

# 주퇴운동에 대한 제퇴기의 효과에 관한 연구

이영현, 강국정  
국방과학연구소

## 요약

This paper represents how a muzzle brake affects the dynamic characteristics of the recoil system. A muzzle brake is a device attached to the muzzle for the express purpose of diverting the propellant gas stream from its original path, thereby creating a forward thrust on the recoiling gun which is in opposition to its rearward motion. In order to obtain the full advantage of a muzzle brake, it is necessary that the recoil system of a gun be designed for the purpose.

**Key Words** : artillery weapon(화포), gun(포신), recoil mechanism(주퇴장치), muzzle brake(제퇴기), muzzle brake efficiency(제퇴기 효율)

## 1. 서론

제퇴기는 포신의 포구 끝에 장착하여, 추진장약의 폭발로 발생하는 추진개스의 유동방향을 변화시킴으로서 포신의 주퇴운동에 대항하는 제동력을 발생시킨다. 제퇴기에 의한 제동력은 탄두가 포구를 이탈하는 순간부터 발생하는 데, 이것은 약실압력과 포신의 유효면적을 곱하여 얻어지는 breech force에 비례한다. 이 때의 비례상수를 제퇴기 영향계수라 하며  $\beta$ 로 표기한다. 제퇴기 영향계수  $\beta$ 는 제퇴기의 형상에 따라 다르며,  $\beta$ 값이 큰 제퇴기의 경우, 주퇴장치를 통하여 포가 또는 차체에 전달되는 사격하중의 크기를 감소시킬 수 있는 반면, 제퇴기로 인하여 발생하는 음압의 크기가 증가함으로써 사수의 안전에 나쁜 영향을 미치게 된다.

현재의 기술로는 제퇴기에 의하여 발생하는 음압과 효율과의 관계를 정량적으로 결정하기는 매우 어렵고, 제퇴기의 형상에 따른 음압수준과 효율의 크기를 예측하기도 어렵다. 본 연구에서는, 효율이 서로 다른 2종류의 제퇴기에 대한 실제 사격시험을 통하여, 제퇴기가 주퇴장치의 설계에 어떤 영향을 미치는지를 고찰하였다.

## 2. 주퇴장치에 대한 제퇴기의 효과

### 가. 주퇴장치의 동력학적 모델링

제퇴기가 주퇴장치의 운동에 어떤 영향을 미치는지를 설명하기 위해서는 주퇴장치에 대한 동력학

적 모델링이 선행되어야 한다. 본연구에 사용된 주퇴장치는 2개의 주퇴실린더 및 1개의 복좌실린더를 갖고 있으며, 포신의 운동을 안내하기 위하여 황동으로 된 관모양의 안내면이 두 곳에 설치되어 있다. 주퇴실린더 내부에는 포신의 주퇴운동을 제어하기 위한 주퇴제어오리피스가 설치되어 있으며, 복좌운동 후반부에서 발생하는 완충운동을 제어하기 위한 완충제어오리피스 및 완충제어밸브가 설치되어 있다. 또, 복좌실린더 내부에는 질소개스가 채워져 있다. 질소개스는 포신의 주퇴운동중에 압축되는 데, 주퇴운동이 완료되면, 압축된 질소개스가 팽창을 시작하고 이 힘으로 복좌운동이 발생한다.

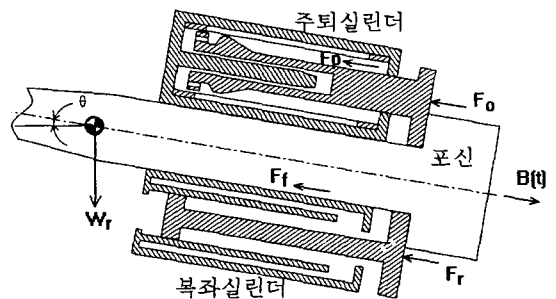


그림1. 주퇴운동부의 자유물체도

이와 같은 주퇴장치의 구조를 이용하여 그림1과 같은 자유물체도로부터 포신의 주퇴운동 지배방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$M_r \ddot{x} = B(t) - K(t) + W_r \sin \theta \quad (1)$$

$$\begin{aligned} K(t) &= F_r + F_f + F_p + F_o \\ &= A_r p_r + 2\mu W_r \cos \theta (a-x)/b \\ &\quad + F_p + A_p p \end{aligned} \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned} &= A_r p_0 [V_0 / (V_0 - A_r x)]^n \\ &\quad + 2\mu W_r \cos \theta (a-x)/b + F_p + A_p p \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\dot{p} = M_b \frac{A_p \dot{x} - a_e \sqrt{2gp/w}}{V_{in} - A_p x} \quad (3)$$

$$a_e = c_{leak} a_{leak} + \frac{(c_s a_s)(c_{pis} a_{pis})}{\sqrt{(c_s a_s)^2 + (c_{pis} a_{pis})^2}} \quad (4)$$

