

분리 가능한 탄두를 갖는 포탄의 동역학에 대한 기초연구

이현창*, 박우철*

*강원대학교 자동차공학과

e-mail:hyunlee@kangwon.ac.kr

Dynamics of a Projectile with an Additional 3 DOF Head

Hyun-Chang Lee*, Woo-Chul Park*

*Dept of Vehicle Engineering, Kangwon National University

요 약

본 논문에서는 포탄의 탄두를 본체와 분리, 움직임이 가능한 형태로 부착하여 탄착점의 정확도를 향상시키는 가능성에 대하여 검토하였다. 포탄의 탄착점은 대포의 형상, 제작공차, 제어시스템 그리고 발사체의 제작공차 등 여러 변수의 함수이다. 탄두를 분리하여 탄두부분이 추가적인 3자유도의 운동을 할 수 있도록 허용함으로써 그러한 불확실성을 해소할 수 있도록 시도하고자 하였다. 시뮬레이션을 통하여 가변탄두를 갖는 발사체가 탄두부분의 피치(pitch)와 요(yaw) 회전운동을 통하여 발사 초기의 불확실성을 흡수할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

정확한 타격을 통하여 더 적은 공격으로 상대를 제압할 수 있다면 더 적은 수의 탄약만을 갖고서 작전을 수행할 수 있기 때문에 군사작전의 큰 장애 중의 하나인 물류의 이동에서도 큰 우위를 누릴 수 있다.

포구를 떠나서 비행을 시작하는 발사체의 초기조건은 일종의 불규칙(random)과정으로 이해할 수 있다. 이러한 불규칙(random)한 성격은 포신과 탄두의 제작허용오차와 그로 인해 발생하는 진동에서 기인하는 것으로 이해된다. 이러한 불확실성과 비행 중에 일어나는 외란으로 인하여 정확한 목표지점을 타격할 수 없게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로서 발사체의 초기조건에 있어서의 변동을 줄이는 방법과 초기조건에 대한 발사체의 민감도를 줄이는 방법이 있을 수 있다. 이 중 민감도를 줄이는 하나의 방법으로서 발사체 탄두를 본체와 분리하여 탄두부분이 자체적으로 3자유도를 갖는 운동을 할 수 있도록 허용하고자 한다. 탄두부분의 피봇점이 탄두 비행역학 중심점보다 앞에 위치한다면 탄두는 바람에 따라 회전할 것이고 이에 따라 발사체가 받는 외력을 감소시킬 수 있을 것이다. 이러한 설계변경은 탄두부분

이 비어있기 때문에 쉽게 구현될 수 있고 능동제어를 필요로 하지 않기 때문에 비용 면에서 경제성이 있다.

2. 가변탄두 발사체의 동역학모델

모델의 형상이 그림1에 주어져 있다. 발사체는 탄두부분과 본체로 구성되어 있다. 발사체는 전체 무게중심을 나타내는 3자유도의 위치벡터와 본체와 탄두의 회전을 표현하는 6자유도의 회전벡터 총 9자유도로 구성되어있다. 본체부분과 탄두부분은 각기 yaw, pitch, roll의 회전각을 갖는다.

