

고발사율 대공포 발사에 따른 체계자세 연구

황부일^{*†} · 이부환^{**} · 김치환^{**}

* 국방기술품질원, ** 두산 DST 연구개발본부

The System Position from High Firing Rate of Anti-Aircraft Gun system

Boo Il Hwang^{*†}, Boo Hwan Lee^{**} and Chi Hwan Kim^{**}

* Defense Agency for Technology and Quality

** Research & Design Center, Doosan DST.

(Received August 1, 2014 ; Revised February 16, 2015 ; Accepted March 31, 2015)

Key Words: Gun Vibration(포열 진동), Gun Spring(포열 스프링), Hit Probability(명중확률), Vibration Test(진동 시험), Anti-Aircraft Gun with High Firing Rate(고발사율의 대공포)

초록: 비행기 방어를 위한 대공포는 저고도 방어체제로 사용되고 있으며, 방어능력 극대화를 위해 대부분 고 발사율 대공포를 두개 이상 탑재하여 교전 시 명중률을 높이고 있다. 고 발사율 대공포의 경우, 포열진 동 및 탄의 불균형 분산은 정확한 조준사격 및 명중률에 아주 결정적인 영향을 미치게 된다. 따라서 사격 진동 및 충격량을 감소하는 구조는 대공포 체계에서는 주요 설계 대상이다. 본 연구에서는 차량의 현가장치 특성에 따라 고발사율 대공포 체계에서 발사시스템의 진동충격으로부터 차단하는 능력을 향상 시키고, Recurdyn 과 Adams 를 이용한 동적 거동해석과 실 사격 시험결과를 비교하여 명중률에 영향을 미치는 현가 형태, 위치 및 수량에 따른 체계 자세 흔들림을 예측하였다. 본 연구를 통하여 대공포에 적 합한 현가장치와 포 스프링 등과 같은 구성품을 선정할 수 있는 기초연구를 수행하였다.

Abstract: Anti-aircraft gun system is used for low-level air defense system and has more than twin guns with high firing rate in order to maximize the capability of defense. Gun's vibration and bullet's variance has a critical effect on accuracy and hit probability of weapon system such as anti-aircraft gun system with high firing rate. Typical mechanism to reduce the amount of vibration and shock during gun-fire process is very important design factor. In this paper, the suspension characteristics of the vehicle are studied for the improvement of isolating performance of gun firing system with high firing rate. Gun fire test for the vehicle is conducted and computational models using Recurdyn and Adams are created based on test results. Through this study, results of computational analysis are compared with the real test results, which includes type, location and quantity of suspension and gun mechanism are selected for anti-aircraft gun. From the result of this study, we could make basic design and consider the proper component of the system such as suspension and gun spring.

1. 서 론

군용 차량에 탑재되는 대공포와 유도탄 전자장 비의 경우, 체계 운용에 따른 주행 진동 및 포의 고속 연발사격시 발생하는 포진동과 사격충격 환 경에 노출된다. 특히 고발사율 포사격에 따른 사 격충격과 연속사격에 따른 사격진동(Gun vibration) 에 의해 전자장비와 유도탄 등의 주요 구성품이

불안정한 상태에서 운용될 경우, 대공포의 사격명 중률, 정밀조준능력, 추적 정밀도와 정밀 전자장비 의 내구성 등에 치명적 영향을 미치게 된다. 따라 서, 포 연발 사격 후 장비의 안정화 시간을 단축 하고 차량의 주행진동 과 사격충격력 전달을 저감 시키기 위한 현수장치에 대한 안정화에 대한 연구 가 필요하다. 또한 사격충격으로부터 장비를 보호 하기 위한 별도의 방진구조의 적용에 대한 연구가 추가로 필요하고, 각 장비별 특성에 맞는 방진장 치와 충격완화기구가 요구된다.

