

해수면에 충돌하는 포탄의 이동 경로 해석 Moving Path Analysis of Cannonballs Colliding into Sea Surface

*정영훈¹, 윤준식¹, 방한석¹, 이해석², 조연식², #최우천³

* Y. H. Jung¹, J. S. Youn¹, 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, Sea Surface, Wave

1. 서론

화포 무장 수락 시험에서는 화약이 장입되지 않은 비활성 포탄을 바다에 발사하며 많은 수의 탄들이 해수면에서 도비(ricochet) 현상을 보여준다. 해수면에서의 도비 현상으로 인하여 사격 시험 시 적절한 안전 거리가 확보되어야 한다. 이러한 포탄 시험 환경 안전 개선을 위해서는 해수면에 충돌하는 포탄의 이동 경로에 대한 연구가 필요하다.

탄의 도비 현상은 탄도와 해수면 사이의 상대 운동에 기인한 것으로, 도비 현상에 따른 포탄의 이동 경로 예측의 정확성은 탄도의 운동과 해수면 모델의 정확성에 달려 있다. 탄의 이동 경로 예측을 위해서는 탄의 형상, 발사 속도, 발사 각도, 해수면의 형상에 따른 탄의 도비 현상에 대한 해석적 연구가 수행되어야 한다. 이러한 연구를 바탕으로 하여 변수들의 변화에 따른 탄의 발사시험에 대한 통계적 연구수행을 통하여 효율적인 안전거리 확보와 함께 수평 사격 시험이 원활하게 수행 되도록 하며 더 나아가 탄약 시험 시 해상 안전구역 확보와 불필요한 인원 감축으로 인한 비용을 절감하고, 사격 시험 진행을 보다 원활히 하도록 한다.

2. 이론적 배경



Fig. 1 Virtual path of a ricocheting cannonball

포탄을 바다에 발사하여 해수면에 닿을 때, 입사각과 입사속도에 따라 항력이 발생하는데, 이 항력이 물체의 자중보다 크면 튀어 오른다. 이를 도비 현상이라 부르며[1] Fig. 1 은 수평 사격 시험에서 발사된 탄의 도비 발생 시에 탄의 가상적인 궤적을 나타낸 것이다. 이러한 궤적을 정확하게 파악하기 위해서는 탄의 운동에 대한 해석이 필요하다. 포탄 형상은 Fig. 2 와 같이 K307 포탄을 사용하였다.

포탄이 해수면으로 입사할 때, 작용 하는 힘은 식 (1)로 구한다.

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

여기서 \bar{n} 는 포탄에 수직인 단위 벡터이고, \bar{t} 는 평행인 단위 벡터이다.

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

$$M \frac{dV_x}{dt} = -\frac{1}{2} \rho_w V^2 S_{im} (C_l \sin \alpha + C_f \cos \alpha) \quad (2)$$

$$M \frac{dV_z}{dt} = -Mg + \frac{1}{2} \rho_w V^2 S_{im} (C_l \cos \alpha - C_f \sin \alpha)$$

포탄이 해수면에 충돌하는지 판단은 포탄의 표면을 사각형 요소로 분할하고 모든 사각형 꼭짓점의 좌표를 계산하여 임의의 한 개 이상의 꼭짓점 z 좌표가 해수면 밑에 있으면 충돌한 것으로 판단한다[2].

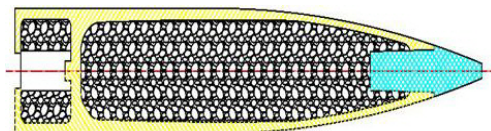


Fig. 2 Design of the cannonball (K307)

해수면 형상은 Pierson-Moskowitz Spectrum의 바람에 관한 모델을 적용하였다[3]. 조건은 바람이 일정한 속도와 지속기간, 충분한 대안거리 그리고 파장이 더 이상 증가하지 않는 곳의 조건을 가지고 5년 동안 1000개의 해풍기록과 배에서 측정된 460개의 파도 형상을 바탕으로 식 (3)과 같이 모델링 되었다.

