

동흡진기를 이용한 포신의 진동감쇠에 대한 연구

A study on the Vibration Damping of a Barrel using Vibration Absorber

곽동기* · 배재성† · 황재혁* · 김현수**

Dong-Gi Kwag, Jae-Sung Bae, Jai-Hyuk Hwang and Hun-Soo Kim

1. 서 론

현대의 전차는 기동성, 사거리 및 파괴력이 크게 향상되고 있으며, 이는 차체 및 포신의 경량화, 대구경화, 장포신화, 고폭탄화에 의해 이루어지고 있다. 그러나, 이러한 변화는 기동 및 사격중 포의 조준 성능에 여러 가지 문제를 야기시키고 있다. 그 중 구경장의 증가는 주행 중 포신의 진동 문제 및 사격 후 지속되는 포신의 잔류진동 문제를 야기시키고, 이는 포 구동 메커니즘의 성능에 관계없이 정확한 조준 및 사격을 어렵게 하고 있다. 이에 따라 포신의 잔류진동을 보상하려는 노력이 이루어져야 한다.

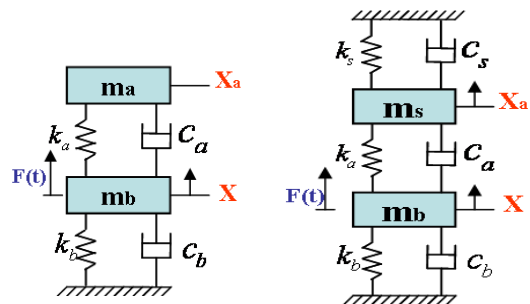
포신의 잔류진동을 수동적으로 제어하는 방법은, 1980년 이전에 포신의 강성을 증가시켜 포신의 유연모드에 의한 리셉턴스(receptance)를 줄이는 방법이 시도 되었고, 1980년대 들어서는 미국, 캐나다, 영국 등은 구경장의 증대 추세에 따른 포신자체의 주행 중 포신의 축 정렬 및 연속사격을 위한 격발순간을 예측 및 계산하여 명중률을 높이려는 연구가 시작되었다. 이러한 연구 방향은 포구의 움직임 감지 할 수 있는 포구감지기(MRS, Muzzle Reference System)의 개념을 도입했다. 전차는 타 무기에 비해 긴 포신을 가지고 있으며 포신이 지면과 거의 수평상태로 평상시에도 미세하게 아래로 처지게 되며, 특히 연속사격시 포신의 온도상승과 포신의 부위별 온도차이로 인하여 포신이 휘거나 처지게 되는데 이러한 현상을 주포처짐(gun bending)이라 한다. 포구감지기(MRS)는 포신의 끝에 부착되어 포신의 처짐량을 감지하여 포구기준점을 제공함으로써 주포처짐으로 인한 명중률 저하를 방지한다. 그 외 근래들어 연속발사를 위한 최적의 발사조건을 계산하고, 포구의 위치를 실시간으로 예측할 수 있는 동적포구감지기(DMRS, Dynamic Muzzle Reference System), 자동포구감지기(AMRS, Automatic

Muzzle Reference System)에 대한 연구가 진행되고 있다. 하지만 이러한 방법은 포신에서 발생하는 잔류진동을 직접적으로 감쇠하는 방법이 아니기 때문에 성능향상에 제약이 따른다. 하지만 수동형 질량 감쇠기를 사용하여 진동이 억제되는 방향으로 힘을 가해 줄 수 있다면, 앞서 설명한 방법보다는 직접적으로 진동을 감쇠하기 때문에 그 성능은 더 높다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 포신의 잔류진동을 직접적으로 감쇠할 수 있는 수동형 진동 감쇠기에 대한 설명과 포신 축소 모델에 대한 파라미터 해석을 통한 설계 변수에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 동흡진기 설계

수동형 진동 감쇠기는 1909년 Farm에 의해 소개되었고, 1956년 Den Hartog에 의해 오늘날의 통합된 감쇠장치의 의미를 지닌 TMD(Tuned Mass Damper)가 소개 되었다. TMD는 Proof mass의 관성에 의해 야기되는 운동에너지(kinetic energy)와 스프링에 저장된 위치에너지(potential energy)는 마찰(구조감쇠)에 의해 소산되고, 남은 에너지는 포신의 운동과 반대 위상각(phase relative)을 갖는 운동을 야기 시켜, 포신의 진동을 빠르게 소산시키고, 초기 위치로 복귀한다. 이러한 원리를 이용하여 Eric. Kathe는 1990년 후반 포신에 수동형 질량 감쇠기를 적용 하였으며, 2002년도에 이르러 포신의 차열관(shroud)을 부가질량으로 사용한 DTS(Dynamically Tuned shroud)를 제안하였다.