† Corresponding Author, good4day@naver.com

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

차량의 현수장치는 주행 진동시 노면으로부터 장비로 전달되는 진동에너지를 감쇠시키기 위한 장치로 적절한 현수장치를 선정하기 위해서는 장비의 중량, 크기, 무게중심, 위치 및 수량, 사용 환경과 같은 여러 가지 요소들이 고려되어야만 한다.

본 연구에서는 전장 환경과 장비운용특성을 감안하여 기존 장비에 적용된 현수장치를 이용하여 포의 고속연발사격에 따른 진동 및 충격 특성을 해석 프로그램을 통하여 사전 예측하고 실장비 개발시 예측 해석값에 대한 검증을 위한 실사격 시험을 수행하였다.

CAD 및 CAE 상용 S/W 인 CATIA 를 이용하여 3D 모델링을 수행하고, 궤도형 실차 시험결과를 토대로 강성(stiffness)과 감쇠(damping)값을 해석모델에서는 조절하여 시험 결과와 유사한 특성을 얻을 수 있도록 전산모델을 구축하였다. 동특성 해석을 위해 사용된 상용 S/W 로는 궤도형 차량의 경우 Recurdyn 을 사용하고, 차륜형 차량은 Adams 를 사용하여 해석을 수행하였다.

전산모델은 무장이 탑재되는 상부와 차량의 하부구조로 이원화하여 모델링 및 특성값 비교를 수행하였다. 차량에 대해서는 특히 개발된 장비의 현수장치의 장착위치 및 수량 등의 계수 값을 입력하여 사격에 따른 진동/충격 특성을 비교하였고, 실 체계의 무게중심에 따른 영향성을 고려하여 해석시 실 체계의 무게중심을 해석모델에 적용하여 해석과 시험 값을 검증하고자 하였다.

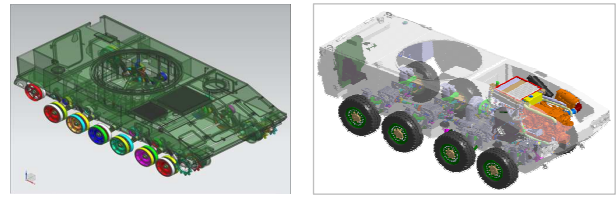
2. 전산해석 수행

시험결과와 유사한 특성의 전산모델을 구축하기 위해 CATIA V5 를 이용해 궤도차량 및 차륜차량의 현수장치, 차량, 주무장, 포, 유도탄, 포탑구조물등을 3D 모델링하고, 전산해석을 위한 요소 모델링 및 경계조건 설정은 궤도형 및 차륜형 모델에 적용된 RECURDYN 및 ADAMS 에서 각각 수행하였다.^(1,2)

현수장치 장착위치에 스프링과 댐퍼(Spring & Damper)를 적용하여 차량과 현수장치, 궤도 또는 타이어와 연결하였다. 실 사격시험시에는 해석시 분석한 동일한 위치에서의 응답 값을 추출하였다. 실제 현수장치 강성 및 감쇠는 비선형 특성을 가지고 있으나 해석과정상 선형으로 가정하였다.⁽¹⁾

