

# 해수면과 고속으로 충돌하는 포탄의 항력계수에 관한 연구

## The study on Drag coefficient of Cannonball Colliding into Seawater Surface

\*정성민<sup>1</sup>, 김윤건<sup>1</sup>, #최우천<sup>2</sup>, 이해석<sup>3</sup>, 박성호<sup>3</sup>

\*S. M. Chung<sup>1</sup>, Y. K. Kim<sup>1</sup>, #W. C. Choi(wcchoi@korea.ac.kr)<sup>2</sup>, H. S. Lee<sup>3</sup>, S. H. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup>고려대학교 기계공학부, <sup>3</sup>국방과학연구소

Key words : Cannonball, Ricochet, Drag coefficient

### 1. 서론

현재 국방과학연구소에 포탄을 보급하기 전 화약이 장입되지 않은 비활성 포탄을 사용하여 해수면에 발사하는 시험을 실시한다. 고속, 저각으로 발사된 포탄은 해수면과 충돌하여 해수면 위로 튀어 오르는 도비현상을 보인다. 이때 시험을 실시함에 있어 효율적인 해상안전구역을 설정은 필수적이다[1].

포탄과 해수면이 충돌 시 발생하는 도비현상은 항력에 영향을 받고, 이 항력은 항력계수에 영향을 받는다. 도비 현상은 포탄과 해수면이 충돌할 때 발생하는 충격력 예측을 통해 도비 현상 발생의 유무를 판단할 수 있다.

포탄과 해수면이 충돌할 때 포탄의 항력계수에 관한 연구는 정상상태 일 때 다양한 형상에 대하여 수행되었지만[2, 3], 극히 짧은 시간동안 포탄과 해수면이 충돌할 때의 항력계수 값에 대한 연구는 보고되지 않고 있다.

본 연구를 바탕으로 화포 무장 수락 시험 시 설정하는 안전구역에 대하여 통계적 자료와 실험 자료를 비교하여 보다 효율적인 시험이 진행되도록 한다.

### 2. 이론적 배경

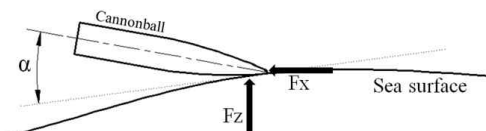


Fig. 1 Coordinate system of cannonball

포탄과 해수면이 충돌할 때 해수의 영향으로 Table 1와 같이 포탄에 수평 방향 항력( $F_x$ )과 수직 방향 항력( $F_z$ )이 발생하게 된다.

도비현상의 발생은 Z축 방향 항력이 충돌하는 포탄의 자중과 관성력의 합보다 클 경우 발생한다. 식 (1)은 물체가 해수면으로 입사할 때, 작용하는 지배방정식이다. 여기서  $\hat{n}$ 는 물체의 판에 수직인 단위 벡터이고,  $\hat{t}$ 는 평행인 단위 벡터 이다.

$$F = \frac{1}{2} C_f \rho_w V^2 S_{im} \hat{n} + \frac{1}{2} C_f \rho_w V^2 S_{im} \hat{t} \quad (1)$$

본 논문에서는  $C_f$ ,  $C_f$ 를 구하기 위해 식 (2)-(3)을 사용하여 구하였다. 포탄과 해수면이 충돌하기 전 과 후의 선운동량 차이와 충돌하는 시간을 구하면 X축과 Z축의 충격력을 구할 수 있다. 이 충격량으로부터  $C_f$ ,  $C_f$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} m(V_{xi} - V_{xf}) &= F_{x\text{ avg}} \cdot \Delta t \\ m(V_{zi} - V_{zf}) &= F_{z\text{ avg}} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (2)$$

$$F_{x\text{ avg}} = \frac{1}{2} \rho_w S_x V^2 \cdot C_f \quad (3)$$

$$F_{z\text{ avg}} = \frac{1}{2} \rho_w S_z V^2 \cdot C_f$$

여기서  $\Delta t$ 는 충돌이 일어나는 총 시간,  $V_i$ 는 충돌 전 발사체 속도,  $V_f$ 는 충돌 후 발사체 속도,  $F_{\text{avg}}$ 는 충돌하는 동안의 충격력이다.[4]

### 3. 실험방법 및 결과

실제 포탄을 작은 모양으로 포탄모형을 제작하고, 포탄의 각도를 변화 시키면서 입사각을 변화시켜 실험을 진행하였다. 또한 포탄에 가하는 압력을 변화시키면서 포탄모형의 초기 속도를 부여하였다. 실험방법의 모식도가 Fig. 2에 나타나 있고, [4] 초기속도를 측정하는 방법은 Fig. 3에 나타나 있다.

