

## 약실교환방식의 20 mm 시험용 총열 개발

### The Development of 20 mm Test Barrel with Replaceable Powder Chamber Type

이진성\*

Jin-Sung Lee

이영신\*\*

Young-Shin Lee

#### Abstract

A new smooth bore test barrel was developed to be used in sensitivity assessment test for explosives and fragment impact test. The bore diameter of the barrel is 20 mm, and the powder chamber is designed to be replaceable with the 12.7 mm, 20 mm and 30 mm type chamber.

The test results showed the wide range of fragment velocity from 400 to 2000 m/s, included the fragment velocity requirement of the fragment impact test(alternate procedure #1) in MIL-STD-2105B.

The stability of the bullet trajectory was checked by test shots and the structural safety of the system has been confirmed through the stress analysis and the interior ballistics analysis of the barrel.

Keywords : Sensitivity Assessment Test, Fragment Impact Test, Barrel, Replaceable Powder Chamber

#### 1. 서론

탄두/탄약의 안전성은 적용된 화약의 특성에 크게 영향을 받는다. 따라서 외부자극에 둔감하고 취약성이 적은 화약 조성을 적용하는 것은 적용 무기체계의 생존성을 증대시킬 수 있는 근본적인 방법이다. 화약 개발 및 평가에 있어서 화약의 취약성을 평가하기 위해 총열을 사용하는 시험항목에는 기본 안전도 시험에 탄자충격시험과 둔감탄약시험에 파편충격시험이 포함

된다.

파편충격시험은 탄두/탄약이 폭발시 발생하는 고속 파편과 유사한 효과를 갖는 파편탄자를 발사시키기 위해 이탈피를 갖는 파편탄자를 활강 총열을 이용하여 고속으로 비행시키는 방법이 많이 사용되고 있다. 현재 총열을 사용하는 파편충격시험으로 국제적으로 인정받는 시험절차는 MIL-STD-2105B로서 여기에 포함된 "Alternate test procedure #1" 시험에서는 직경 12.7 mm, 무게 약 15 g인 원추형 파편탄자를 속도  $1,830 \pm 60$  m/s 범위로 비행시키도록 되어 있다<sup>[1]</sup>.

이와 별도로 감도측정시험은 화약이 고속의 파편에 피격될 경우 탄두/탄약의 반응현상을 예측하고, 취약성을 평가하거나, 고속의 파편 충돌 시 화약의 상대적 민감도를 측정하는 시험으로서, 화약이 50 % 확률로

† 2011년 4월 25일 접수~2011년 7월 8일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

\*\* 충남대학교(Chungnam National University)

책임저자 : 이영신(leey@cnu.ac.kr)

폭발되는 임계 충돌속도를 측정하여 시험화약 또는 탄약의 파편충격 감도를 측정하며, 화약 감도계수, 파편탄자의 형상계수 등을 구하고 있다. 이 시험을 위해서 다양한 탄속을 구현하여 발사, 화약의 반응에 따른 임계충돌속도를 측정한다.

국방과학연구소에서는 개발 중인 화약 및 개발 화약이 충전된 탄두의 파편충격시험을 20 mm 활강 총열을 이용한 시험장치를 사용하여 실시하여 왔다.

현재 사용되고 있는 20 mm 총열은 구경이 20 mm 이나, 파편탄자를 속도를 높이기 위해 약실은 30 mm 약실로 제작되었다. 그러나 이 총열은 감도측정시험에 있어서 추진제량 조절을 통해 속도를 조절할 수 있는 범위가 제한적이라는 단점이 있다. 이론적으로는 30 mm 탄피내의 추진제량을 조절하여 탄속을 최고 속도 범위까지 조절할 수 있지만, 속도가 낮은 경우에는 탄피 내에 추진제량이 적게 들어가므로, 즉 30 mm 탄피 내에 빈공간이 많아 탄피 내에서 추진제를 일정하게 분포시키는 것이 쉽지 않으므로, 같은 추진제량이라도 탄속의 변화가 심하여 안정적이고 재현성 있는 속도 구현이 어렵다. 따라서 탄피 내에서의 추진제량 조절은 일정량 이하의 경우에는 안정적인 탄속을 유지하기 힘들어 화약 감도측정시험인 경우, 임계충돌속도가 30 mm 약실을 사용하는 일반적인 속도범위에 있지 않은 경우 이를 해결하기 위해 20 mm 약실을 갖는 20 mm 총열을 사용하였다. 이와 같은 경우 시험 준비과정이 복잡해지고 시험의 연결성이 나빠진다. 따라서 이러한 단점을 보완하여 탄자속도 400 ~ 2,000 m/s 범위에서 재현성있게 12.7 mm 파편탄자를 비행시킬 수 있는 신규 구경 20 mm 총열을 개발하였다. 개발된 총열은 3 개의 다른 구경 약실을 하나의 총열에 결합해 사용할 수 있도록 약실교환 방식으로 설계하였다.

