다양한 밀도의 모래에 충돌하는 포탄의 응력 해석

Stress Analysis of Cannonballs Colliding into Sand of Varying Density

*전재원[1], #최우천[2], 김재갑[3], 김봉수[3]

*J. W. Jeon[1], #W. C. Choi(wcchoi@korea.ac.kr)[2], J. K. Kim[3], B. S. Kim[3]

[1]고려대학교 기계공학과 대학원, [2]고려대학교 기계공학부, [3]국방과학연구소

Key words : Cannonball, Collision, Sand, Density, Stress, Safety Factor

1. 서론

현재 지상 포탄 발사 시험이 다양하게 시행 중이다. 그 중 모래에 충돌하는 비활성 포탄의 거동 및 침투특성에 대한 연구는 충분하지 않다. 실제 모래에 발사된 포탄은 다양한 침투특성을 보이고, 이에 따라 파쇄되기도 한다. 따라서 탄착지에 발사 시험을 하는 데 있어 안전시설의 운용은 필수적이다.

본 연구에서는 포탄 발사 시험에 있어서 모래의 밀도에 따른 포탄의 거동 및 응력을 해석했다. 연구를 통하여 포탄이 모래에 충돌할 때의 특성을 이해하도록 한다.

2. 이론적 배경

본 연구를 위해 사용한 프로그램은 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS Explicit STR 이다. 프로그램상 수학적 계산은 포탄과 모래의 모델링 후 만들어진 mesh 를 통하여 이루어진다. 각 요소와 질점은 다음과 같은 적분방정식을 사용한다[1].

$$\ddot{x}_i = \frac{F_i}{m} + b_i \qquad (1)$$

여기서 $\ddot{x}_i$ 는 요소의 질점 가속도, F_i 는 질점에 작용하는 힘, m 은 질점의 질량, b_i 는 요소 몸체 가속도이다.

3. 해석 및 결과

발사 시험에 사용된 포탄은 곡사포용 155mm K307 포탄이다. Fig. 1은 포탄의 실제 사진이다[2].

다양한 밀도를 갖는 모래 더미에 포탄을 충돌시켰을 때의 변화를 해석했다. Fig. 2는 포탄과 모래를 ANSYS 상에서 모델링한 그림이다.

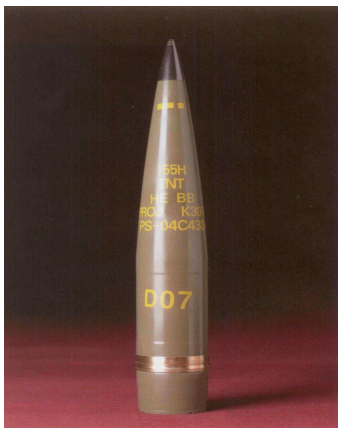


Fig. 1 K307 Cannonball

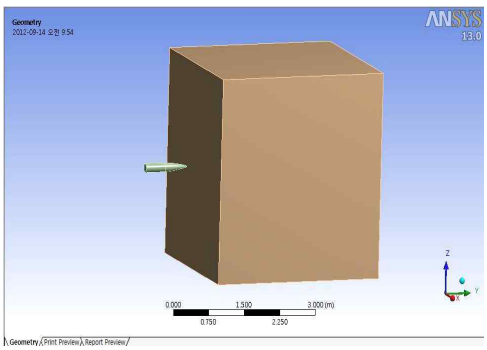
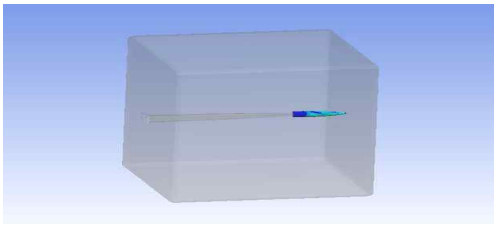
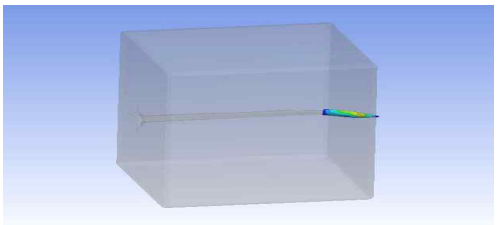