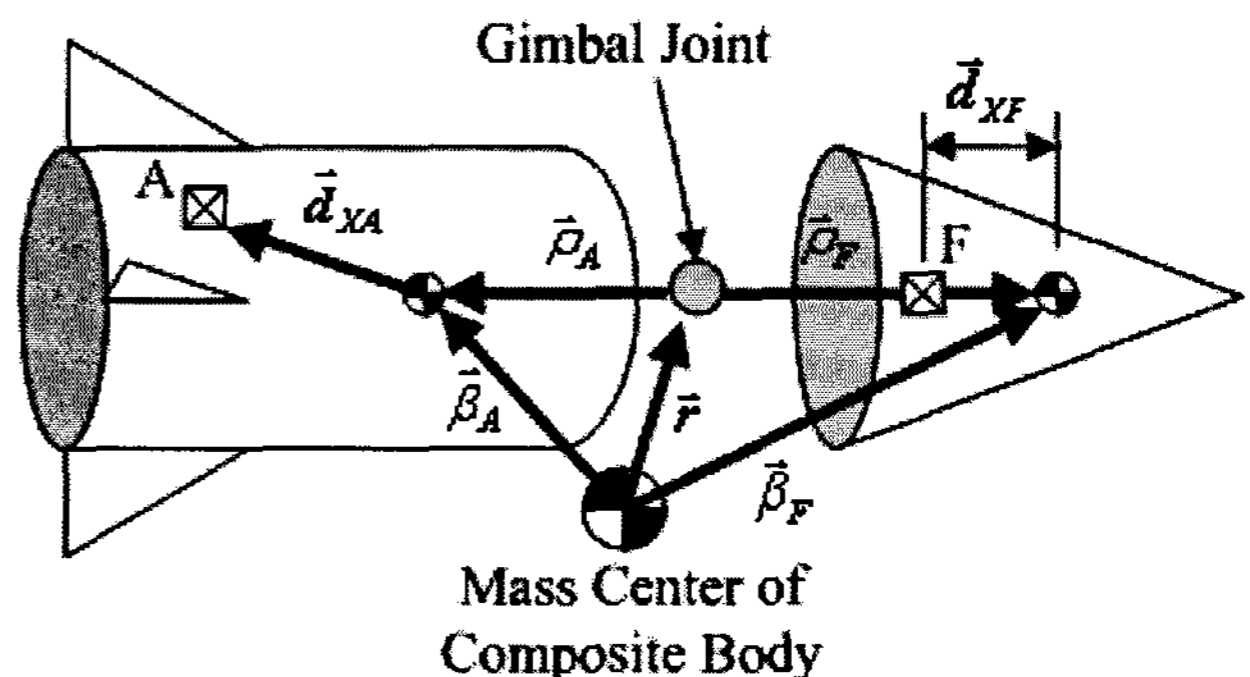


그림 1. 가변탄두를 갖는 발사체의 형상

9 자유도를 갖는 발사체의 동역학은 식 1, 2, 3과 같이 요약할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_A - S_{\rho_A} A_A & -S_{\rho_A} A_F \\ T_F S_{\rho_F} A_A & T_F I_F + T_F S_{\rho_F} A_F \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{p}_A \\ \dot{q}_A \\ \dot{r}_A \\ \dot{p}_F \\ \dot{q}_F \\ \dot{r}_F \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} g_{Ax} \\ g_{Ay} \\ g_{Az} \\ g_{Fx} \\ g_{Fy} \\ g_{Fz} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\{g_A\} = -S_{\omega_A} I_A \begin{Bmatrix} p_A \\ q_A \\ r_A \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} L_C \\ M_C \\ N_C \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} L_A \\ M_A \\ N_A \end{Bmatrix} + S_{\rho_A} \{B_{AF}\} \quad (2)$$

$$\{g_F\} = -T_F S_{\omega_F} I_F \begin{Bmatrix} p_F \\ q_F \\ r_F \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} L_C \\ M_C \\ N_C \end{Bmatrix} + T_F \begin{Bmatrix} L_F \\ M_F \\ N_F \end{Bmatrix} - T_F S_{\rho_F} \{B_{AF}\} \quad (3)$$

3. 시뮬레이션

발사초기 조건의 불규칙성이나 비행 중에 일어나는 외란으로 부터 탄착점의 정확성을 향상시키기 위하여 유도한 9 자유도 포탄의 궤적이 유효한 결과를 나타냄을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 하였다. (그림 2, 3, 4, 5) 시뮬레이션에서는 미분방정식을 풀기 위하여 4th order Runge-Kutta 방법이 사용되었으며 1.4 초의 시간까지 0.00001 초 간격으로 포탄의 궤적이 다시 계산되었다. 식(1)에서 미지의 6개의 각 가속도를 구하기 위해서는 행렬의 부분분할법을 사용하였다. 시뮬레이션에 사용된 포탄의 길이는 0.34 m, 직경은 0.037 m 이었으며 무게는 3.167 Kg 이었다. 발사초기의 x-방향속도는 1703 m, yaw와 pitch 각도는 각각 3, 5 degree 로 선정하였으며 pitch의 각속도는 60 degree로 하였다. 포탄의 무게나 크기에 대하여 탄두부분의 회전각의 허용범위와 그로 인한 간섭의 효과는 추후 연구를 통하여 보강되어야 할 것으로 사료된다. 또한 일정 사거리 내에서 탄착점의 분포도가 6 자유도에 비하여 9 자유도에서 향