## 2. 시험장치 설계 및 제작

제작총열은 Fig. 1 같은 직경 20 mm 원추형 파편탄자 및 원통형 파편탄자를 저속(약 400 m/s)에서 고속(2,000 m/s 이상)까지 비행시킬 수 있도록, 즉 탄속범위를 넓게 하기 위하여 하나의 총열에 국내에서 생산되는 3 종류의 약실을 교환하여 사용하도록 설계되었다. 사용되는 약실은 12.7 mm, 20 mm, 30 mm 약실로서, 시험의 요구속도에 따라 사용되는 약실이 달라지며 이에 따라 사용되는 부속치구가 달라진다.

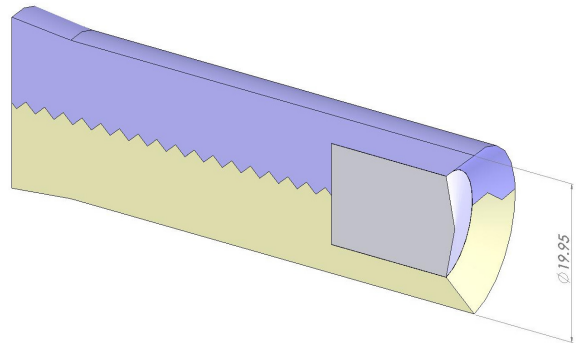


Fig. 1. 12.7 mm 원추형 이탈피 파편탄자 단면도

### 가. 총열

총열 길이는 12.7 mm 및 20 mm 약실 사용시 2,470 mm이다. 12.7 mm, 20 mm 약실에서는 총열과 약실 사이에 연결되는 디스크가 있으며 총열 길이에 포함된다. 30 mm 약실 사용시 총열 길이가 2,515 mm이며, 이는 약실의 일부가 총열 길이로 포함되기 때문에 길이 차이를 보인다.

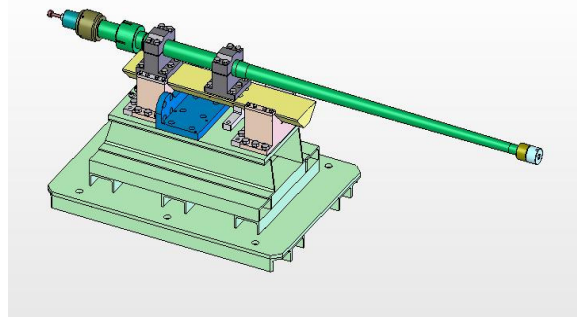


Fig. 2. 시험 장치계

12.7 mm, 20 mm 약실 사용시 총열의 기본적인 구성에는 구경 20 mm 활강 총열 부분과 이탈피를 결합하기 위한 디스크 부분, 그리고 약실로 구성되어 있다.

30 mm 약실 사용시는 중간의 디스크 없이 총열과 약실로 구성되어 있다. 약실은 국내 생산 중인 12.7 mm, 20 mm, 30 mm 탄피를 사용할 수 있도록 각 총열 약실과 동일하게 설계하였다. 총열 앞부분에 위치한 총열 보호용 덮개는 시험시 발생하는 파편으로부터 총열을 보호하고 속도측정시 참조점으로 사용하기 위해 Fig. 2와 같이 제작하였다.

나. 디스크

디스크는 12.7 mm 약실과 20 mm 약실을 총열에 결합 시 사용하는 부품이며, 총열과 약실 중간부분에 위치한다. 디스크의 용도는 약실조립 전에 이탈피를 갖는 탄자를 삽입해야 하는데 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 이탈피의 끝부분이 직경 20 mm 보다 약간 크므로, 총열에 직접 삽입할 수 없으므로, 디스크를 사용하여 이탈피를 갖는 탄자의 삽입이 가능하도록 하기 위한 것이다. 또한 조립시 이탈피를 갖는 탄자 조립체를 디스크에 삽입하므로 이탈피를 갖는 탄자 조립체가 분리되지 않고 정확하게 삽입되도록 하는 역할을 한다. 또한 디스크는 금속 밀폐링을 사용하므로 사격시 발생하는 가스의 압력에 대해 좀 더 완벽한 밀봉 상태가 되도록 설계되었다. 총열에 디스크의 조립은 나사산 없이 삽입하는 형식으로 되어있다.

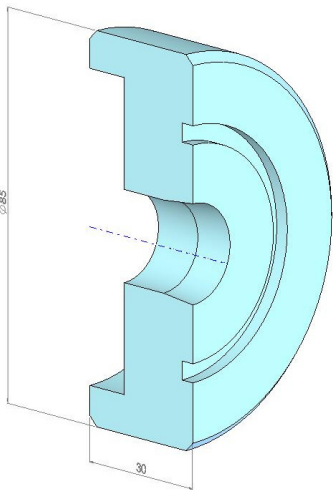


Fig. 3. 디스크 단면도

다. 약실

사용되는 3 종류의 약실은 다음과 같다. 12.7 mm과 20 mm 약실의 경우, 시험시 디스크가 총열에 결합된 상태에서 이탈피를 갖는 탄자를 삽입하게 되어있으며, 30 mm 약실의 경우는 부싱에 이탈피를 갖는 탄자 조립체를 결합한 후 다시 탄피에 결합하여 약실에 이탈피를 갖는 탄자를 삽입하게 설계하였다. 이는 탄피의 치수 및 약실의 중량에 대한 설계상 고려에 의해 채택 하였으며, 기존 파편충격장치용 20 mm 총열의 설계에서 기 사용한 설계개념이며<sup>[2]</sup>, 기존과 동일한 크기의 부싱 설계치수를 가지고 있어 호환이 가능하다.

