

발사조건에 따른 수면에 사격된 탄의 도비해석 Cannonball Ricochet Analysis with Firing Conditions

*윤준식¹, 정영훈¹, 방한석¹, 이해석², 조연식², #최우천³

*J. S. Youn¹, Y. H. Jung¹, H. S. Bang¹, H. S. Lee², Y. S. Cho², #W. C. Choi(wcchoi@korea.ac.kr)³

¹고려대학교 기계공학과 대학원, ²국방과학연구소, ³고려대학교 기계공학부

Key words : Cannonball, Ricochet, Bouncing, Drag force, Critical speed, Firing angle, Firing height

1. 서론

화포 무장 수락 시험과 탄약 시험 수행 시 많은 수의 탄이 수면에서 도비 현상을 보여 준다. 도비 현상으로 인해 사격 시험 시 긴 안전 거리가 확보되어야 한다. 이러한 포탄 시험 환경 안전 개선을 위해서는 탄의 도비 현상에 대한 연구가 필요하다.

탄의 도비 현상은 탄도와 수면 사이의 상대 운동에 기인한 것으로, 도비 현상에 따른 탄의 이동 경로 예측의 정확성은 탄도의 운동과 수면모델의 정확성에 달려 있다. 탄의 이동 경로 예측을 위해서는 탄의 형상, 발사 속도, 발사 각도, 수면의 상태에 따른 탄의 도비 현상에 대한 해석적 연구가 수행되어야 한다. 이러한 연구를 바탕으로 하여 변수들의 변화에 따른 탄의 발사 시험에 대한 통계적 연구 수행을 통하여 효율적인 안전거리 확보와 함께 수평 사격 시험이 원활하게 수행되도록 한다.

본 연구는 발사조건에 따른 수면에 탄의 도비 현상을 탄도의 운동 모델을 해석하여 탄의 이동 경로를 예측함으로써 더 나아가 탄약 시험 시 해상 안전 구역 확보와 불필요한 인원 감축으로 비용을 절감하고, 사격 시험 진행을 보다 원활히 하도록 한다.

2. 이론적 배경

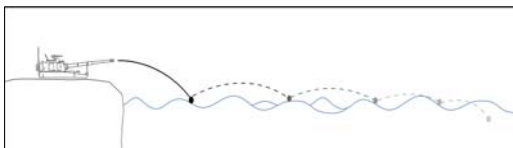


Fig. 1 Virtual path of a ricocheting cannonball

포탄을 발사하면 포탄이 수면에 닿을 때, 입사각과 입사속도에 따라 항력이 발생하는데, 이 항력이 물체의 자중 보다 크면 튀어 오른다. 이를 도비(ricochet) 현상 또는 바운싱(bouncing) 현상이라 부른다[1]. Fig. 1 은 수평 사격 시험에서 발사된 탄의 도비 발생 시에 탄의 가상적인 궤적을 나타낸다. 이러한 궤적을 정확하게 파악하기 위해서는 탄의 운동에 대한 해석이 필요하다.

Fig. 2 에 나타난 것처럼 질량이 M 인 물체가 수면에 대하여 α 의 각도로 입사되고, 물체의 자세각은 β 이다.

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

식 (1)은 물체가 수면으로 입사할 때, 작용하는 힘으로, 여기서 \hat{n} 는 물체의 판에 수직인 단위 벡터이고, \hat{t} 는 평행인 단위 벡터이다[2].

충돌하는 경우에 지배방정식은 식 (2)와 같고, 충돌하지 않는 경우에는 중력만 작용한다고 가정한다.

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

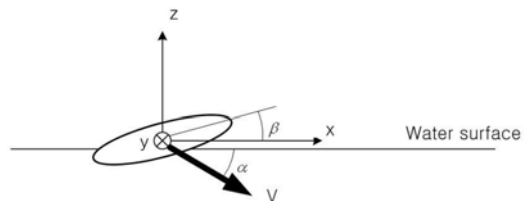


Fig. 2 Coordinate system

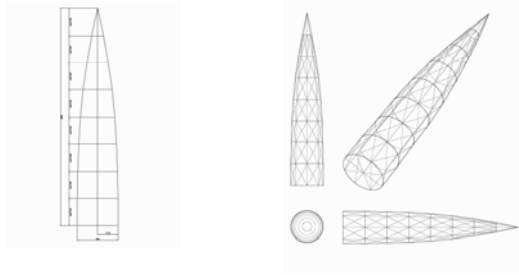


Fig. 3 Design concept of cannonball

포탄이 수면에 충돌하는지 판단은 포탄의 표면을 삼각형 요소로 분할하고, Fig. 3 과 같이 모든 삼각형 꼭짓점의 좌표를 계산하고 임의의 한 개 이상의 꼭짓점 z 좌표가 수면 밑에 있으면 충돌한 것으로 판단한다.