상될 수 있음은 추후 연구를 통하여 입증되어야 할 것으로 사료된다.

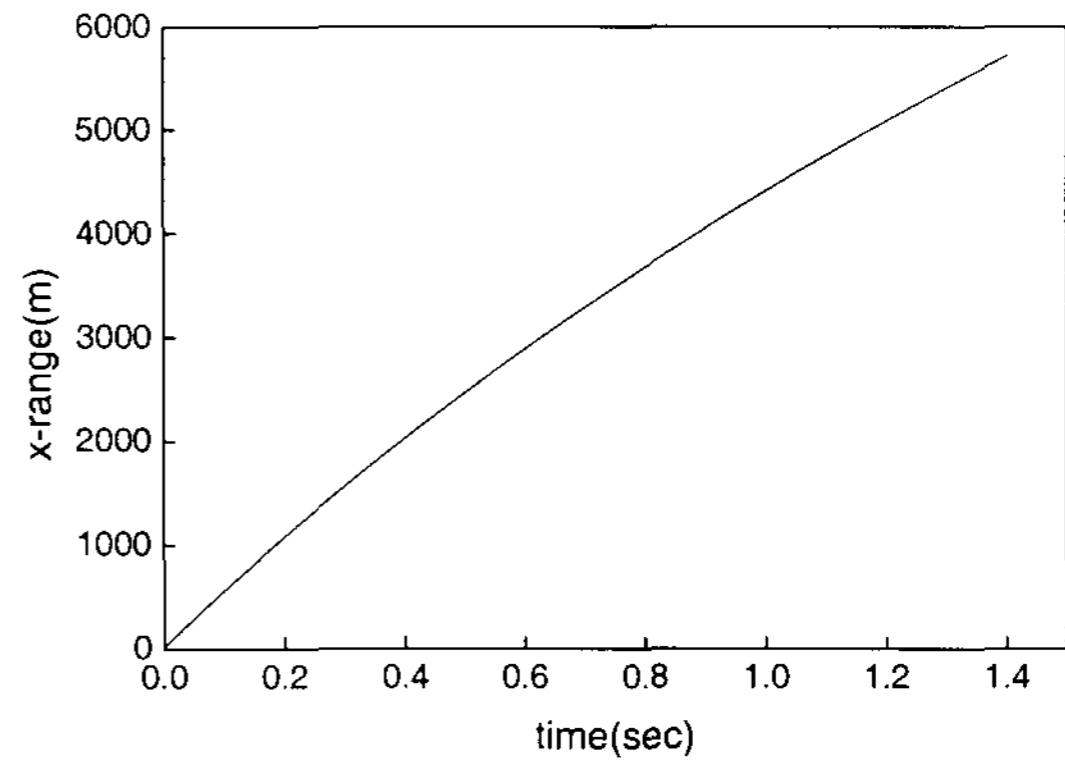


그림 2. X-방향 이동거리