1) 12.7 mm 약실

12.7 mm 약실은 Fig. 4와 같이 설계되었다. 총열과 약실 사이의 디스크는 나사산을 사용한 조립형태가 아니라 총열과 약실사이에 삽입하고, 총열과 약실을 조립하는 과정에 의해 총열 및 약실에 밀착되어 조립되는 형태이다. Fig. 5에 나타나듯이 약실을 조립하는 각 부품사이에는 금속 밀폐링이 있어 추진제 연소가스가 조립된 틈으로 새어나오지 않게 하였다.

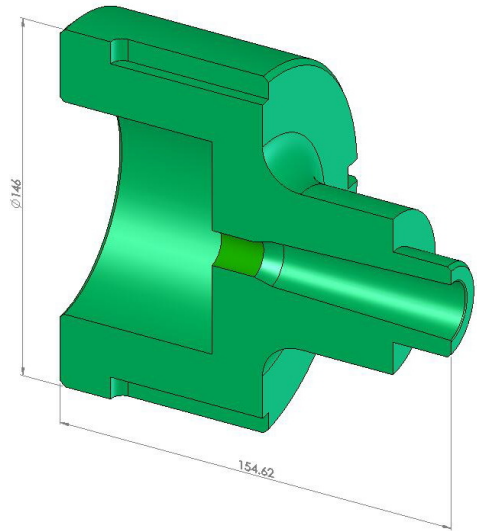


Fig. 4. 12.7 mm 약실 단면도

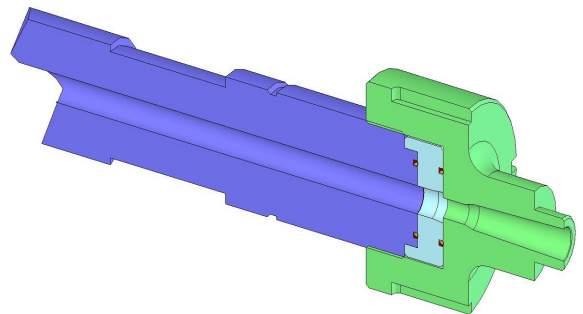


Fig. 5. 총열과 디스크, 12.7 mm 약실 조립도

2) 20 mm 약실

20 mm 약실의 경우는 12.7 mm 약실과 사용하는 디스크 및 총열 조립부분도 동일하며, 같은 방식으로 조립이 이루어진다. Fig. 6은 20 mm 약실 단면도이고, Fig. 7은 총열과 디스크, 약실 순으로 조립이 이루어지는 것을 나타내는 조립도이다.

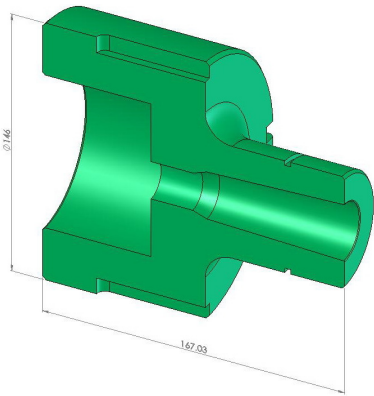


Fig. 6. 20 mm 약실 단면도

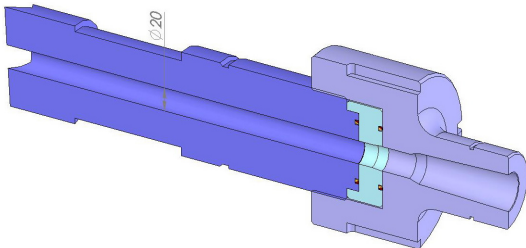


Fig. 7. 총열과 디스크, 20 mm 약실 조립도

### 3) 30 mm 약실

Fig. 8에 나타난 바와 같이 30 mm 약실의 경우, 파편충격 시험용으로 기 제작된 30 mm 약실 설계개념과 약실을 분리한다는 것을 제외하고는 동일하다.

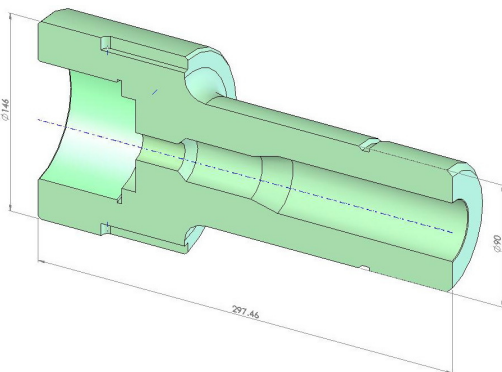


Fig. 8. 30 mm 약실 단면도

Fig. 9의 부싱은 약실과 총열부분을 원만히 연결시키며, 이탈피를 갖는 탄자를 항상 일정하게 탄피에 고정시켜 약실에 삽입할 수 있는 기능을 갖고 있으며, 약

실과 총강시작부의 연결 부위에 삽입하도록 하는 방법을 사용하여 이탈피 파편탄자 조립체가 총열 삽입시 분리되는 것을 방지할 수 있다. 또한 부싱의 끝부분을 탄피와 밀착시켜 발사시 가스 누출을 최소화하며, 이탈피 조립체의 총열삽입을 용이하도록 설계하였다. 그리고 약실에 삽입시 상단이 돌출된 이탈피 파편탄자와 부싱의 결합체는 20 mm 총열 상단 총강시작부에 밀착되게 삽입되어 발사방향에 정확히 일치하게 하였다.

