

## 저속충격시 Ba II탄(5.56mm)의 형상변화에 관한 연구

손세원(건국대 기계항공우주공학부), 이두성(건국대 수학과), 홍성희\*(건국대 대학원 기계설계학과), 김영태(건국대 대학원 기계설계학과)

### A Study on the shape deformation of ball projectile(5.56mm) under the low velocity impact

S. W. Sohn(Mech. Eng. Dept., Kon-Kuk Univ.), D. S. LEE(Math. Dept., Kon-Kuk Univ.), S. H. Hong(Mech. Design. Dept., Kon-Kuk Univ.), Y. T. KIM(Mech. Design Dept., Kon-Kuk Univ.)

#### ABSTRACT

This study investigated the shape deformation of ball projectile(5.56mm) under the low energy impact by the use of the drop weight impact tester. ball projectile(5.56mm) consisted of the copper face with a lead core.

The impact conditions were changed with the variations of the mass and the drop height of the impact tup.

Shape deformation of ball projectile(5.56mm) after low velocity impact was measured using a video microscope and CCD camera.

The test result showed that impact energy by changing of drop height of the impact tup affected shape deformation of ball projectile(5.56mm). So, it is important to study the relativity between shape deformation of ball projectile(5.56mm) and ballistic protection of plate(such as hybrid composite laminates) under the high velocity impact.

**Key Words :** 5.56 ball projectile(5.56mm 볼 탄) Shape deformation(형상변화), Drop weight impact tester (낙하추식 충격시험기), low velocity impact energy(저속충격 에너지),

#### 1. 서론

일반적으로 탄자가 목표물인 판재(plate)에 고속으로 충돌하는 경우 관통현상은 표적과 그의 고유특성에 따라서 달라질 뿐만 아니라 탄자가 표적을 타격하는 타격각도에 따라서도 크게 달라진다. 관통현상에 영향을 주는 인자로는 표적에 영향을 주는 것과 탄자에 영향을 주는 인자로 나누어진다. 중요한 인자로는 재료의 경도, 강도, 연성, 취성 및 소성변형들의 기계적 성질과 밀도와 용융점 등을 나타내는 물리적 성질 등이 있다. 탄자에 영향을 주는 인자로는 탄자의 속도와 그의 형상 및 타격각과 재료의 특성 등이 있다. 이외에도 재료조성과 불균일성등 여러 가지가 있다. 관통현상은 복잡하고 난해하기 때문에 그의 정확한 해석은 대단히 어렵다<sup>(1-3)</sup>.

지금까지의 연구동향을 살펴보면 탄자의 변형만이 발생하는 경우와 탄자의 변형과 목표물의 변형이 동시에 발생하는 연구는 드물고, 거의 텅스텐이나

강 재질의 탄자를 사용하여 실제 사용되고 있는 탄자의 변형은 고려하지 않고, 복합재료 적층판등과 같은 목표물(target)의 변형 및 충격거동을 주로 연구하여왔다. 대부분의 연구는 복합재료 적층판에서 충격저항성을 향상시키고, 잔류강도를 높이는 분야에 집중되어 왔다<sup>(4-7)</sup>.

본 연구에서는 방호개념(ballistic protection)의 고속충격시 탄자의 변형으로 인한 무더짐효과(blunting effect)가 중요하게 작용하므로, 탄자의 변형만이 발생하는 경우에 대하여 연구하였다.

#### 2. 배경이론

##### 2.1 탄자(Projectile)

탄자(projectile)란 발사지점에서 표적까지 강외 탄도를 그리면서 날아간 비행체 전부를 나타내고, 관통자는 표적을 관통하는 물체를 나타내며, 타격자

는 표적에 부딪치는 물체를 나타낸다. 표적까지 비행하는 탄자는 특수탄자와 보통탄자로 구분된다. 관통을 위주로 한 특수탄자의 경우에 관통현상을 엄밀하게 규명하기 위해서는 관통을 위주로 만든 AP(Armor Piercing)탄이나 APC(Armor Piercing Capped)탄 또는 HVAP(High Velocity Armor Piercing)탄에서는 탄자와 관통자 및 충격자가 동일하지 않기 때문에 탄자를 다시 관통자(penetrator)와 타격자(striker)로 구분한다. 발사지점을 떠나 표적까지 비행하는 탄자는 강의 탄도에서 탄자가 안정성을 유지하면서 원하는 비행궤적을 그리기 위해 대부분의 경우 바람막이가 필요하므로, 탄자와 관통자 및 타격자는 엄격한 의미에서는 상이하지만 일반적으로 많이 사용하는 보통탄이나 이론적인 해석으로 관통현상을 규명할 때는, 이들 상호간의 역학관계가 복잡하여 하나로 묶여 동일하게 취급하는 것이 일반적이다<sup>8)</sup>.