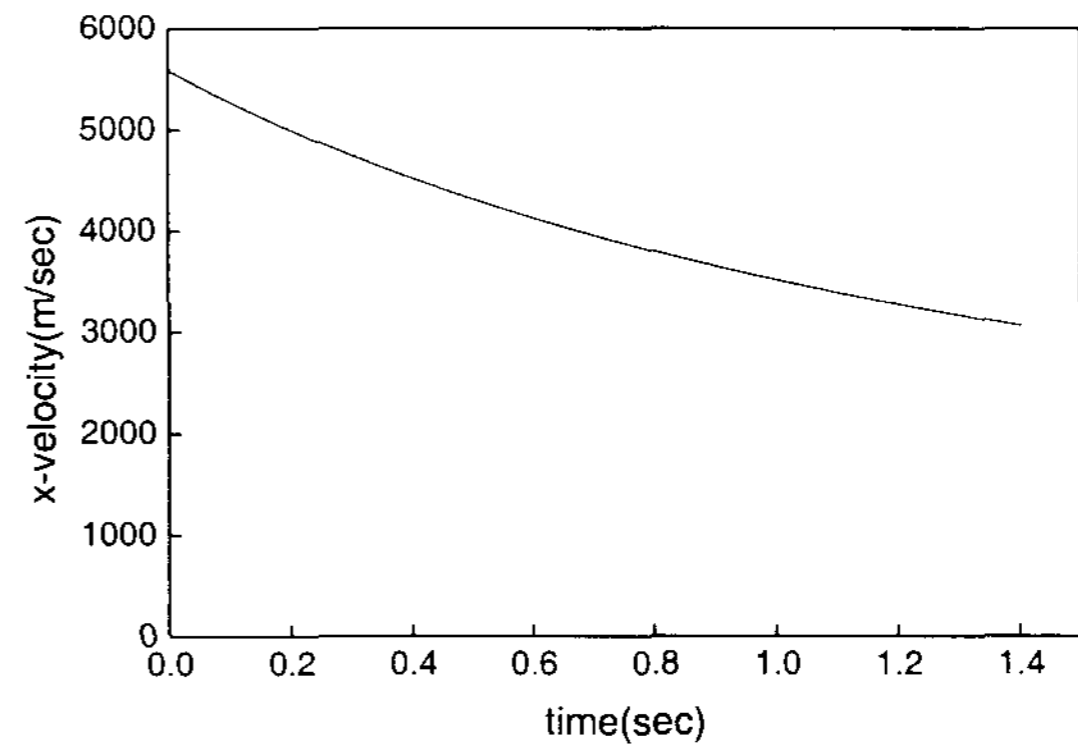


그림 3. X-방향 속도

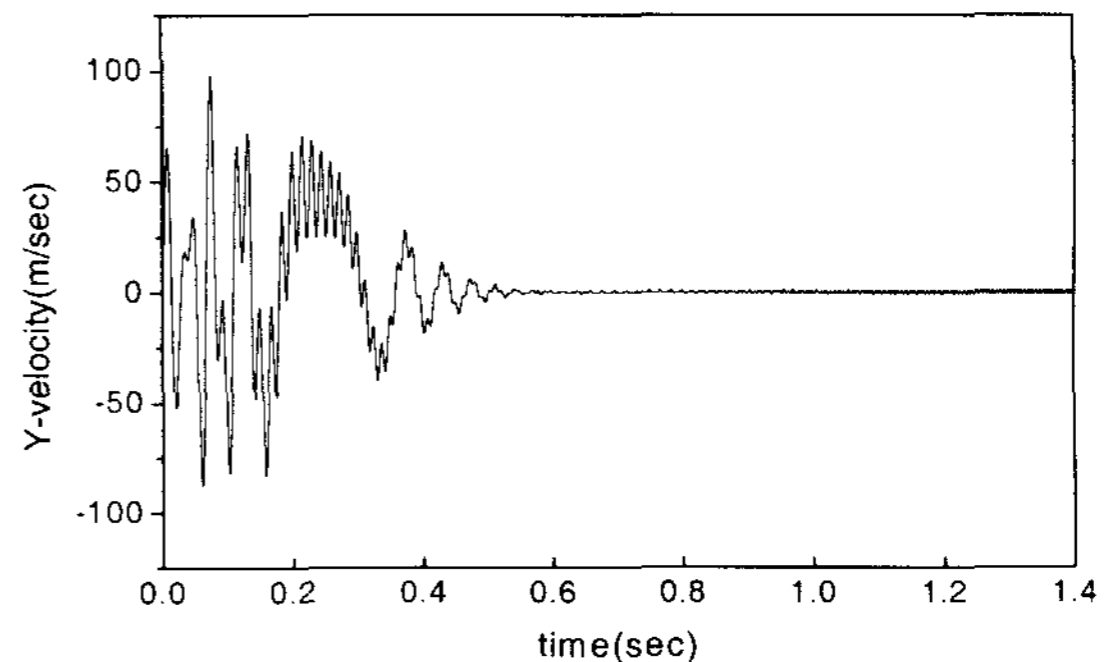


