

Counter Mass Gun을 이용한 표준탄의 생존성 연구

A Study on the Survivability of the General Purpose Warhead by Counter Mass Gun Test & Analysis

임완권* **김성식*** **김호수***
 Rim, One Kwon Kim, Seong Shik Kim, Ho Soo

박관진* **이정환***
 Park, Kwan Jin Lee, Jeong Hwan

ABSTRACT

Survivability of the general purpose warhead during the target impact was studied. We first simulated the penetration phenomena and temporarily defined the survivability of the warhead at the impact situation. Next we launched the warhead projectiles by using Counter Mass Gun(CMG) system against the simulated specific steel target. The recovered warheads were carefully investigated and the penetration behaviors were analyzed. As a result the warhead can be hardened efficiently to enhance the survivability with the help of CMG test & analysis.

주요기술용어 : Muzzle Velocity Radar(MVR)(탄속측정레이더), CMG(일종의 대형 무반동포), Chronometer(접촉감지방법을 이용한 탄속계측장치), Propellant(추진 장약), Counter Mass(탄 발사 시 반동을 상쇄하기 위하여 탄의 반대방향으로 발사되는 질량체), General Purpose Warhead(유도탄에 사용되는 범용의 탄두로 철 구조물에 화약이 충전됨)

1. 서 론

탄두나 비행폭탄의 표적 타격 시 생존성을 확인하기 위하여, 지상에서 Counter Mass Gun(이하 CMG라 칭함)을 이용, 강철 구조물에 비활성 화약이 충전된 표준화된 구조를 갖춘 탄(General Purpose

Warhead)을 발사시켜 철판을 관통시킨 후 이를 포집하여 관통 및 생존성을 분석하는 연구를 수행하였다.

2장에서는 표준탄을 지상에서 지정된 비행속도로 발사하기 위한 일련의 과정과 이에 관련된 기법을 소개하였고, 3장에서는 철판관통 시험 및 분석결과를 제시하였다. 끝으로 4장의 결론에서는 CMG를 이용한 시험기법의 효용성과 이에 힘입은 효율적인 탄 설계의 가능성을 기술하였다.

* 국방과학연구소

2. 시험 장치 및 시험 방법

2.1 시험 장치

표준화된 탄을 지상에서 지정된 속도로 발사시키기 위하여 그림 1의 개념과 같은 CMG를 개발하였다^[1]. 개발된 CMG는 정규포신 대신 상업용 강관을 포신으로 사용하여 제작비가 매우 저렴하며, 무게 250kg, 직경 350mm급의 발사체를 250~300m/s의 수준으로 발사가 가능하다.

CMG의 원리는 르네상스 시대의 이탈리아의 과학자인 Leonard da Vinci(1,452~1,519)에 의하여 소개가 되었다^[2]. 이는 2개의 발사체를 발사관내에서 서로 반대 방향(양방향)으로 발사하여 운동량의 균형(momentum balance)을 유지하여 발사장치에 반동이 일어나지 않도록 하는 것이다. 그 후에 1차 대전 중에 미 해군의 Davis^[3]가 무반동형 발사 장치를 고안하여 현재 사용하는 CMG의 모태가 되었고, 이를 1970년대에 미국 Sandia 연구소에서 Davis Gun이라고 칭하며 지하 침투탄(earth penetrator) 시험에 사용하였다^[4].

개발된 CMG는 전장에서의 용도가 아닌 지상시험용 발사장치로 고려하였기 때문에, Davis Gun이나 무반동포의 개념에 입각하되 Leonard da Vinci의 개념에 가깝게 설계되었다. 즉 동일한 중량의 물체를 양