$$F_{PM}(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_m}{f}\right)^4\right] \quad (3)$$

여기서 $F_m(f)$ 는 순방향 바람의 Spectrum에 관련된 힘이며, f 는 주파수, f_m 는 공진 주파수이고 $\alpha = 0.0081, g = 9.81m/s^2$ 이며 공진 주파수 f_m 은 해수면 10m 높이의 바람의 속도와 직접적으로 연관되어 식 (4)와 같다.

$$f_m = 0.13g / u_{10} \quad (4)$$

Fig. 3은 Pierson-Moskowitz Spectrum에서 $V = 10m/s, \theta = 45^\circ$ 일 때의 해수면을 나타낸 것이다.

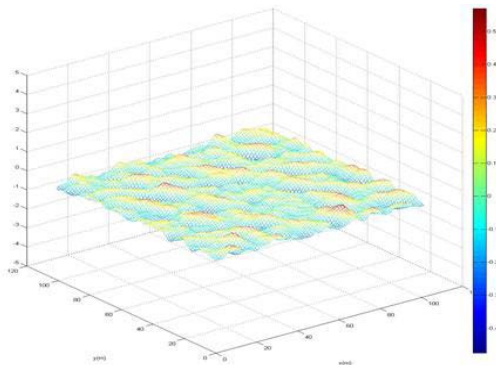


Fig. 3 Sea surface model for velocity and angle

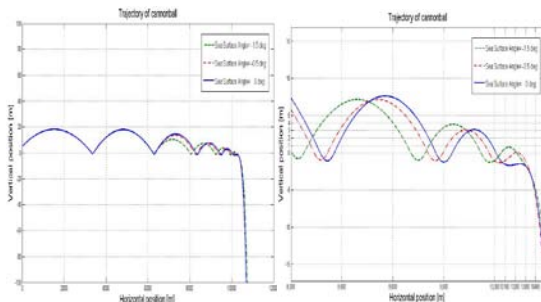


Fig. 4 Trajectories of ricocheting cannonballs

3. 해석 및 결과

초기 발사 조건으로 초기속도는 928m/s, 초기발사각도는 1° , 초기발사위치는 5m이다.

Fig. 4는 포탄이 해수면에 충돌할 때 해수면의 각도를 $-1.5, -0.5, 0^\circ$ 로 변화시켰을 때의 이동 경로 및 도비 횡수를 보여준다. 왼쪽 그래프는 전체 포탄의 이동 경로 나타낸 것이고 오른쪽 그래프는 포탄이 가라앉을 때를 확대한 것이다.

해수면의 각도가 포탄이 날아가 해수면에 충돌하는 방향과 같은 기울기일 때 보다 반대 기울기일 경우 최종 이동거리가 길게 나타났고 큰 각도 보다 작은 각도에서 도비 횡수가 증가하였다.

4. 결론

포탄의 이동거리 및 도비 횡수는 발사속도, 발사각도, 발사위치의 초기 조건과 해수면의 각도에 따라 최종 이동 경로를 해석할 수 있다. 향후 포탄과 해수면 충돌 시 해수면의 각도는 실험을 시행하는 순간마다 일정한 범위 내에서 임의로 선출하여 통계적으로 해석할 수 있다. 이러한 이동 경로 해석을 통해 포탄 사격 시험 시 해상 안전 구역 설정을 효율적으로 하며 보다 원활한 수평 사격 시험을 수행할 수 있다.

후기

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

참고문헌

1. 도주영 등, "물리기반 해석을 통한 물수제비 운동 시뮬레이션," 정보과학회논문지, **33**, 3, 147-155, 2006.
2. 윤준식 등, "발사조건에 따른 수면에 사격된 탄의 도비해석," 한국정밀공학회지, **하**, 807-808, 2010.
3. Linnett, L.M., Clarke, S.J., Calder, B.R., Rzhanov, Y., "The Generation of a Time Correlated 2D Random Process for Ocean Wave Motion," Conference Publication, **443**, 623-626, 1997.