나. 제퇴기 효율에 따른 주퇴장치의 특성변화고찰  
제퇴기와 주퇴장치의 관계를 알아 보기전에 먼저, 제퇴기 영향계수  $\beta$  및 제퇴기 효율  $\eta$ 을 정의하는 수식을 유도해 보기로 한다. 제퇴기는 탄두가 포구를 이탈하는 순간( $t = t_e$ )부터 작용을 시작하므로, 사격 고각이  $0^\circ$  일 경우, 식(1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} M_r \ddot{x} &= (1-\beta)B(t) - K(t) \\ \dots\dots\dots & t \leq t_e \text{ 일 경우, } \beta=0 \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)를 적분하면, 다음과 같이 주퇴운동 직전 ( $t=0$ )부터 주퇴운동 종료순간( $t=t_r$ )까지의 impulse-momentum 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \int_0^{t_r} (1-\beta)B(t)dt &= \int_0^{t_r} K(t)dt \\ \dots\dots\dots & t \leq t_e \text{ 일 경우, } \beta=0 \end{aligned} \quad (6)$$

따라서, 제퇴기 영향계수  $\beta$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\beta = \frac{\int_0^{t_r} B(t)dt - \int_0^{t_r} K(t)dt}{\int_{t_e}^{t_r} B(t)dt} \quad (7)$$

여기서, breech force  $B(t)$ 는 약실압력을 계측함으로써 얻을 수 있다. 또, 총주퇴저항력  $K(t)$ 는 force sensor를 주퇴장치에 부착하여 직접 계측하거나, 이 것이 힘들 경우, 주퇴실린더 내에서 발생하는 유압  $p$ , 복좌실린더 내에서 발생하는 질소개스압  $p_r$  및 주퇴거리  $x$ 를 계측하고 이 계측결과를 식(2-1)에 대입하여 간접적으로 계산할 수도 있다. 이제, 제퇴기 효율  $\eta$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\int_0^{t_r} B(t)dt - \int_0^{t_r} (1-\beta)B(t)dt}{\int_0^{t_r} B(t)dt} \\ &= \frac{\beta \int_{t_e}^{t_r} B(t)dt}{\int_0^{t_r} B(t)dt} \end{aligned} \quad (8)$$

다음은, 효율이 각기 다른 double baffle형 제퇴기와 12slot형 제퇴기를 주퇴장치와 결합하여 사격했을 경우, 각각의 제퇴기가 주퇴장치에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 알아 보기로 한다.

double baffle형 제퇴기는 그림2a와 같이 추진개스를 고속으로 팽창시키기 위하여 확대노즐 모양으로 되어 있으며, 많은 양의 추진개스를 편향시키기 위하여 매우 큰 2개의 날개를 가지고 있다. 따라서, 날개를 따라 편향되어 나가는 추진개스의 관성력이 매우 크기 때문에 높은 효율을 갖지만 상대적으로 높은 음압을 발생시킨다.

그림2b는 음압의 영향을 감소시키기 위하여, 소화기의 소음기와 유사한 구조를 갖도록 설계된 제퇴기이다. 이 것은 12개의 slot이 동일한 간격으로 배치되어 있는 데, double baffle형 제퇴기와는 달

리, 확대노즐 모양이 아니므로 추진개스의 팽창속도가 크지 않으며, 상대적으로 적은 양의 추진개스가 단계적으로 slot을 빠져 나가기 때문에 추진개스의 관성력이 작은 대신, 낮은 음압 수준을 유지하게 된다.



그림2a. double baffle형 제퇴기



그림2b. 12 slot형 제퇴기

이와 같은 두 종류의 제퇴기가 주퇴장치에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각, 고각 0° 로, 사격 시험을 수행하였다. 그림3은 포구이탈시간 및 약실압력에 대한 계측결과를 나타내는 데, 이 것으로부터 식(7)의 분모항 및 분자의 첫 번째 항을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\int_{t_0}^{t_r} B(t)dt = 2,498 \text{ lb. sec,}$$

$$\int_0^{t_r} B(t)dt = 14,380 \text{ lb. sec}$$

... 두제퇴기에 동일적용

또, 그림4는 double baffle형 제퇴기 및 12 slot 제퇴기에 대한 각각의 주퇴실린더 유압 및 복좌실린더 개스압을 나타내며, 그림5는 주퇴거리 및 주퇴속도를

를 보여주고 있다. 이와 같이 계측된 주퇴실린더 유압  $b$ , 복좌실린더 개스압  $b_r$  및 주퇴거리  $x$ 를 식 (2-1)에 대입하면 그림6과 같이, 주퇴장치로 전달되는 총주퇴저항력  $K(t)$ 를 얻을 수 있게 된다. 따라서, 식(7)의 분자항에 포함된 두 번째 항은 다음과 같이 계산할 수 있다.