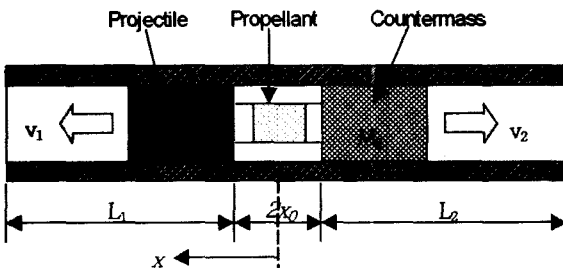


[그림 2] 개발된 CMG 형상

방향으로 발사시켜서 정방향은 탄을 발사하고 반대방향으로는 Counter Mass(이하 CM이라 칭함)라고 지칭하는 투사체를 발사시키는 방식으로 설계되었다. 2개의 발사체가 동시에 발사관을 떠나게 조절하면 발사관 내부에서 두개의 발사체에 가하여지는 압력 즉 힘은 시간에 따라 변하여도 대칭적으로 같고 힘이 작용한 거리가 L_1, L_2 이므로 운동량보존법칙과 상기의 조건을 결합하면 다음의 수식이 유도된다^[4,5].

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{M_2}{M_1} \quad (1)$$

위식에서 M_1 은 탄 질량, V_1 은 탄 발사속도 L_1 은 탄의 발사관내 이동거리, M_2 는 Counter Mass(CM)의 질량, V_2 는 CM 속도, L_2 는 CM의 발사관내 이동거리이다. 이 수식이 의미하는 것은 탄속은 추진제의 양 및 충전밀도(Lc)뿐만 아니라, 탄과 CM의 무게, 이동길이(L_1, L_2)를 적절히 조절함으로써 조절이 가능하다는 것이다. 탄과 CM이 장착되는 CMG의 발사관내 실제 운용 형상은 그림 2에 소개되어 있다.



[그림 1] Counter Mass Gun(CMG) 개념도

2.2 수치해석을 통한 실험의 전산모사

관통시험 수행 전에 탄의 관통성능 및 생존성을 시험 상황과 동일한 20°의 경사조건으로 수치해석을 하였다. 그림 3의 왼쪽은 표적구조물을 모델링한 것이다. 철판과 I-빔, T-빔은 솔리드(solid)요소로 모델

링할 수도 있으나, 요소의 수가 너무 많아지므로, 철판을 비롯하여 빔구조물의 각종 웹(web), 플렌지(flange) 등을 모두 셸(shell) 요소로 모델링 하였다. 셸 요소를 적용한 접촉(contact) 경계조건에서 셸 표면의 수직방향(normal direction)을 잘못 정의하면, 6면체요소로 구성된 탄 구조물과 접촉이 발생되지 않으므로 모델링 시에 주의해야 한다. 일반적인 셸(Shell) 요소의 수직방향 정의는 요소의 절점(node) 연결순서(connectivity)로부터 정의된다.

탄 속도가 250~300m/s 범위로서, 탄과 표적 모두 라그랑지안(Lagrangian) 연산자를 이용하였고, 재료 모델은 선형 탄성-완전 소성(Linear Elastic-Rigid Plastic)을 사용하였다. 다양한 재료 상수로부터 표적의 관통현상과 탄의 변형을 비교하면서 수치해석을 수행하였다. 연강소재의 압연 철판 표적은 항복강도 50kg/mm², 소진값(Erosion)은 0.5로 하였고, 탄 구조물은 AISI 4140 소재로 항복강도 120kg/mm² 소진값(Erosion)은 0.2로 계산을 수행하였다. 이 빔 구조물이 보강된 철판 표적의 두께는 3/4인치이다.

그림 3의 오른쪽은 표적 관통후의 변형 형상이다. 탄은 철판과 빔 구조물을 용이하게 관통하였으며, 표적 구조물은 대변형이 발생하였으나, 탄 구조물은 전방부가 볼록하게 부풀지만 파괴되지는 않는 것으로

분석되었다.

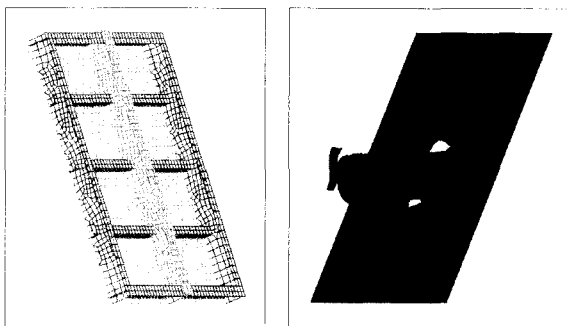
2.3 시험

CMG를 이용한 표준탄의 철판 관통시험을 수행하기 위하여 거쳐야 할 과정은 탄의 생존성에 대한 개념을 정립하고 이를 확인하는 관통시험을 수행하는 것이다.