그림 4. Y-방향 속도

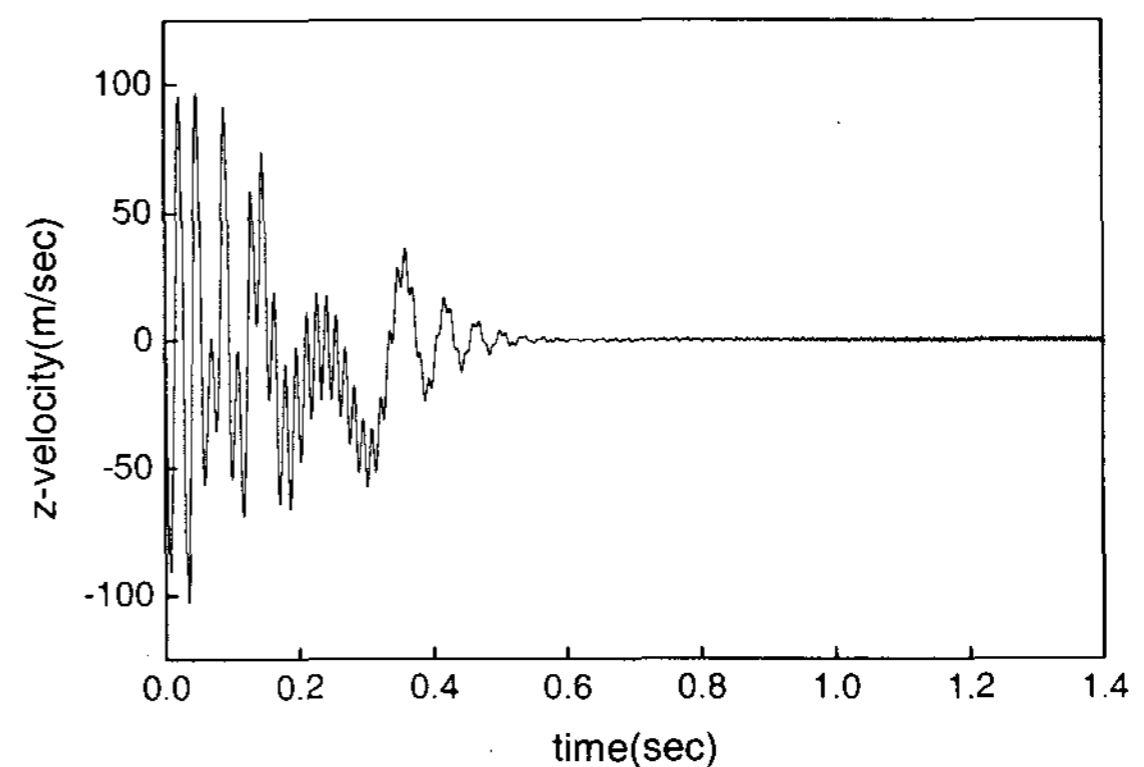


그림 5. Z-방향 속도

상수와 댐핑상수의 선정을 위한 추가적인 연구가 요구된다.