Fig. 2 Modeling of Cannonball and Sand

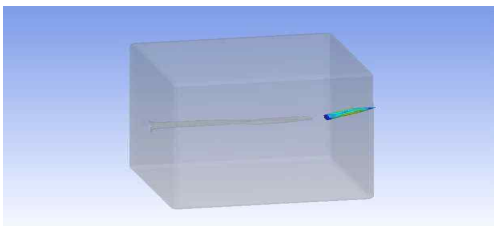
해석조건으로 포탄의 초기 발사속도는 950m/s, 각속도는 125rad/s, 모래의 크기는 3.6m × 3.6m × 3.3m 이다. 포탄의 재질은 Copper Alloy를 사용했다. Fig. 3은 모래의 밀도에 따른 포탄의 거동을 나타낸다.



(a) Density of Sand : 1400kg/m^3



(b) Density of Sand : 2000kg/m^3



(c) Density of Sand : 2641kg/m^3

Fig. 3 Behavior of Cannonball Colliding into Sand

모래의 밀도가 1400kg/m^3 일 때는 포탄이 곧게 뚫고 지나가지만, 그 이상의 밀도에서는 포탄의 경로가 휘어지는 결과가 나타났다. 모래라는 매질 특성상 연속체가 아닌 각 입자의 집합체이기 때문에 포탄이 관입할 때 상대적으로 지나가기 쉬운 경로로 나아간 것으로 보인다. Fig. 4는 모래 밀도에 따른 포탄의 상당응력을 나타낸 그림이다. Fig. 5는 포탄이 받는 응력을 안전계수로 나타냈을 때의 그림이다.

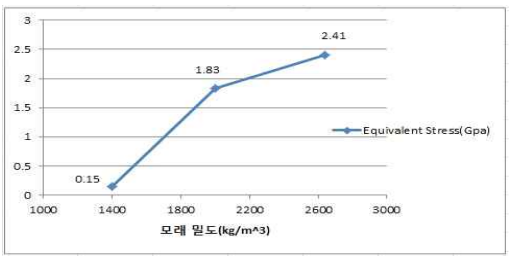


Fig. 4 Equivalent Stress on Cannonball

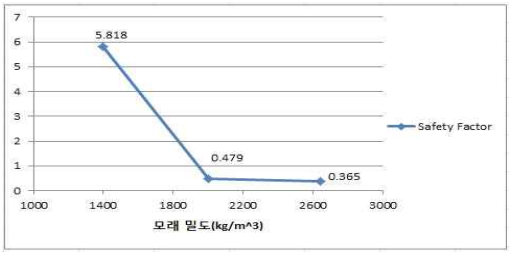


Fig. 5 Safety Factor of Cannonball

모래의 밀도가 커질수록 포탄이 받는 상당응력은 더 커진다. 평균적인 Copper Alloy의 항복인장강도가 880MPa 임을 고려했을 때, 모래의 밀도가 2000kg/m^3, 2641kg/m^3 일 때는 안전계수가 1이하로 포탄이 변형하거나 파쇄 될 가능성이 나타났다[3].

4. 결론

포탄이 모래와 충돌할 때 모래의 밀도에 따라 다른 거동을 보인다. 밀도가 커질수록 포탄 경로의 휘는 정도가 커진다. 이에 따라 포탄이 받는 상당응력은 점차 커지고, 모래 밀도가 2000kg/m^3, 2641kg/m^3 일 때는 포탄이 파쇄 될 가능성이 있다.

향후 연구에서는 실제 포탄 발사 시험과 유사한 조건의 모형으로 실험을 수행하고, 그 결과를 해석 결과와 비교할 예정이다.

후기

본 연구는 국방과학연구소의 일반기초연구사업 (ADD-11-01-04-09) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. WB Explicit STR, TSNE, 2010.
2. Information on http://www.poongsan.co.kr
3. Information on http://www.matweb.com