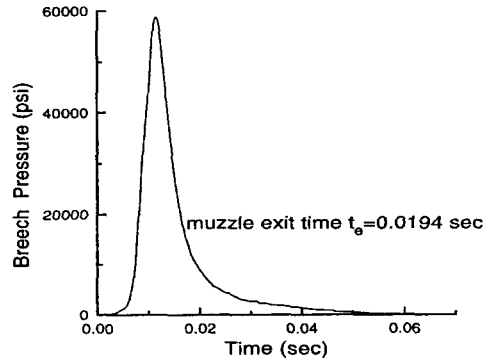


그림3. 약실압력 계측결과

$$\int_0^{t_r} K(t)dt = 9,746 \text{ lb. sec}$$

..... double baffle

$$\int_0^{t_r} K(t)dt = 12,738 \text{ lb. sec}$$

..... 12 slot baffle

따라서, 식(7) 및 (8)로부터, 각각의 제퇴기에 대한 제퇴기 영향계수 및 효율을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\beta = 1.86, \eta = 32.3 \% \quad \text{..... double baffle}$$

$$\beta = 0.66, \eta = 11.4 \% \quad \text{..... 12 slot baffle}$$

이상에서 알 수 있듯이, double baffle형 제퇴기는 12 slot 제퇴기에 비해 약 3배에 해당하는 32.3%의 제동효율을 갖는 데, 이에 따라 주퇴장치에 전달되는 impulse의 크기는 12 slot 제퇴기에 비하여 76.4%에 불과하다. 따라서, double baffle형 제