4. 결론

- 1) 기존의 포탄 또는 미사일의 동역학에 탄두부분을 분리하여 3 자유도를 추가한 동역학 식을 유도하였다.
- 2) y 방향과 z 방향의 속도가 0.5 초 이후에는 변함이 없는 것으로 보아 발사초기의 조건이 탄착점의 분산에 큰 영향을 미침을 알 수 있다(그림 4, 5).
- 3) 탄두부분의 각도와 각속도가 0.002 이후에 영의 값에 수렴하는 것으로 보아 9 자유도를 갖는 새로운 형태의 포탄이 매우 짧은 시간 안에 발사초기 불규칙성의 효과를 상쇄할 수 있음을 확인할 수 있다(그림 6, 7).

참고문헌

- [1] R. H. Goddard, "Apparatus for Steering Aircraft", U.S. Patent 2594766, 1952
- [2] R. Barrett, J. Stutts, "Modeling, Design and Testing of a Barrel Launched Adaptive Munition", Proceedings of the 4th Annual Society of Photo-Optical Engineers Symposium on Smart Structures, Society of Photo-Optical Engineers, New York, 1997
- [3] W. Kranz, "High Velocity Aerodynamic Body Having Telescopic Nose Tip", U.S. Patent 4756492, July 1988
- [4] B. Etkins, "Dynamics of Atmospheric Flight", John Wiley and Sons, pp. 67-109, 1972
- [5] R. Gast, S. Morris, M. Costello, "Simulation of Shot Impacts for the M1A1 Tank Gun", J. of Guidance, Control and Dynamics, Vol. 23, No. 1, pp. 53-59, 2000
- [6] C. M. Close, D. K. Frederick, "Modeling and Analysis of Dynamic Systems", John Wiley and Sons, pp. 23-78, 1995.
- [7] M. F. Costello, "Modeling and Simulation of a Differential Roll Projectile", ARL-CR-455, pp. 1-10, 2000