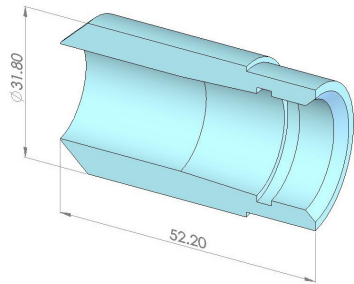


Fig. 9. 부싱 단면도

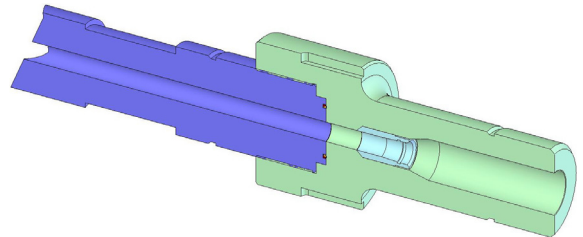


Fig. 10. 총열과 30 mm 약실 조립도

디스크를 사용한 12.7 mm, 20 mm 약실결합 방법과 30 mm 약실결합 방법을 다르게 설계한 것은 디스크를 사용한 방법의 경우, 시험 시 디스크까지 분해를 해야 하는데, 이 경우 30 mm 약실 무게 및 운용성을 고려 시 시험 수행에 어려움이 있기 때문이다.

참고로 12.7 mm, 20 mm 약실의 경우 이탈피를 갖는 탄자 끝 부분의 지름이 탄피 시작부분 지름보다 크기 때문에 30 mm와 같은 설계방식으로는 운용할 수가 없다.

### 3. 안전도 분석

파편충격시험 시 파편탄자의 속도는 요구되는 속도에 따라 12.7 mm, 20 mm, 30 mm 약실 중 하나를 선

택하여 속도를 조절하게 된다. 이 중 30 mm 약실의 경우 다른 약실보다 추진제 사용량이 가장 많고, 이 경우 약실 및 총열에 순간적으로 미치는 압력은 상당하다. 따라서 이에 대한 안전성을 충분히 제거하여야 하며, 안전성 확보를 위해 사용 범위도 엄격히 제한되어야 한다.

총열의 안전도 분석을 하기 위해서는 최대허용압력, 탄성강도압력(ESP : Elastic Strength Pressure)을 구하여야 하며, 여기에는 총열의 재질 또는 항복강도와 벽두께비가 필요하다. 이를 위해 제작된 총열의 각 위치에 따른 내경 및 외경, 벽두께비 값을 사용하여 계산하였으며, 총열의 최대허용압력은 총열 각 부분의 탄성강도압력 중 최소값인 64,797 psi 임을 알 수 있었다.

강내 탄도 분석에는 O. K. Heiney의 강내 탄도 해석 이론을 활용하였으며, 본 시험 장비의 총열에 대하여 추진제의 연소에 의한 가스의 힘이 총열 내에 작용하는 순간부터 탄자가 총열 내를 이동하여 총구를 완전히 이탈할 때까지 총열 전반부에 작용하는 압력 상태 및 탄자의 운동 특성을 분석하였다.

예상탄속 및 예상압력을 이용하여 시험탄속과 예상탄속의 차이를 비교하였으며, 약실압력을 간접적으로 분석하였고 이를 통해 총열의 안전도를 간접적으로 확인하였다. 신규 총열 제작시, 기 제작된 총열의 해석과정 및 결과자료를 안전도 문제에 관련하여 신규 총열 제작에 활용하였다<sup>[2]</sup>.

O. K. Heiney에 의하여 제시된 강내 탄도 분석 이론의 지배 방정식은 다음과 같다<sup>[3]</sup>.

Energy conservation

$$\frac{dN_b}{dt} F_p - (\gamma - 1)(1 + \beta) m_a \frac{dV}{dt} \frac{dx}{dt} - P_{aw} A \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

Projectile motion

$$V = V_0 + \frac{A P_{aw}}{m_p} \left[ 1 + \frac{(\gamma - 1)}{3} \frac{V^2}{g \gamma F_p} \right]^{-\gamma / (\gamma - 1)} \quad (2)$$

Gas production

$$\frac{dN_b}{dt} = r S_B \rho_p \quad (3)$$

- 여기서 Vc : Chamber volume
- Pav : Average pressure
- A : Bore area

- g : Acceleration due to gravity
- V : Shot velocity
- Cw : Charge weight
- Nb : Fracture of burned propellant
- ρp : Density of propellant
- r : Regression rate
- SB : Burning surface
- η : Covolume of propellant gases
- Fp : Impetus of propellant
- γ : Specific heat ratio
- β : Heat loss factor
- ma : Pseudo-mass of propelled device
- mp : Mass of propelled device

이상과 같은 지배방정식과 일정 함수로부터 총열 내에서의 최고 압력, 총구에서의 속도, 압력-시간, 압력-이동거리, 속도-이동거리의 관계 등 강내 탄도에 대한 궁극적인 해를 얻을 수 있었으며, 관련 프로그램은 O. K. Heiney가 구성한 프로그램을 사용하였다. 장치계에 대한 전산 프로그램을 수행하기 위한 입력상수로 사용되는 총열과 추진제의 요구제원을 사용하였다.