본 연구에서는 Fig. 1에서와 같은 M16A1소총에 사용되는 5.56mm ball 탄(M193탄)을 사용하였다.

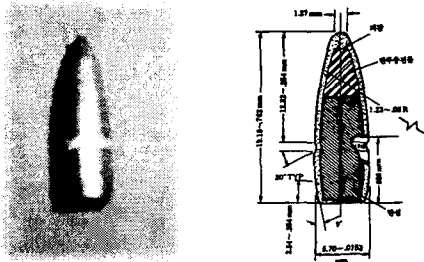


Fig. 1 Schematic diagram of 5.56 mm ball projectile (M193 projectile)

## 2.2 충격 속도(Impact velocity)

탄자의 속도는 초저속도, 저속도, 정상속도, 고속도 및 초고속도의 5가지로 분류된다. 초저속도는 0~25m/s의 느린 속도로서 타격물체의 자유낙하에 의하여 얻을 수 있으며, 저속도는 25~500m/s의 속도범위로서 압축공기 등에 의하여 얻을 수 있다. 정상속도는 500~1300m/s의 비교적 높은 속도의 범위로서 이것은 보통의 총기로 얻을 수 있으며, 고속도는 1300~3000m/s의 높은 속도범위로서 미사일 탄두의 폭발 등으로 얻을 수 있고, 초고속도는 3000m/s 이상의 매우 높은 속도의 범위로서 성형장약(propellant)이나 가스총(gas gun)으로 얻을 수 있다<sup>9)</sup>.

본 연구에서는 저속의 충격속도를 얻기 위하여 낙하중 충격시험기(DWT, drop weight impact tester)를 직접 제작하여 사용하였다.

## 3. 실험

### 3.1 실험 장치

5.56mm ball 탄의 충격에너지에 따른 변형을 연구하기 위하여 사용된 낙하중 충격시험기는 Fig. 2와 같으며 충격시험기의 타면에는 5.56mm ball 탄을 장착하였다. 충격에너지의 변화를 주기 위하여 낙하높이를 6단계로 조절하였으며, 낙하시의 낙하속도를 측정할 수 있도록 시험기의 상하 2부분에 센서를 부착하고, Fig. 3과 같은 장치를 이용하여 낙하 높이(h)에 따른 낙하속도를 측정하였다.

저속충격후 5.56mm ball 탄의 변형은 광학현미경과 CCD Camera를 사용하여 측정하였다.

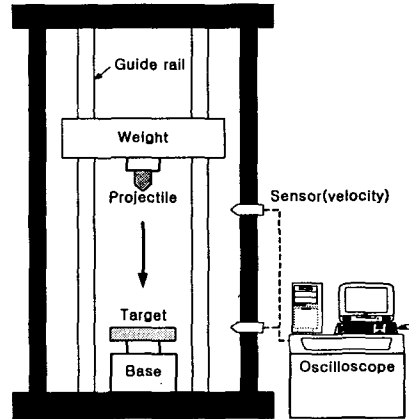


Fig. 2 Experimental setup for Drop weight test

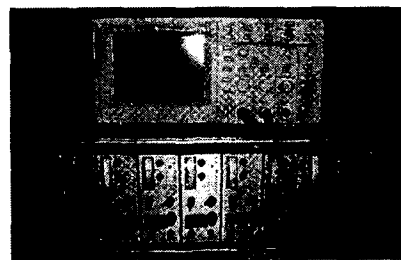


Fig. 3 Low velocity analyser

### 3.2 저속충격 실험조건

본 연구에서는 탄자의 변형만이 발생하는 경우에 대하여 연구하기 위하여 Table 1과 같이 타면의 끝에 장착된 탄자가 목표물과 접촉하는 순간을 기준으로 각각 350mm, 450mm, 550mm, 650mm, 950mm, 1250mm인 낙하 높이(h)를 적용하여, 저속충격시 탄자에 작용하는 충격에너지가 각각 22J, 28J, 35J, 40J, 60J, 78J이 되