2.1 전산 모델링

본 연구에서 동역학 모델은 작동부분을 중심으



(a) Tracked vehicle

(b) Wheeled vehicle

Fig. 1 Vehicle modeling for analysis

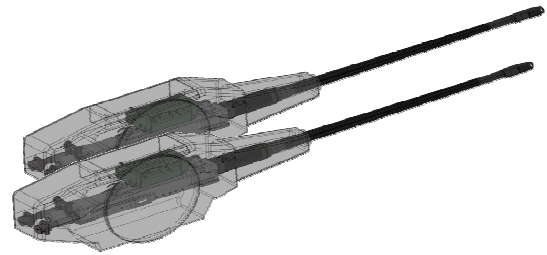


Fig. 2 Gun modeling & recoil force

로 크게 두 부분(Gun Turret, Suspension Vehicle)으로 나누어서 작업한다. 첫 번째 부분은 포(Gun)가 포함된 상부 포탑(Gun Turret)이고, 두 번째 부분은 체계의 운행 부분이 있는 하부현가 차량(Suspension Vehicle)부분이다(Fig. 1 참조). 이렇게 두 부분으로 나누어 작업함으로써 각 부분별 해석도 가능하고, 하부의 차량 모델 변경 시 전체 모델 수정 없이 상부 또는 하부 모델의 부분 수정으로 제 2, 제 3 의 변형된 체계 시리즈에 대한 모델 해석 및 차기형 개발예정인 체계에 대한 해석이 가능하 이점이 있다.

하부의 현가차량은 Fig. 1 과 같이 차량구조물과 하부 현가장치 및 궤도 또는 타이어들로 구성하게 된다.

상부 구조물의 해석 모델은 모든 부품이 강제 모델로 구성되었기 때문에, 사격해석 시에 각 부분의 연결부의 특성이 해석 결과에 많은 영향을 미친다. 각 부품들의 연결부를 모두 고려하는 것은 현실적으로 불가능하므로 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 포 조립체(Fig. 2 참조), 포탑(turret) 연결부, 그리고 상부 구조 전체와 하부 구조물의 연결부를 고려 대상으로 선정하여 해석을 진행하였다. 입력값으로는 Fig. 3 과 같이 포(gun)의 5 연발 사격 가진력을 입력하였고 부싱포스를 사용하여 상부와 하부 차량의 연결부를 구성하였다. 부싱포스는 스프링과 동일한 특성으로 생각하면 되지만 6 개 방향을 모두 고려할 수 있는 장점이 있어서 본 모델 구성에 사용하였다. 부싱 포스를 32 개로 구성한 이유는 개수를 조정해 가면서 영향을 고찰하기 위함이다.

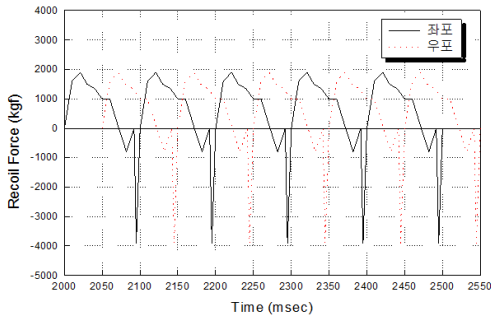


Fig. 3 Gun recoil force pattern (5 firing mode)

2.2 관해석(Correlation)

구성한 모델은 강체 모델이므로 정확한 상관해석작업에는 한계가 있다. 유사장비의 5 발 실험 결과를 참조하여 상관해석을 진행하였다. 우선 부상포스 개수를 선정하는 과정을 진행하였다. 추가적으로 개수를 늘려 64 개와 128 개 부상 포스를 연결한 경우에도 32 개와 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.(Table 1 참고)

모델링 효율적인 측면에서 상부 모델과 하부 구조 연결부 부상포스 개수를 32 개로 선정하였다. 부상포스는 두 강체를 1 점에서 연결하는 6 자유도 요소로 스프링과 동일한 특성으로 생각하면 되지만 6 개 방향을 모두 고려할 수 있는 장점이 있어서 본 모델 구성에 사용하였다. 그리고, 포탑 중앙부는 질점 조인트로 연결하여 3 개의 회전자유도로 회전을 구현하는 것이 효과적이므로 포탑 중앙부의 회전 구현을 위해 적용하였다.(Fig. 4 참고)

2.3 상부구조물 사격거동 해석결과

상부 모델에서 선정한 값들과 부상포스 변수값을 입력하여 사격해석을 수행하였다. 측정점은 포탑부 상부질점으로 최종적으로 결정된 값에 의한 응답결과는 Fig. 5 와 같이 실사격 실험과 해석결과는 사격방향의 수직방향 응답이 커지는 현상이 동일하고 가속도 응답 모양(Envelop)의 최대값은 10g 부근으로 유사함을 알 수 있다.