상기의 강내 탄도 해석 이론에 따라 본 시험장비의 총열에 추진제를 12.7 mm 약실에서는 17 g, 20 mm 약실에서는 40 g, 30 mm 약실에서는 120 g 사용하였을 때, 이탈피를 포함한 탄자의 무게가 29.47 g 경우에 대한 제반 강내 탄도 해석 결과는 다음과 같다.

12.7 mm 약실을 사용하는 경우, Fig. 11에서 탄자가 도달하는 총열 내의 위치에 따라 탄자속도가 완만하게 변화하는 양상을 나타냈으며, 특히 총구 끝부분에서의 탄자속도는 약 870 m/s로 예측되었다.

Fig. 12는 시간이 경과함에 따라 탄자속도가 총열 내에서 탄자이동속도가 시간이 경과함에 따라 점점 증가하여 최고의 속도를 유지하고 총구를 벗어나는 것으로 파악되었다. 또한 탄자가 장전위치에서 총구에 이르는 한 순기(cycle)에 소요되는 시간이 약 0.0045초인 것으로 나타났다.

Fig. 13은 시간이 경과함에 따른 약실의 압력변화를 나타내었다. 이 결과로부터 초기의 일정시간 동안 총열 내의 압력이 증가하는 반면, 한 지점을 정점으로 압력이 점차로 감소하여, 발사를 기점으로 약 0.0007초 경과한 후 최대압력이 7,400 psi가 발생하는 것으로 예측되었다.

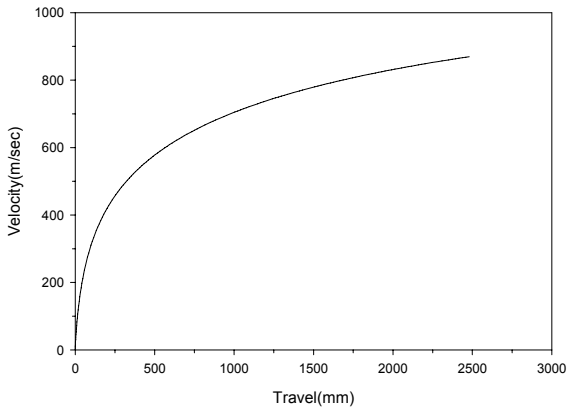


Fig. 11. 총열 내에서 탄자 이동거리에 따른 속도변화 (12.7 mm 약실)

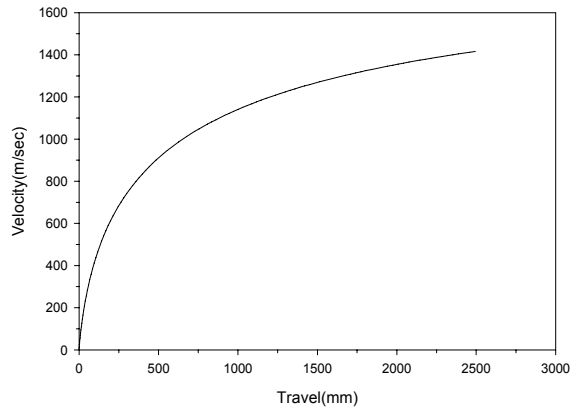


Fig. 14. 총열 내에서 탄자 이동거리에 따른 속도변화 (20 mm 약실)

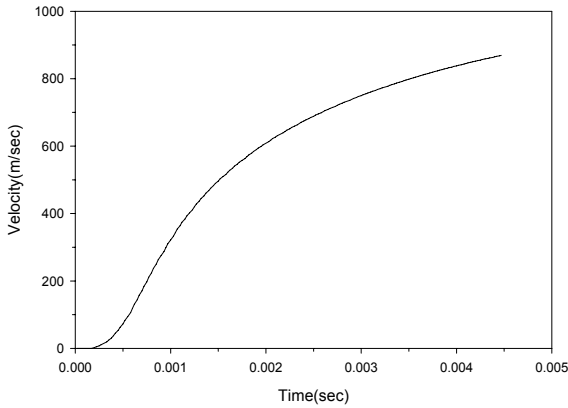


Fig. 12. 총열 내에서 탄자 이동시간에 따른 속도변화 (12.7 mm 약실)