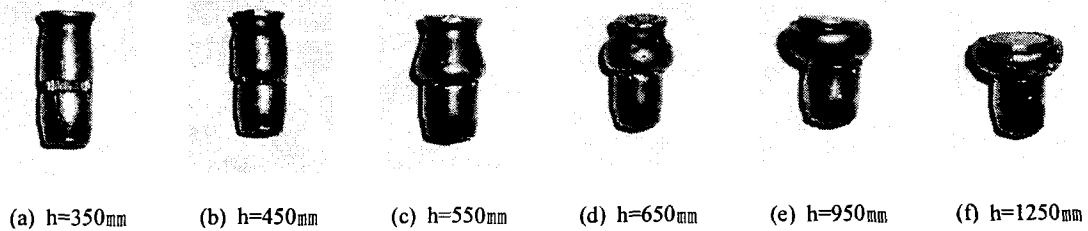


Fig. 4 Shape deformation of 5.56mm ball projectile after low velocity impact at each height(h)

도록 하고, 각각의 경우에 대하여 3회 반복실험을 행하여 타면에 장착된 탄자의 변형을 측정하였다. 또한 판재는 탄자의 충격에너지에 의한 영향을 최소화하기 위하여 강판(Steel plate)을 사용하였다.

Table 1 Low velocity impact test condition

case	Distance between projectile and plate(mm)	Impact Energy(J)
A	350	22
B	450	28
C	550	35
D	650	40
E	950	60
F	1250	78

#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 저속충격 시험결과

낙하하중 충격시험기를 이용한 5.56mm ball탄의 저속충격시험 결과 충격에너지에 따른 탄자의 형상 변화는 Fig. 4와 같다. 충격에너지가 증가할수록 탄자의 길이가 짧아짐을 알 수 있고, 탄자의 무더짐(blunting) 또한 증가함을 알 수 있다.

Table 2는 낙하하중 충격시험기를 이용한 5.56mm ball탄의 저속충격시험 후 탄자의 변형을 측정된 결과이다. 탄자의 충격에너지를 22J에서 78J로 71.8% 증가시켰을 때, 탄자의 전체 길이는 평균 200% 감소하였고, 탄자의 직경은 평균 36.5% 증가하여 탄자의 길이 감소율이 탄자의 직경 증가율보다 약 5.48배 크게 나타났다.

Fig. 5에는 6.148kg의 질량을 갖는 낙하하중을 판재에 떨어뜨린 경우의 낙하높이에 따른 탄자의 길이 변화가 나타나 있다. 낙하높이가 350mm, 450mm, 550mm, 650mm, 950mm, 1250mm로 증가할수록 충격시 탄자에 작용되는 충격에너지는 높아지기 때문에 선형적으로 길이가 감소함을 알 수 있다.

Table 2 Shape deformation of projectile after impact

case	Distance between projectile and plate(mm)	Length of projectile (mm)	Diameter of projectile(mm)
A1	350	7.56	6.46
A2		7.16	6.41
A3		6.83	6.13
B1	450	6.31	6.34
B2		6.21	6.32
B3		6.33	6.43
C1	550	5.60	7.47
C2		5.68	7.36
C3		6.07	6.81
D1	650	4.26	8.13
D2		4.27	8.23
D3		4.52	7.86
E1	950	3.38	8.76
E2		3.57	8.33
E3		2.93	9.04
F1	1250	2.54	9.93
F2		2.42	10.04
F3		2.27	9.99

Fig. 6에는 6.148kg의 질량을 갖는 낙하하중을 판재에 떨어뜨린 경우의 낙하높이에 따른 탄자의 직경 변화가 나타나 있다. 낙하높이가 증가할수록 탄자의 길이는 Fig. 5와 같이 감소하나 탄자의 직경은 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 고속충격시에는 더 큰 충격에너지가 작용함으로 목표물(plate)의 파괴 모드 및 변형을 연구할 때에는 충격에너지에 따른 탄자의 변형(blunting effect)이 파괴모드와 방호한계(ballistic protection limits)를 결정하는 중요한 인자가 될 수 있음을 의미함을 알 수 있다.

