

수면과 충돌하는 포탄의 항력계수에 관한 실험적 연구 Experimental study on Drag coefficient of Cannonball Colliding into Water Surface

*정성민¹, 김윤건¹, #최우천², 이해석³, 조연식³

*S. M. Chung¹, Y. K. Kim¹, #W. C. Choi(wcchoi@korea.ac.kr)², H. S. Lee³, Y. S. Cho³

¹고려대학교 기계공학과 대학원, ²고려대학교 기계공학부, ³국방과학연구소

Key words : Cannonball, Ricochet, Drag coefficient

1. 서론

포탄을 해수면에 저각으로 발사하는 화포 무장 수락 시험에는 화약이 장입되지 않은 비활성 포탄을 사용하여 실험을 실시한다. 고속, 저각으로 발사된 포탄은 해수면과 충돌하여 해수면 위로 튀어 오르는 도비현상을 보인다. 따라서 이에 따른 해상안전구역을 설정하는데 있어서 해수면과 포탄이 충돌할 때 발생할 수 있는 도비에 대한 조건을 연구하여 안전한 시험이 시행될 수 있도록 안전영역 범위를 설정하는 것은 필수적이다[1].

도비현상은 포탄과 해수면이 충돌 시 상대 운동에 기인한 것으로, 충돌할 때 발생하는 충격력 예측을 통해 도비 현상 발생의 유무를 판단할 수 있다.

물체가 유체 내에서 운동할 때 물체의 항력계수에 대한 연구는 정상상태 하에서 다양한 형상에 대하여 수행되었다[2, 3]. 포탄과 해수면의 충돌 현상은 극히 짧은 시간에 이루어지고 이 경우의 항력계수에 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

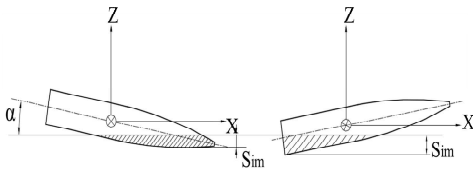


Fig. 1 Cannonball behavior during its collision with sea

발사된 포탄과 해수면 충돌 시 항력이 발생하게 되는데, 수직방향 항력이 입사하는 포탄의 관성력과 하중의 합보다 클 경우 도비가 발생한다.

포탄이 해수면에 충돌하여 도비할 때 거동이 Fig. 1에 나타나 있고, 지배 방정식은 식 (1)로 표현될 수 있다[4].

$$\begin{aligned} M \frac{dV_x}{dt} &= -\frac{1}{2} \rho_w V^2 S_x (C_i \sin \alpha + C_f \cos \alpha) \\ M \frac{dV_z}{dt} &= -Mg + \frac{1}{2} \rho_w V^2 S_z (C_i \sin \alpha + C_f \cos \alpha) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 C_i 은 수직방향 양력계수, C_f 는 수평방향 마찰 계수, V 는 진행방향의 속도, α 는 입사각, S_x 와 S_z 는 해수면에 잠긴 면적을 X 축과 Z 축에 각각 투영한 면적이다.

본 논문에서는 C_i , C_f 를 구하기 위해 식 (2)-(3)을 사용하여 구하였다. 포탄과 해수면이 충돌하기 전과 후의 선운동량 차이와 충돌하는 시간을 구하면 X 축과 Z 축의 충격력을 구할 수 있다. 이 충격량으로부터 C_i , C_f 를 구한다.

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

$$\begin{aligned} F_{x \text{ avg}} &= \frac{1}{2} \rho_w S_x V^2 \cdot C_f \\ F_{z \text{ avg}} &= \frac{1}{2} \rho_w S_z V^2 \cdot C_i \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 Δt 는 충돌이 일어나는 총 시간, V_i 는 충돌 전 발사체 속도, V_f 는 충돌 후 발사체 속도, F_{avg} 는 충돌하는 동안의 충격력이다.

3. 실험 방법

실험방법의 모식도가 Fig. 2에 나타나 있다. 실제포탄의 1/10 크기로 축소된 모형을 제작하고 모형에 가하는 압력을 조절함으로써 초기 속도를 조정하였다.

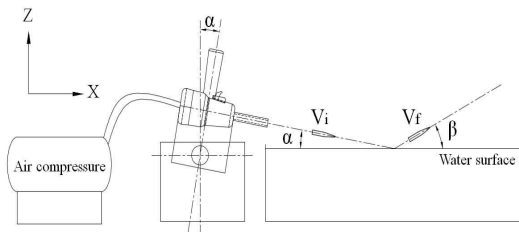


Fig. 2 Experimental setup for cannonball shooting

Table 1 Data of the projectile

Mass	Diameter	Length
11.14g	10.85mm	65.85mm

Table 2 Initial velocity for pressure

Pressure	Initial velocity
3 bar	16.5m/s
4 bar	21m/s
5 bar	25.5m/s
6 bar	31.5m/s

초당 300 프레임의 고속촬영을 통해 충돌 전 속도, 충돌 후 속도, 입사각, 도비 후 각도를 구하였다.

실험에 사용한 포탄 모형에 대한 제원은 Table 1과 같고 초기 압력에 따른 입사 초기속도를 Table 2에 정리하였다. 충돌 전 과 충돌 후 속도성분을 구하여 식 (2)에 대입한 후 최종적으로 식 (3)을 통해서 C_i , C_f 값을 계산하였다.

실험은 입사각 $\alpha=2^\circ$, 5° , 10° 에 대하여 실시하였다.

3. 결과

3가지 각도에 대하여 6 bar의 고정압력을 부여하여 충돌 전 진행방향 속도 V_i 의 값을 일정하게 하였고 실험으로부터 얻은 결과를 Table 3에 정리하였다. 도비 후 반사각은 각각의 입사각에 비해 약 2배 더 큰 각을 가지는 것을 확인하였다.

Table 3 Result of ricochet data

Entry angle			Initial velocity	Final velocity
2°	2°	4.122°	25m/s	18.05m/s
5°	5°	13.506°	25m/s	16.94m/s
10°	10°	20.916°	25m/s	15.26m/s

Table 3으로부터 고속 저각으로 입수하는 포탄의 경우 수평방향 항력의 영향이 수직방향 항력의 영향보다 크고, 저각에서 고각으로 입수될수록 각각의 항력계수 값은 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

포탄과 수면이 충돌할 때 발생하는 충격력에 따라 도비의 유무가 결정된다. 충격력을 결정하는 축방향 항력계수들은 포탄과 수면의 입사각에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 수행한 실험을 통해 포탄과 수면이 충돌할 때 물의 항력계수를 구하여 포탄에 미치는 영향을 확인하였다. 물과 충돌하는 포탄은 입사각, 초기속도에 따라 수직방향 양력계수와 수평방향 마찰계수 값의 수치에 차이를 보이며, 이 값들에 따라 충돌 후 포탄의 속도와 반사각에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 향후 다양한 입사각과 초기 속도에 대한 충돌 실험을 수행할 계획이다.

사격시험 시 설정하는 안전구역을 효율적으로 관리하기 위해 실제 사격시험의 통계적 자료와 본 연구의 실험 자료를 통해 보다 원활한 화포 무장 수락 시험을 수행할 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. L. Bocquet, "The physics of stone skipping," American Journal of Physics, **71**, Issue 2, 150-155, 2003.