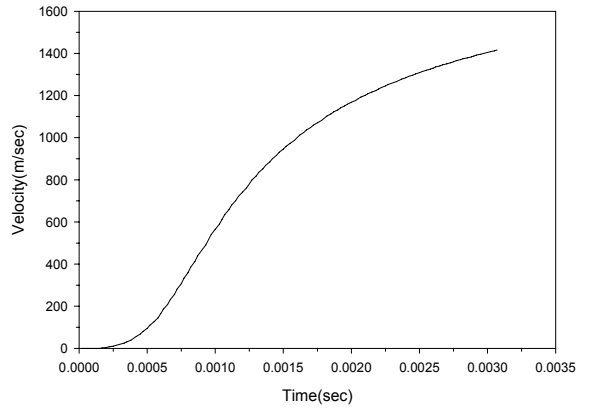


Fig. 15. 총열 내에서 탄자 이동시간에 따른 속도변화 (20 mm 약실)

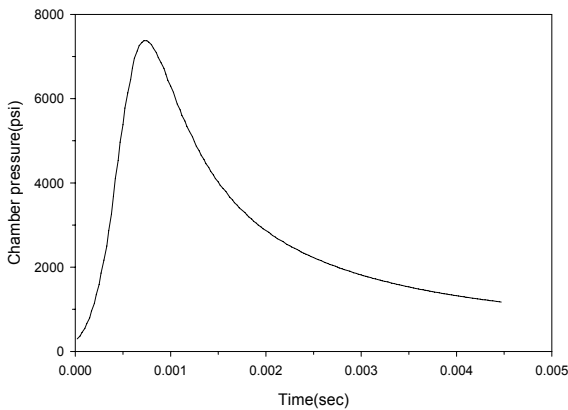


Fig. 13. 총열 내에서 탄자 이동시간에 따른 약실 압력 변화(12.7 mm 약실)

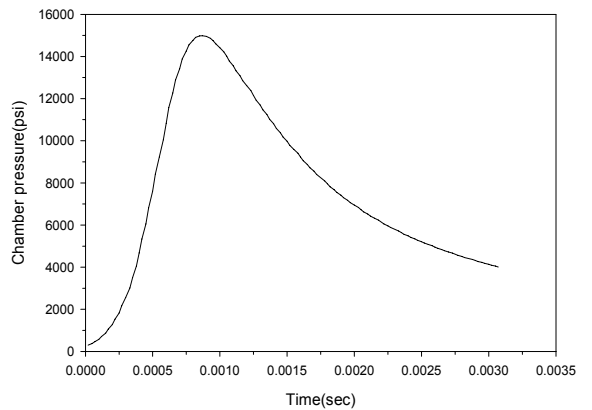


Fig. 16. 총열 내에서 탄자 이동시간에 따른 약실 압력 변화(20 mm 약실)

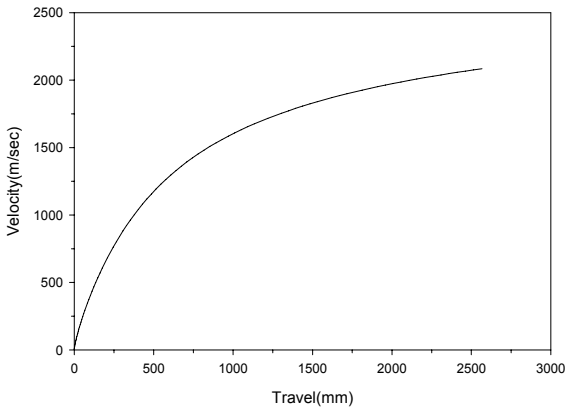


Fig. 17. 총열 내에서 탄자 이동거리에 따른 속도변화 (30 mm 약실)

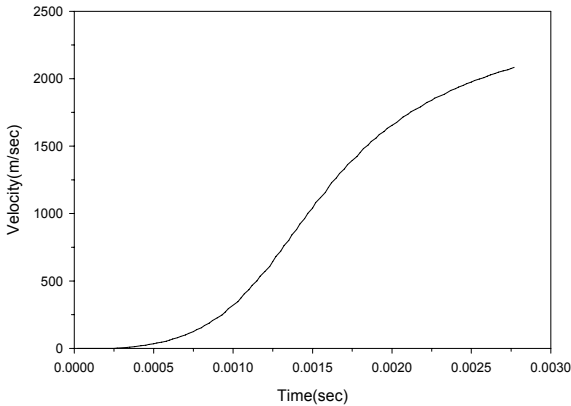


Fig. 18. 총열 내에서 탄자 이동시간에 따른 속도변화 (30 mm 약실)

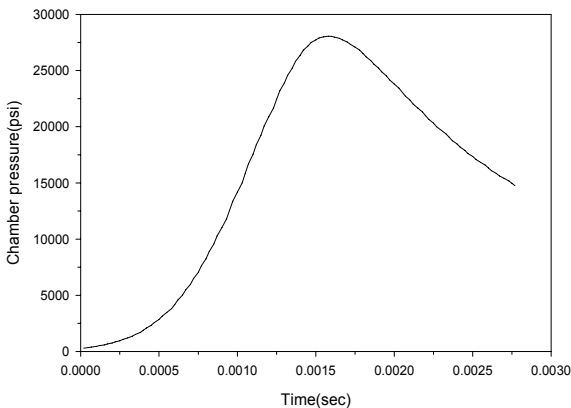


Fig. 19. 총열 내에서 탄자 이동시간에 따른 약실 압력 변화(30 mm 약실)

20 mm 약실을 사용하는 경우, Fig. 14에서 총구 끝부분에서의 탄자속도가 약 1,415 m/s로 예측됨을 알 수 있었으며, Fig. 15에서는 탄자가 장전위치에서 총구에 이르는 한 순간에 소요되는 시간이 약 0.0031초로 나타났으며, Fig. 16은 발사를 기점으로 약 0.0009초 경과한 후 최대압력이 15,000 psi가 발생하는 것으로 예측되었다.