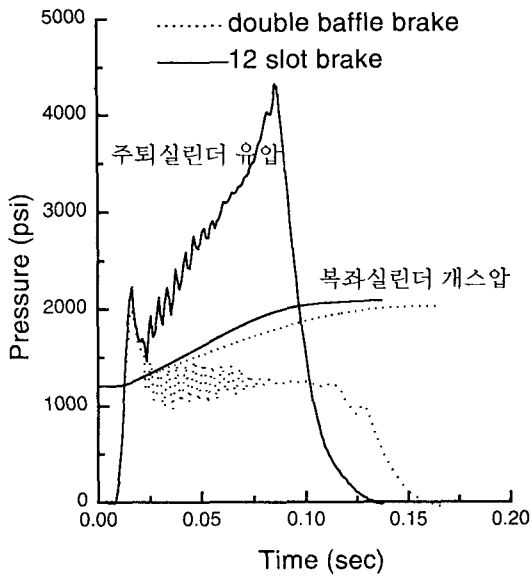


그림4. 주퇴유압 및 질소개스압 비교

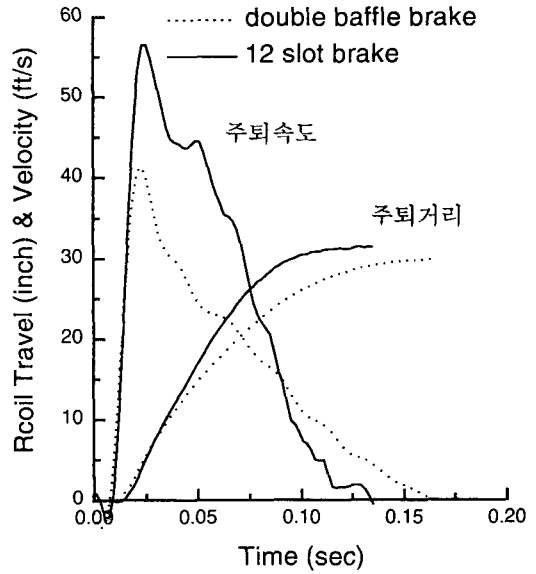


그림5. 주퇴거리 및 속도 비교

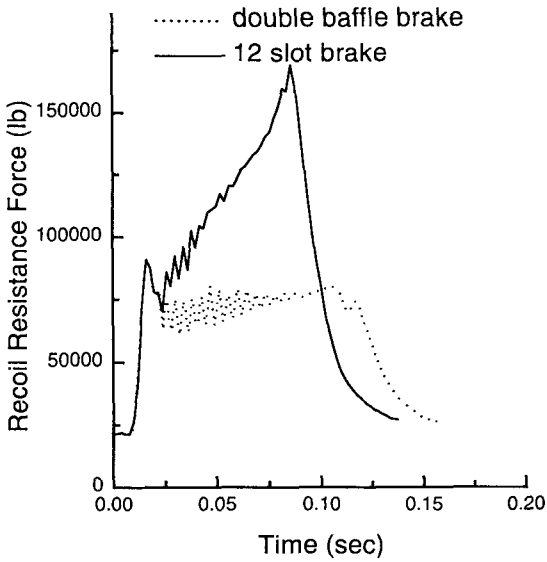


그림6. 총주퇴저항력 비교

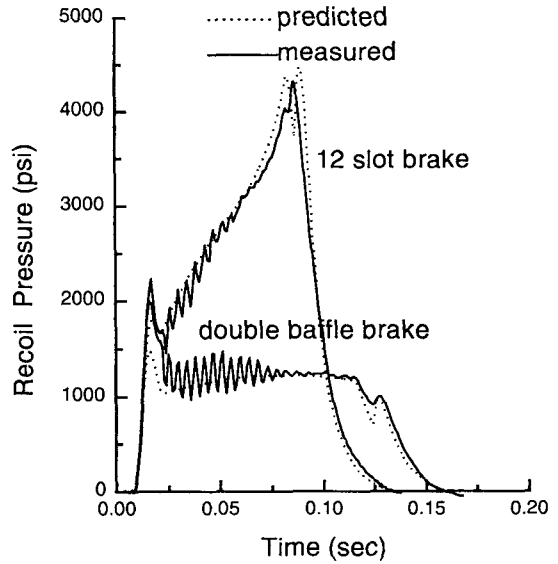


그림7. 주퇴유압에 대한 해석 및 사격결과 비교

퇴기를 사용할 경우, 음압효과를 배제한다면, 포구 조물에 전달되는 사격하중의 크기를 약 23.6 % 정도 감소시킬 수 있으므로 화포 체계의 사격안정성 확보면에서 유리하다.

이제, 각각의 제퇴기에 대하여 계산된 제퇴기 영향계수  $\beta$ 를 사용하면, 식(5), (2-2), (3) 및 (4)를 이용하여 주퇴운동방정식을 해석할 수 있으며, 이때, 주퇴실린더 유압에 대한 해석결과를 사격결과와 비교함으로써 식(4)에서 사용된 각종 유량계수 값을 결정할 수 있다. 이와 같은 유량계수는 Reynolds 수(본 연구에서는 동일한 유체 및 동일한 주퇴장치를 사용하였으므로 주퇴속도에만 관계됨)에 따라 다른 값을 갖는다. 이상과 같은 두 종류의 제퇴기에 대하여, 주퇴장치에 전달되는 사격 impulse의 크기가 서로 다르므로, 그림5와 같이 주퇴속도곡선의 모양이 상이하게 나타나며, 이에 따라 유량계수 또한 다른 값을 갖게 된다. 그림7은 유량계수의 최종값을 이용하여 주퇴실린더 유압을 구하고, 이것을 사격결과와 비교한 것이다. 이와 같이 결정된 유량계수는, 각각의 제퇴기에 가장 적합한 주퇴장치를 설계하기 위한 중요한 요소가 된다.

### 3. 결론

이상에서, 두 종류의 제퇴기가 주퇴장치에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 고찰해 보았다. 주퇴장치에 대한 제퇴기 영향계수  $\beta$ 는, 주퇴장치에서 발생하는 총주퇴저항력을 직접 계측하거나, 주퇴실린더 유압, 복좌실린더 개스압 및 주퇴거리 등을 계측함으로써 간접적으로 결정할 수 있다. 제퇴기 영향계수  $\beta$ 가 결정되면 주퇴운동방정식의 해석이 가능한데, 이 해석결과를 사격결과와 비교함으로써, 유량계수를 비롯한 각종 물리상수를 결정할 수 있다. 이와 같은 물리상수는 그 제퇴기에 가장 적합한 주퇴장치를 설계하는 데 중요한 역할을 하게 된다. 그러나, 제퇴기의 형상에 따른 효율 및 음압의 관계를 예측하기 위해서는, 제퇴기주변에서 발생하는 추진개스의 초음속 유동현상에 대한 해석기술을 확보해야 할 것이다.

1. "Recoil systems." Military handbook DOD-HDBK-778(AR), ARDEC of US, pp. 5-1 ~ 5-50, 1988