해석결과를 보면 가속도 응답결과의 모양(Envelop)은 동일하나 최대값(Peak)이 발생하는 점들에서 가속도 크기는 2-5 g 정도의 차이를 보인다. 그 이유는 강체모델로 구성되었고, 모든 연결부의 정확한 구현이 불가능하여 실제 발포의 순간 발생하는 가속도에 대응하는 응답을 정확하게 도출하기가 어렵고, 실제 실험에서는 상부포탑을 고정하기 위한 하부 마운트 및 하부차량 형태의 영향으로 실제 실험 진동주파수가 해석결과와 상이하게 나타나는 것으로 판단된다.⁽³⁾

Table 1 Acceleration response according to bushing force number in turret system

| Bushing NO. | L1 | L2 | Condtions |
|-------------|--------|--------|----------------------------------|
| 128 | 83,538 | 96,623 | Gun Spring k=1,100 c=0.001 |
| 64 | 84,422 | 97,494 | |
| 32 | 81,053 | 95,195 | |

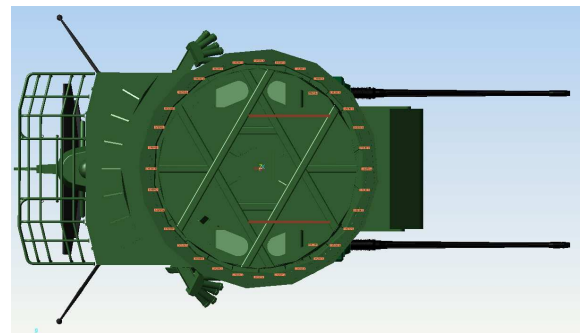


Fig. 4 Bushing force and point joint at turret modeling

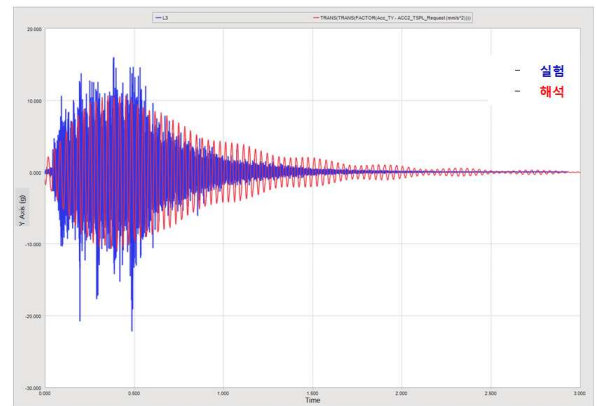


Fig. 5 Acceleration response of upper structure with 5 firing mode

2.4 구조물 사격거동 해석결과

2.3 항에서는 상부 구조만을 이용하여 사격 해석을 수행한 결과를 기준으로 모델을 구성하였다.

상부 구조만을 이용한 해석에서는 하부 구조물이 고정되어 있다는 전제하에 해석을 수행하였지만 전체 모델에서는 하부 구조물의 움직임이 차량의 현가장치 영향으로 인해 증폭되어 유사장비의 실험 결과와 동일한 값을 얻을 수는 없으나 그 경향이나 수준은 유사한 것으로 판단된다. 차륜형 차량의 범퍼 스톱퍼 및 스프링과 같은 현가장치에 대한 기본적인 모델링은 Fig.6 과 같이 설정하였다.