30 mm 약실사용의 경우, Fig. 17에서 총구 끝부분에서의 탄자속도가 약 2,080 m/s로 예측됨을 알 수 있었으며, Fig. 18에서는 탄자가 장전위치에서 총구에 이르는 한 순간에 소요되는 시간이 약 0.0028초로 나타났으며, Fig. 19는 발사를 기점으로 약 0.0016초 경과한 후 최대압력이 28,000 psi가 발생하는 것으로 예측되었다.

#### 4. 실험 및 결과 고찰

총열의 안전도 분석을 하기 위해 O. K. Heiney의 강내 탄도 해석 이론<sup>[3]</sup>을 활용한 전산 프로그램을 활용하여 예상탄속 및 약실압력을 각 약실별 시험탄속과 비교하였으며 약실압력을 추정할 수 있었다.

시험탄속과 프로그램을 통하여 얻은 예상탄속의 차이를 비교하였고, 현재 추진제 사용범위 내의 이론적으로 구한 약실압력으로 총열의 안전도를 판단하였다.

12.7 mm 약실 사용시 예상탄속, 예상약실압력은 Table 1에서 시험 탄속과 함께 비교하였다. 시험에서 사용한 추진제 범위에서의 예상 약실압력은 2,624 ~ 7,372 psi의 범위에 있었으며 시험탄속과 예상탄속의 차이는 4.1 ~ 24.8 % 정도의 범위에 있었다.

Table 1. 추진제량 변화에 따른 예상탄속, 시험탄속 및 분석결과(12.7 mm 약실)

No.	추진제량 (g)	예상탄속 (m/s)	시험탄속 (m/s)	탄속오차 (%)	예상약실 압력 (psi)
1	9	544.1	409.0	24.8	2624.5
2	11	626.0	531.4	15.1	3445.8
3	13	706.9	672.6	4.9	4460.5
4	15	784.9	719.6	8.3	5639.4
5	17	868.5	832.9	4.1	7372.6

\* 탄속오차(%) = ((예상탄속-시험탄속)/예상탄속)×100

시험탄속과 예상탄속 차이는 여러 가지 원인이 복합적으로 발생한 것으로 판단되고, 그 중 추진제의 약실 내 불완전 연소 및 약실 내 추진제의 분포상태가 일정하지 못했을 때 추진제의 연소 특성이 달라지는데 주요 원인이 있는 것으로 생각된다. Fig. 20에서 비교적 일정한 경향으로 추진제별 속도가 나타남을 확인 할 수 있었다.

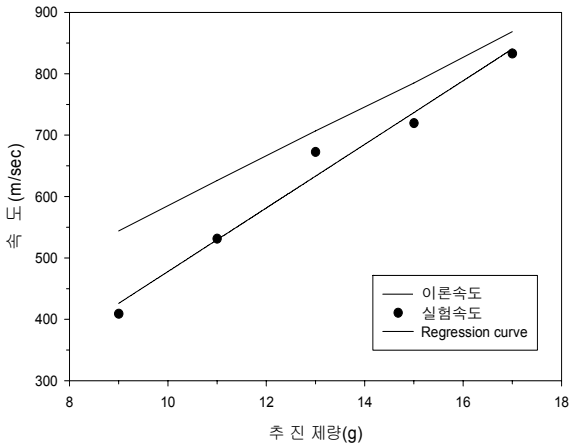


Fig. 20. 추진제량에 따른 탄속변화(12.7 mm 약실)

20 mm 약실 사용시, 예상탄속 및 예상약실압력은 Table 2에 정리하였다. 추진제량 20 ~ 40 g 사용시 나타나는 예상약실압력은 4,154 ~ 14,989 psi로 나타났다. 발생 예상압력은 최대 15,000 psi로서 총열 설계에 비해 상당히 낮은 압력으로서 나타났다. 시험 탄속과 예상 탄속의 차는 3.9 ~ 9.4 % 범위에 있었다.

Table 2. 추진제량 변화에 따른 예상탄속, 시험탄속 및 분석결과(20 mm 약실)

No.	추진제량 (g)	예상탄속 (m/s)	시험탄속 (m/s)	탄속오차 (%)	예상약실 압력 (psi)
1	20	861.9	816.4	5.3	4154.5
2	25	1006.7	967.0	3.9	5879.0
3	30	1147.8	1051.7	8.4	8161.6
4	35	1284.4	1163.4	9.4	11161.0
5	40	1413.3	1315.5	6.9	14989.2