(a) TMD Type (b) DTS Type

그림 1 TMD/DTS 비교

† 교신저자; 한국항공대학교 항공우주및기계공학부 대학원
E-mail : jsbae@kau.ac.kr
Tel : (02)300-0102, Fax : (02) 3159-0406

* 한국항공대학교 항공우주및기계공학부 대학원

** (주)현대위아

그림 1에서 기존 TMD 형태에서 감쇠질량이 주구조물에 고정된 형태가 DTS 타입이다. 그림 1 (a)의 무차원화 된 수학적 모델링은 다음과 같다.

$$\left| \frac{Xk}{F} \right|_{TMD} = \sqrt{\frac{(-r^2 + \beta_1^2)^2 + 4r^2\zeta^2}{4r^2((-r^2 + 1 + \beta_1^2\mu)(-r^2 + \beta_1^2) - 4r^2\zeta\zeta_b - \beta_1^4\mu)^2 + 4r^2((-r^2 + 1 + \beta_1^2\mu)\zeta + (\zeta_b + \mu\zeta)(-r^2 + \beta_1^2) - 2\beta_1^2\mu\zeta)^2}}$$

where $r = \frac{\omega}{\omega_b}$ $\beta_1 = \frac{\omega_a}{\omega_b}$ $\mu = \frac{m_a}{m_b}$ $\zeta = \frac{c_a}{2m_a\omega_b}$ $\zeta_b = \frac{c_b}{2m_b\omega_b}$

그림 1 (b)의 무차원화 된 수학적 모델링은 다음과 같다.

$$\left| \frac{Xk}{F} \right|_{DTS} = \sqrt{\frac{(-r^2 + \beta_1^2 + \beta_2^2)^2 + 4r^2(\zeta + \zeta_s)^2}{4r^2((-r^2 + 1 + \beta_1^2\mu)(-r^2 + \beta_1^2 + \beta_2^2) - 4r^2(\zeta_s\zeta_b + \zeta_2\zeta_s + \zeta\zeta_b) - \beta_1^4\mu)^2 + 4r^2((-r^2 + 1 + \beta_1^2\mu)(\zeta + \zeta_s) + (\zeta_b + \mu\zeta)(-r^2 + \beta_1^2 + \beta_2^2) - 2\beta_1^2\mu\zeta)^2}}$$

where $r = \frac{\omega}{\omega_b}$ $\beta_1 = \frac{\omega_a}{\omega_b}$ $\beta_2 = \frac{\omega_s}{\omega_b}$ $\mu = \frac{m_a}{m_b}$ $\zeta = \frac{c_a}{2m_a\omega_b}$
 $\zeta_b = \frac{c_b}{2m_b\omega_b}$ $\zeta_s = \frac{c_s}{2m_s\omega_b}$ $\omega_a = \sqrt{\frac{k_a}{m_s}}$ $\omega_s = \sqrt{\frac{k_s}{m_s}}$

위의 식에서 질량비 및 감쇠비는 감쇠하고자 하는 구조물에 의해 결정되기 때문에 강성비 β_1, β_2 를 설계변수로 하여 동흡진기를 설계하고자 한다.

2.2 동흡진기 파라미터 해석

본 연구를 위해서 DTS 축소모델을 제작하고, 포신의 감쇠를 위해서 강성비에 대해 파라미터 설계를 수행 하였다. DTS 축소모델의 사이즈 및 1차 고유진동수는 다음과 같다.

표 1 축소모델의 사이즈 / 재질 / 1차고유진동수

Structure	Size(mm)	Material	1'st Fre.(Hz)
Barrel	600 × Ø10	Steel	21.8Hz
Shroud	520 × Ø22	VG1(PVC)	17.6Hz

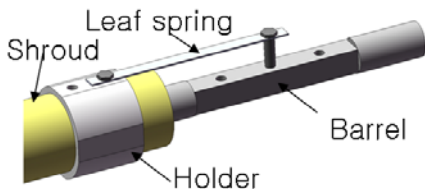


그림 2 DTS 축소모델 모델링

파라미터 해석을 위한 질량비 $\mu = 0.27$ / 2차 강성비 $\beta_2 = 0.8$ 이며, 구조 감쇠비로 $\zeta = 0.01$, $\zeta_b = 0.01$, $\zeta_s = 0.01$

로 가정 하였다. 1차 강성비에 따른 구조물의 정규화된 진폭을 나타내고 있다.

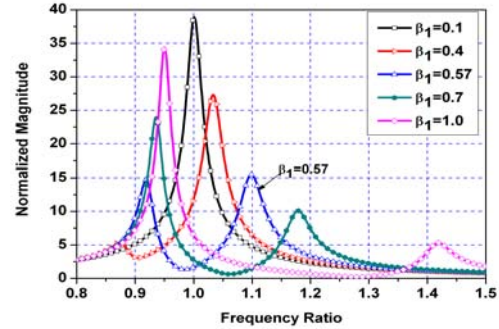


그림 3 1차 강성비에 따른 정규화된 진폭의 크기

파라미터 해석 결과 $\beta_1 = 0.57$ 일 경우 전반적으로 감쇠 성능이 좋은 구간이고, 1차 강성비(<1.0)가 증가 할수록 대역폭 특성이 좋지만 주파수비 1.0 부근에서 약간의 불안정성을 지니고 있다. 앞서 가정한 감쇠비가 변화하면 정규화된 진폭의 크기는 다르지만, 차후 실험적 모달해석을 통한 감쇠비를 계산 및 적용한다면, 좀더 정확한 1차 강성비를 산출할 수 있다.

3. 결 론

현대 전차는 기동성 및 화력증대를 목표로 개발되고 있으며, 포신의 잔류진동 저감을 위한 대책으로 차열관(shroud)을 부가질량으로 사용하는 DTS 모델 및 수학적 모델링을 제시 하였다. DTS 파라미터 해석을 위해서 구조 감쇠비는 0.01로 가정하였으며, 그 결과 1차 강성비는 $\beta_1 = 0.57$ 이다. 차후 DTS 축소모델의 모달 실험(modal experiment)을 통해서 감쇠비를 구하고, 1차 강성비에 의해 결정되는 k_a 값을 구현할 방법에 대해서 차후 논의가 필요하다.

후 기

본 연구는 (주)현대위아의 포신진동 저감기법 연구 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.