충돌하는 경우, 식 (3)의 미분방정식을 만족한다. 여기서 항력계수는 C 와 같이 표현한다.

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{1}{2} \rho_w V_x^2 S_m (C_l \sin \alpha + C_f \cos \alpha)$$

$$M \frac{d^2z}{dt^2} = -Mg + \frac{1}{2} \rho_w V_x^2 C \frac{az}{\sin \alpha} \quad (3)$$

$$C = C_l \cos \alpha - C_f \sin \alpha \cong C_l$$

3. 해석 및 결과

포탄의 도비를 해석하기 위한 수치해석은 먼저 보여진 Fig. 4 에 나타난 흐름도에 따른다.

Fig. 5 는 초기발사각도를 달리하여 포탄을 발사하였을 때와 발사 위치에 따른 포탄의 궤적과 도비 횡수를 보여준다.

발사각도가 작을 때는 도비가 많이 일어나고 각도가 커질수록 그 횡수는 줄어들었다. 이것은 실제 도비 현상과 비슷한 결과라고 볼 수 있다. 그리고 발사 위치를 달리 했을 때는 도비 현상의 차이가 비교적 적었다.

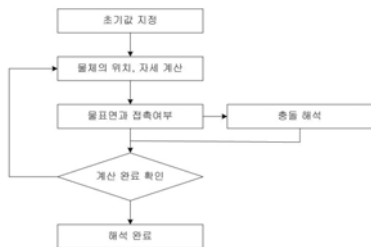


Fig. 4 Flowchart of ricochet analysis

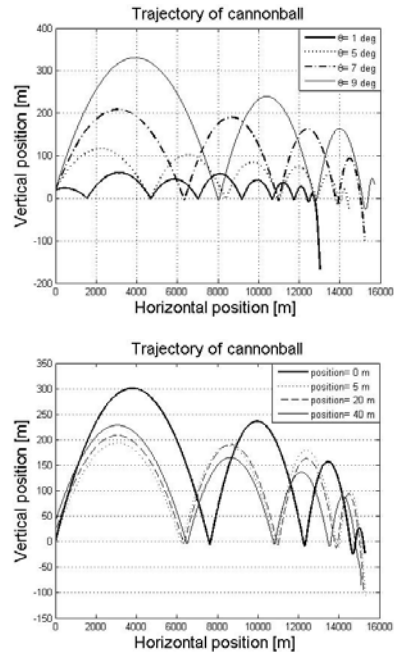


Fig. 5 Ricocheting trajectories of cannonballs

4. 결론

수면으로 사격된 탄의 도비 현상을 고려한 사격 시험의 안전 구역 설정은 탄의 도비 거리나 횡수를 예측할 수 있어야 한다. 탄의 도비 현상은 발사된 초기 조건을 이용하여 항력계수, 임계속도를 계산해 도비 여부, 횡수와 거리를 해석할 수 있다. 이러한 도비 현상에 대한 연구를 진행하여 사격 시험 기술 개발에 도움이 되고 적절한 환경을 설정할 수 있도록 한다. 향후 연구 과제로는 탄에 전달되는 충격량과 충격 시 폭발 여부, 파편의 비산 반경 예측 등이 있다.

후기

본 연구는 국방과학연구소의 일반기초연구사업(ADD-10-01-06-14) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 도주영 등, “물리기반 해석을 통한 물수제비 운동 시뮬레이션”, 정보과학회논문지:시스템 및 이론 제 33 권 제 3 호, pp.147-155, 2006
2. L. Bocquet, “The physics of stone skipping”, American Journal of Physics, Vol.71, Issue.2, pp.150-155, 2003