탄의 “생존성”이란 표적과의 종말조우 조건(관통/침투)에서 탄에 부여된 기능과 성능이 발휘될 수 있는 상태를 계속 유지하고 있는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 표준탄은 신관이 후방부에 위치하고 구조가 단순하기 때문에 관통 후 탄 구조물의 전방부에 부분적인 변형이 일어난다 하여도 그 기능과 성능에 큰 영향이 없다. 또한 관통후 탄 구성품 간의 상대적 위치가 기능상 허용되는 범위 내에 있어 기폭성능에 문제가 없으면 생존성이 있다고 할 수 있다. 이를 위하여 탄의 생존조건을 다음의 2가지로 본 논문에서 잠정적으로 정의하였고, 이를 시험을 통하여 확인을 시도하였다. 여기서 (포집 회수된) 이란 표현은 현실적인 문제를 반영한 것으로 추후 시험기술의 향상시정정되어야 할 사항이다.

- 관통후(포집 회수된) 탄의 신관은 탄에 부착되어 있어야 한다.
- 관통후(포집 회수된) 탄의 구조물은 파손이 일어나지 않고 부분적으로 변형된 수준에서 머물러야 한다.

위에서 정의한 탄의 생존성을 확인하기 위하여 표적에 CMG를 사용하여 탄을 지정된 속도로 발사시켜 관통시키는 시험을 실시하였다. 그림 4와 같이 CMG 발사관 입구로부터 철판을 약 20m 지점에 20도 경사



[그림 3] 표적(상) 및 관통후 형상(하)

로 설치한 후 탄을 요구속도의 $\pm 10\%$ 오차 수준내로 발사하였다. 철판을 관통한 탄을 미리 쌓아 놓은 철판 뒤의 흠더미에 포집하였고, 탄과 반대로 발사된 CM은 포집을 하지 않았다. 이때 탄의 철판 관통 장면과 탄속을 고속 영상기록장비, Chronometer 및 Muzzle Velocity Radar로 측정하였다. 시험에 사용된 표준탄과 CM은 그림 5에 소개되어 있다. 시험에 사용된 점화 시스템 및 추진제는 참고문헌 [1]에 소개되어 있다.

흠더미에 파묻힌 후 회수된 탄의 형상을 조사하여 탄 구조물의 파손 여부를 검사하였고 신관의 탄 부착 상태 유지 여부를 확인하고 모든 내용을 사진과 비디오로 기록하였다. 회수된 탄이 파손되었을 때는 고속 비디오에 기록된 철판 관통장면을 조사하여 관통시

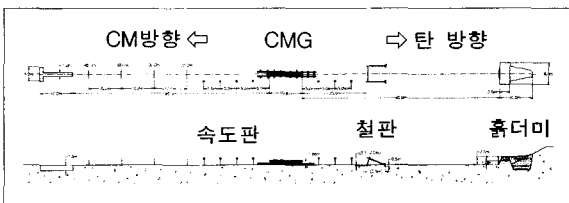
파괴여부를 추정하였다. 고속비디오의 프레임 수는 시험시의 광량과 밀접한 관계가 있는 데, 경험상 초당 1,000 프레임이면 탄속 계측이나 탄의 개략형상을 확인하는데 문제가 없는 해상도이기 때문에 1,000 fps*로 하여 계측 수행하였다.

탄 관통시험은 3회를 수행하였다. 시험탄은 약 260m/s의 속도로 발사되었는데 이는 안전을 위한 시험장비의 허용 속도와 관련이 있다. 그림 6은 철판표적을 향하여 탄과 CM을 발사하는 장면이며 그림 7은 관통 직전의 표적이다.