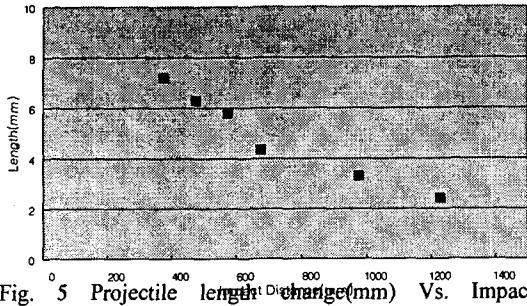


Fig. 5 Projectile length change(mm) Vs. Impact height(mm)

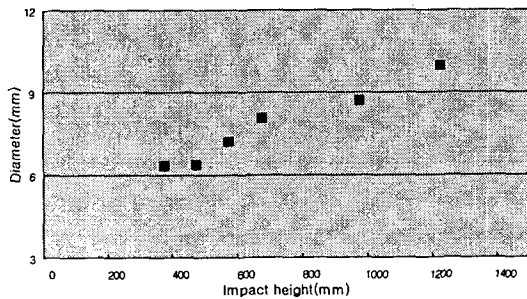


Fig. 6 Projectile diameter change(mm) Vs. Impact height(mm)

### 5. 결론

본 연구에서는 낙하하중 충격시험기를 이용한 5.56mm ball탄의 저속충격시험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저속충격시 5.56mm ball탄은 충격에너지가 증가함(71.8%)에 따라 탄두의 무더짐(blunting) 효과가 선형적으로 증가하였고, 최대 충격에너지가 71.8% 증가하였을 때 탄자의 직경은 평균 36.5% 증가하였다.

(2) 저속충격시 5.56mm ball탄은 탄두의 무더짐(blunting) 효과가 선형적으로 증가함에 따라 비례적으로 탄자의 길이가 감소하였고, 최대 충격에너지가 71.8% 증가하였을 때 탄자의 길이는 평균 200% 감소하였다.

(3) 5.56mm ball탄의 탄두 부분은 충격에너지 값의 증가에 따라 길이의 감소, 직경의 증가가 발생되었으나, 탄미 부분에서는 그 변형정도가 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-30400-014-3)지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

1. 이영신, 강근희, 박용, "혼합적충된 복합재료평판의 저속충격응답," "대한기계학회지, Vol. 15, No. 3, pp. 713-722, 1991.
2. 최익현, 최윤록, 홍창선, "Graphite/Epoxy 및 Graphite/PEEK 복합적충판의 저속충격후 잔류 압축강도에 대한 실험적 해석," "한국복합재료학회지, Vol. 6, No. 2, pp. 69-76, 1993.
3. 최익현, 홍창선, "복합적충판의 저속충격 손상영역 평가," "한국항공우주학회지, Vol. 22, No. 4, pp. 78-88, 1994.
4. 김재훈, 전제춘, "준등방성 복합적충판의 저속충격에 의한 손상특성," "한국정밀공학학회지, Vol. 14, No. 6, pp. 135-141, 1997.
5. 심동진, 김지환, "저속충격시 고차이론을 이용한 복합재료판의 동적 특성," "한국소음진동공학학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 132-138, 1998.
6. 심동진, 김지환, "저속충격시 고차이론을 이용한 복합재료판의 동적 특성," "한국소음진동공학학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 132-138, 1998.
7. 윤성호, 이상진, 조세현, "고낙하중 충격시험기를 이용한 스티칭된 샌드위치 복합재의 저에너지 충격거동연구," "한국복합재료학회지, Vol. 12, No. 5, pp. 54-64, 1999.
8. 허경재, 독고옥, "저속충격 하중을 받는 탄소성 동적거동 해석," "한국정밀공학학회지, Vol. 17, No. 11, pp. 158-164, 2000.
9. 손세원, 김희재, 황도연, 홍성희, "고속충격을 받는 표면처리된 알루미늄 합금의 거동에 관한 연구," "한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 784-789, 2000.
10. 손세원, 이두성, 김동훈, 홍성희, "고속충격에 의한 아라미드 섬유강화 금속적충체의 방탄성능 및 동적파손거동에 관한 연구," 2000. 10. 28., 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 527-532, 2000