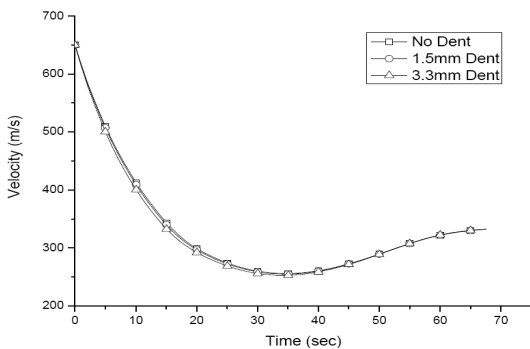


Fig. 6 Comparison of Velocity with Time

5. 결 론

탄체의 외형결함이 사거리에 미치는 영향을 알아보기 위해서 탄체두부에 축대칭 함몰부를 가정하여 공력해석과 탄도해석을 수행하였다. 그 결과 초음속 영역에서 함몰부에 발생하는 충격파로 인하여 선두부의 항력이 함몰깊이에 비례하여 증가하였고, 사거리는 항력증가에 따라 감소하였다. 3.3mm 함몰탄체의 경우 최대사거리에서 531m 차이를 보여, 일반적인 155MM급 탄약을 가정할 때, 분산거리인 200m를 2배 이상 초과하였다. 물론 상기 결과는 동일한 조건에 대한 실험적인 검증이 필요할 것이다.

요컨대 탄약의 취급불량으로 발생하는 외형결함은 분명히 탄약의 성능에 영향을 끼칠 수 있으므로 보관 및 취급 시에는 제반규정을 반드시 준수하여야 탄약의 성능에 영향이 없을 것이다.

참 고 문 헌

1. "Storage and Handling of Hazardous Materials", DLAI 4145.11 /TM 38-410 /NAVSUP PUB 573 /AFJMAN 23-209 /MCO 4450.12A /DLSC-LDD /13 Jan 99
2. 무기·탄약류 등 관리 규칙 [시행 2010.8.4] [훈령 제804호, 2010.8.4, 일부개정]
3. Taylor F. R., Farnell P. L., "Study of the Storage Stability of a Zr/Ni Delay System using Ampoule Microcalorimetry", 15회. IPS 논문
4. 장일호 외 3명, "Zr-Ni계 지연관 결합체(K1) 저장수명 향상", 한국군사과학기술학회지 제 13권 제2호, 2010년, pp.336~341
5. 박병찬 외 5명, "충격신관 K510용 Zr-Ni계 지연관의 저장수명 예측", 한국군사과학기술학회지 제12권 제6호, 2009, pp.719~726
6. R. Cayzac, E. Carette, P. Champigny, R. Thepot, O. Donneaud, "Analysis of static and dynamic stability of spinning projectiles", 21st International Symposium on Ballistics, 19-23 April, 2004