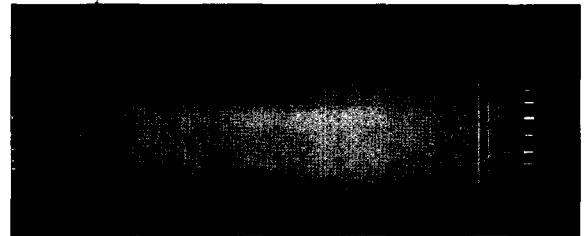
[표 1] 사용된 계측 장비

계측 장비	계측 항목	비 고
디지털 고속 비디오	비행 자세 탄속 측정 관통후 탄 형상	1,000 fps*
크로노메타 (Chronometer)	탄속 측정	
Muzzle Velocity Radar(MVR)	CM 속도 측정	

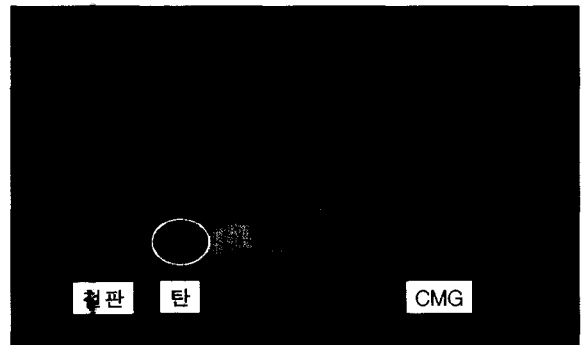
* fps : frame per second



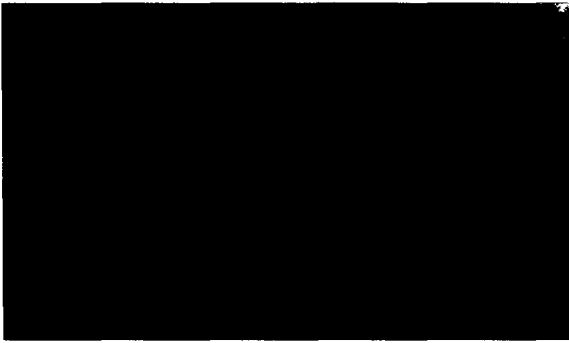
[그림 4] 시험장치 배치도



[그림 5] 시험에 사용된 표준탄(상)과 CM(하)



[그림 6] 철판표적을 향하여 발사된 표준탄



[그림 7] 설치된 철판표적

3. 시험결과 분석 및 검토

3회의 시험 결과가 표 2에 나타나 있다. 시험결과 탄은 모두 정상 관통후 회수 되었다. 그림 8에서 9는 표준탄의 관통력을 입증하는 장면이며 그림 10은 표

준탄의 생존성을 입증하는 장면이다. 그림 11은 2차 시험 시 철판을 관통하는 장면을 고속 비디오(1,000 frame/sec)로 촬영한 것이다.