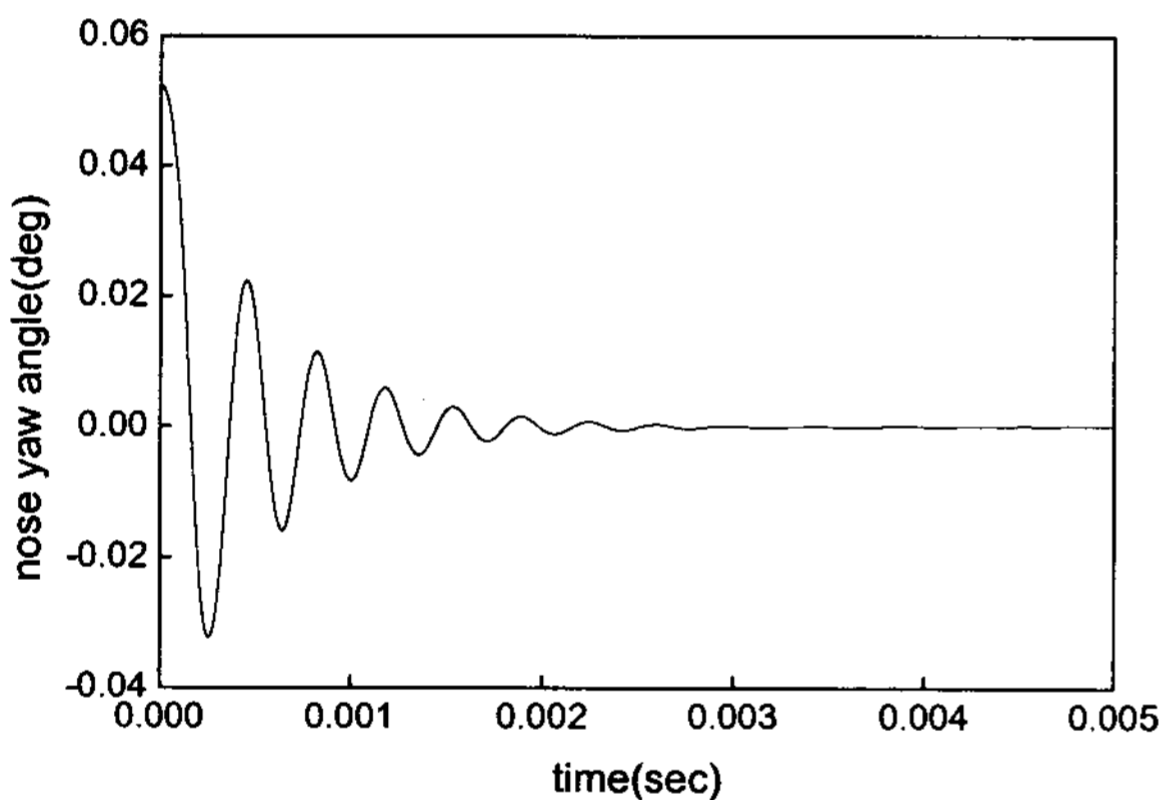


그림 6. 탄두의 Yaw 각도

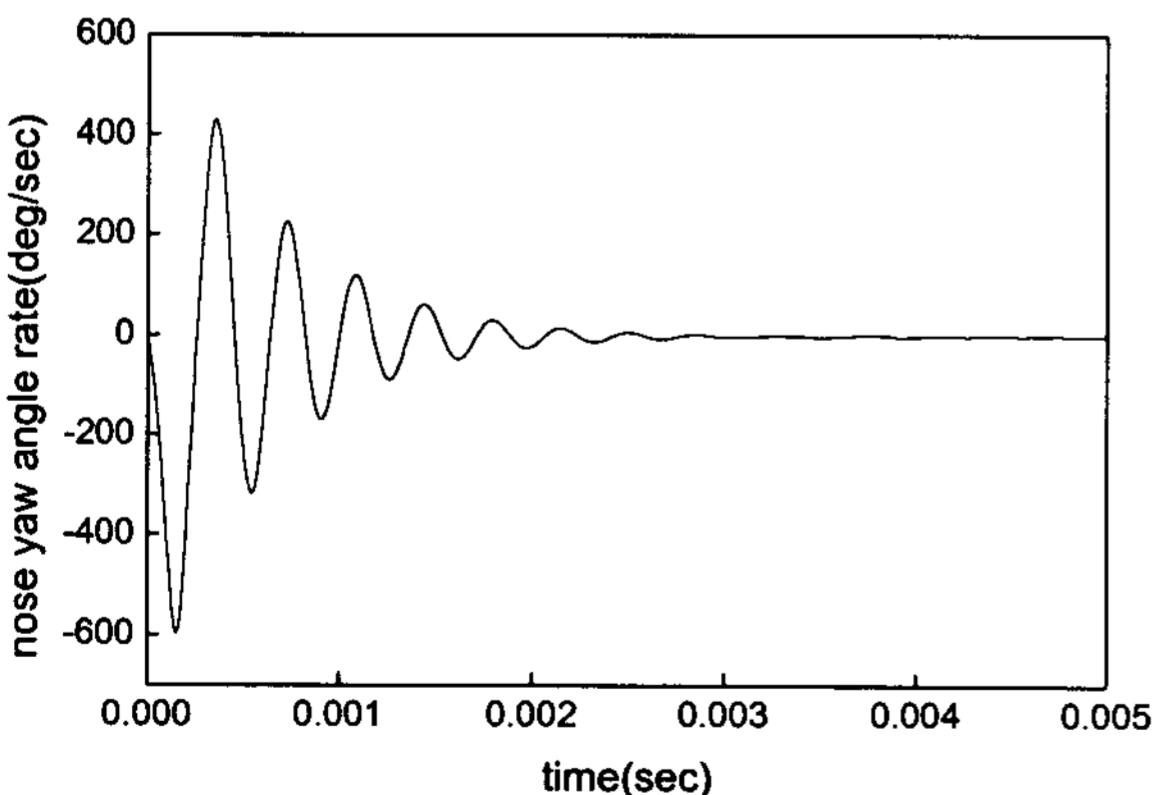


그림 7. 탄두의 Yaw 각속도

- 4) 실전에서 사용할 수 있는 발사체의 탄두와 본체 사이의 연결부위의 최적설계를 하기 위해서는 크기와 무게에 따른 형상설계와 이상적인 스프링