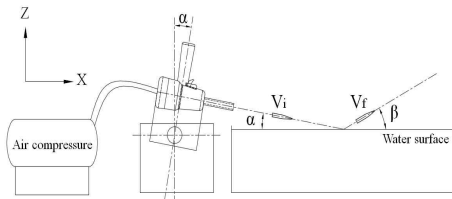


Fig. 2 Experimental setup for cannonball shooting

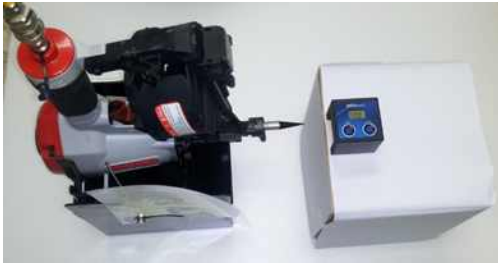


Fig. 3 Check the initial velocity

실험은 각 조건에 대하여 3번씩 실시하고 수면과 충돌 후 포탄의 방향이 달라지는 data에 대해서는 본 논문의 결과 data수집에서 배제하였다.

Table 1은 실험 수행 후 입사각과 반사각에 대한 결과이다. 입사각에 비하여 최대 2.9배의 반사각을 가지며, 입사각이 15° 이후부터는 반사각이 입사각 보다 작아지는 것을 확인 할 수 있다. Table 2는 Table 1로부터 계산한 항력계수이다.

Table 1 Result of ricochet data

Setting angle	Entry angle	Reflection angle
5°	5.114°	14.90075°
8°	8.05825°	20.74175°
10°	9.98525°	23.2815°
13°	13.09425°	22.23975°
15°	14.87275°	12.69275°
17°	16.89525°	14.41573°

Table 2 Result of drag coefficient

Setting angle	$C_r$	$C_l$
5°	0.2128	0.0238
8°	0.2743	0.0314
10°	0.2713	0.0366
13°	0.3167	0.0324
15°	0.3391	0.0334
17°	0.4101	0.0302

각도가 증가함에 따라 항력계수는 증가하는 추이를 보인다. 하지만 입사각이 15°이상에서는 수직방향 항력계수가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

포탄과 해수면이 충돌할 때 항력계수에 따라 수평방향과 수직방향으로 힘이 발생하게 된다. 포탄이 충돌할 때 자중과 관성력의 합보다 수직방향 충격력이 클 경우 도비를 하게 된다. 충격력을 결정하는 항력계수는 입사각, 도비 후 반사각, 충돌 전후의 각 성분방향 속도에 따라 달라지는 것을 실험을 통해 확인할 수 있다.

본 연구에서 수행한 실험을 통해 포탄과 해수면이 충돌할 때 발생하는 항력계수를 계산할 수 있었다. 해수면과 고속으로 충돌하는 포탄은 입사각, 초기속도에 따라 항력계수가 달라지며 이는 최종적으로 포탄의 이동 경로에 영향을 미친다. 본 연구를 바탕으로 앞으로 다양한 조건과 해수가 아닌 다른 물질에 대해서도 실험을 수행할 계획이다.

국방과학연구소에서 사격시험 시 설정하는 해상 안전구역을 효율적으로 관리하기 위해 실제 사격시험의 경험적 자료와 본 연구의 실험 자료를 토대로 원활한 시험장 관리를 할 수 있다.

#### 후기

본 연구는 국방과학연구소의 일반 기초 연구사업(ADD-10-01-06-14) 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. 정영훈, 윤준식, 방한석, 이해석, 조연식, 최우천, “해수면에 충돌하는 포탄의 이동 경로 해석”, 한국정밀공학회지, 1155-1156, 2011
2. 윤준식, 정영훈, 방한석, 이해석, 조연식, 최우천, “발사조건에 따른 수면에 사격된 탄의 도비해석”, 한국정밀공학회지, 807-808, 2010
3. J. S. Youn, Y. H. Jung, H. S. Bang, H. S. Lee, Y. S. Cho, W. C. Choi, “Moving Path Analysis of a Cannonball Colliding onto Water”, AMM, Vol 120, 414-417, 2012
4. 정성민, 김윤건, 이해석, 조연식, 최우천, “수면과 충돌하는 포탄의 항력계수에 관한 실험적 연구”, 한국정밀공학회지, 949-950, 2012