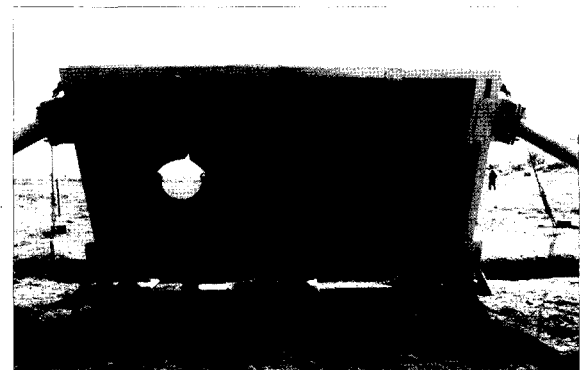


[그림 8] 관통된 철판 전후면

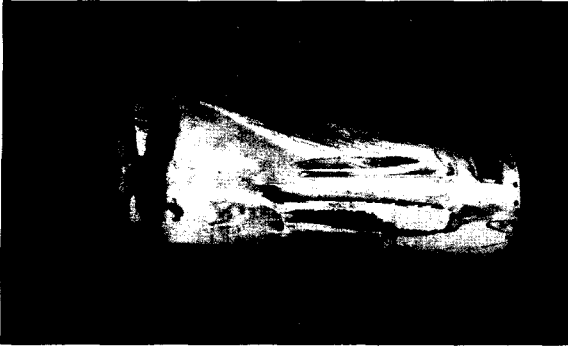
[표 2] 관통시험 결과

순 번	탄 속 (m/s)			결 과
	장비	탄	CM	
1	A	255	-	-시험탄 회수 -탄 전방부 변형 -탄/신관 결합유지
	B	-	261	
	C	측정 못함	-	
2	A	261	-	-시험탄 회수 -탄 전방부 파손 -탄/신관 결합 유지
	B	-	259	
	C	256.0	-	
3	A	261	-	-시험탄 회수 -탄 전방부 변형 -탄/신관 결합 유지
	B	-	259	
	C	262.0	-	

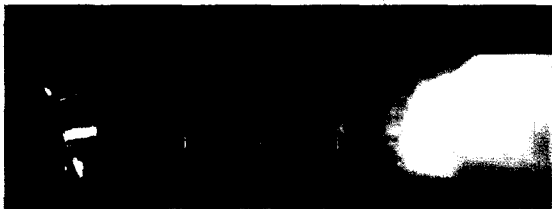
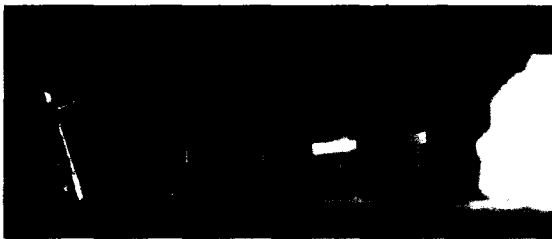
A: 고속비디오/ B: MVR /C : 크로노메타



[그림 9] 철판 후면 전체사진



[그림 10] 전방부가 변형된 표준탄



[그림 11] 표준탄이 철판을 관통하는 장면
(고속 비디오, 1,000 fps)

1차 및 3차 시험에서 전방부에 부분 변형이 발생되었고 2차 시험에서 전방부에 약간의 파손이 발생되었다. 2차 시험의 관통장면을 1, 3차 시험과 비교 분석한 결과 포집 시 파손된 것으로 추정된다.

이상과 같이 표준탄의 관통시험을 수행한 결과 탄의 생존성을 확인할 수 있었다. 탄이 흙더미에 포집 시에 손상이 발생하는 것을 방지하기 위하여 탄의 전방부를 강화하는 방법과 포집 시 탄이 받는 충격을 완화하는 방법이 있는 데 충격 완화방법은 추후 연구를 수행하는 것으로 남겨 놓았으며, 현 단계에서는 탄 전방부의 강도를 강화하는 방향으로 설계를 부분 변경하였다. 이를 통하여 철판 관통시험 시 표준탄의 생존성을 제고시킬 수 있었다.

4. 결 론

일반화된 표준탄에 대하여 CMG를 사용하여 관통 시험을 수행한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 설계 제작된 탄은 관통능력을 갖추고 있다.
- 탄 관통시험 시 생존성을 증진시키기 위하여 탄 전방을 보강하는 설계가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 김성식 외 9명, 대형 지상 발사체계 개발 결과 종합 보고서, TEDC-519-030675L, 2003, 8월, 국방과학연구소

[2] Kathe, Eric L., U.S Patent No. 6,460,446 B1, Sonic Rarefaction Recoilless Gun System, Leonard da Vinci의 recoilless gun의 개념이 소

개됨, Oct. 8, 2002.

- [3] Davis, Clealnd, U.S Patent No. 1,108,716, Apparatus for Firing Projectiles from Air-Craft, Aug. 25, 1914.
- [4] L.O Seamons, "A Davis Gun Penetrator Launch System", *Proceedings of the 45th Shock And Vibration Symposium*, 81-85, 1974,

(ADA 112620).

- [5] Kim, Ho Soo, et al, Development of the 350mm Class Countermass Launch System using the Commercial Standard Steel Pipe, *Proceedings of the 21st International Symposium on Ballistics*, April 19-23 2004, Adelaide, Australia, *To be appear*.