\* 탄속오차(%) = ((예상탄속-시험탄속)/예상탄속)×100

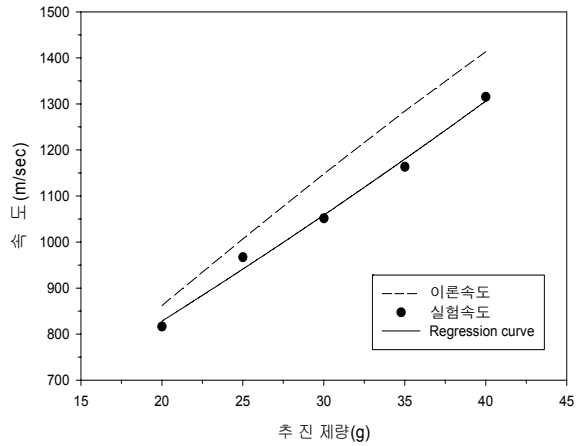


Fig. 21. 추진제량에 따른 탄속변화(20 mm 약실)

Table 3. 추진제량 변화에 따른 예상탄속, 시험탄속 및 분석결과(30 mm 약실)

No.	추진제량 (g)	예상탄속 (m/s)	시험탄속 (m/s)	탄속오차 (%)	예상약실 압력 (psi)
1	70	1501.3	1306.3	13.0	10170.7
2	80	1627.8	1460.0	10.3	12796.3
3	90	1746.1	1532.0	12.3	15771.0
4	100	1861.4	1684.6	9.5	19287.7
5	110	1970.0	1781.3	9.6	13307.9
6	120	2075.2	1929.0	7.0	28046.3

\* 탄속오차(%) = ((예상탄속-시험탄속)/예상탄속)×100

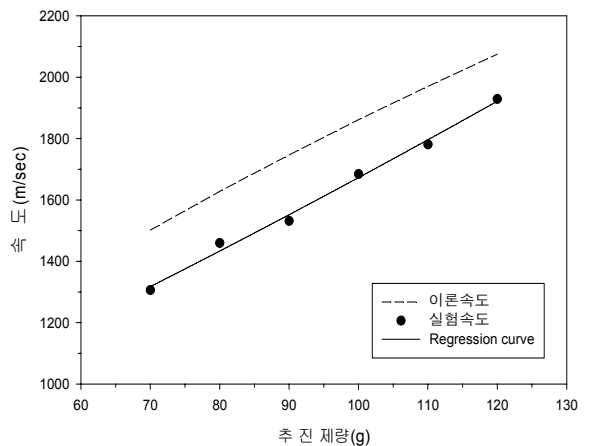


Fig. 22. 추진제량에 따른 탄속변화(30 mm 약실)



30 mm 약실 사용시, 예상탄속 및 예상약실압력은 Table 3에 정리하였다. 추진제량 70 ~ 120 g 사용시 나타나는 예상약실압력은 10,170 ~ 28,046 psi로 나타났다. 시험탄속과 예상탄속의 차는 7.0 ~ 13.0 % 범위에 있었다. 30 mm 약실에서 최대 예상약실압력은 안전도 분석에서 나타난 최대 허용압력인 64,797 psi 보다 낮음을 확인하였다.

## 5. 결론

화약 감도측정시험 및 파편충격시험을 위한 20 mm 총열을 개발하였다. 총열에 12.7 mm, 20 mm, 30 mm 약실을 교환하며 사용 가능하게 하였으며, 이를 통하여 화약 감도측정시험의 경우 탄속의 측정범위 전체를 신규 총열 하나로 시험이 가능하게 되었으며, 전체 속도구간은 400 ~ 1,930 m/s로 광범위한 속도구간을 획득하였다.

총열의 안전성은 최대 허용압력 계산 및 강내 탄도 해석 프로그램을 사용하여 검토하였다. 계산결과 30 mm 약실에서 사용한 추진제의 충전량(120 g)은 파편충격시험 속도범위를 넘어서는 탄속을 나타내었으며, 발사시 약실의 압력은 30,000 psi 이내의 범위 안에 있었으며, 최대 허용압력보다 낮음을 확인하였다.

둔감탄약의 파편충격시험 요구조건인 직경 12.7 mm 원추형 파편탄자의 속도  $1,830 \pm 60$  m/s는 추진제를

110 ~ 120 g 범위에서 사용시 얻을 수 있음을 시험을 통해 확인하였다.

3종류의 약실을 사용한 시험을 통해, 발사시 이탈피의 분리성 및 탄자의 비행안정성이 모두 양호함을 확인하였으며, 이를 통해 약실교환 방식이 이탈피를 갖는 탄자의 발사경로에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

## References

- [1] Department of Defense, MIL-SPEC-2105B, Military Standard:Hazard Assessment Tests for Non-Nuclear Munitions(AMSC N6037), Indian Head, MD, NSWC, 1994.
- [2] 함덕순, 이진성, “파편충격시험 기법개발”, 국방 과학연구소, 1999.
- [3] O. K. Heiney, “Engineering Interior Ballistics of Closed Breech Guns”, AFATL-TR-189, 1973.
- [4] 문성기, 장순남, 이창형, 정해두, 이영철, 김근영, 손병선, “50MM 활강시험포의 탄도학적 특성분석 및 긴 관통자의 축소모델 시험평가 기법연구”, 국방과학연구소, 1993.
- [5] Steven L. Lightsey, David C. Mann, “A Precision Launch Technique for Insensitive Munitions Fragment Impact Testing”, Denver Research Inst., CO., 1998.