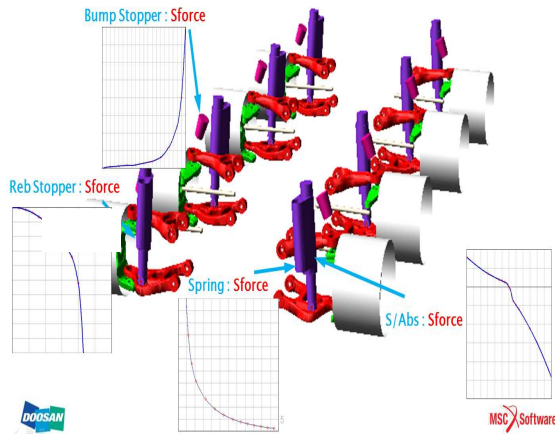


Fig. 6 Suspension model of wheeled vehicle

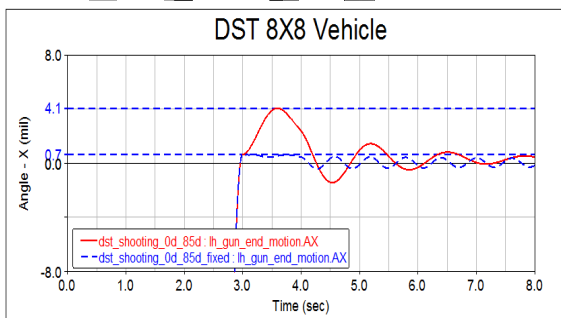
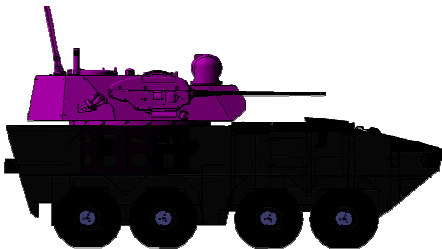


Fig. 7 Response pitching angle of wheeled vehicle

궤도 및 차륜 차량의 형식에 따라 각각의 모델링에 현가장치의 변수 값을 적용하여 차륜형 차량의 경우 Adams(Fig. 7 참조)와 궤도형 차량의 경우 Recurdyn(Fig. 8 참조)으로 고속 연발사격에 따른 차량의 거동 해석수행을 하였다. Fig. 7 은 Adams S/W 를 이용한 포탄 사격에 따른 차량의 회전각을 해석한 결과로 초탄 발사후 4.1 mil 정도의 회전후 안정화 되는 경향을 확인할 수 있다. (참고로 군용단위인 mil 값은 360 도를 6400 등분한 단위이다. 즉 1 도는 약 17.78 mil 에 해당한다고 볼 수 있다.) 일 경우 이는 차량의 현가장치 특성상 궤도현가장치 대비 스프링값과 감쇄값 특성상 초기 유동이 심한 것으로 판단된다.

Fig. 8 은 궤도차량에 대해 동일하게 적용한 경우로 초기 3.0 mil 정도 피칭 회전후 일정 간격으로 충격흡수를 하고 있음을 볼 수 있다.

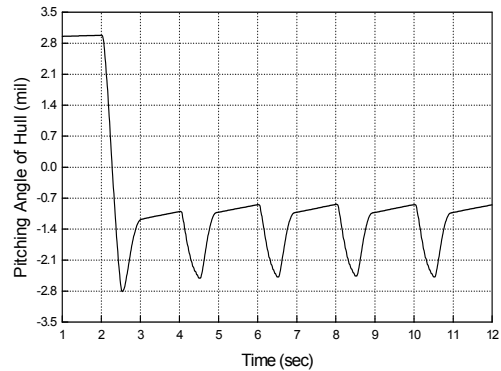
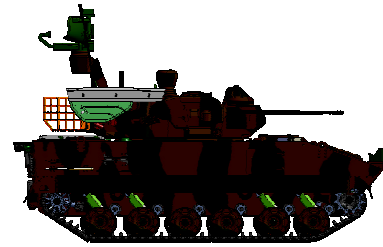


Fig. 8 Response pitching angle of tracked vehicle



Fig. 9 Acceleration sensor at turret structure

3. 사격시험

3.1 시험 조건

실 체계의 사격시험 조건에 따라 주무장을 배치하고 해당체계를 사격장에 고정 후 시험데이터 획득용 획득장비와 가속도 센서(Fig. 9)를 주요 부위에 장착하여 시험을 수행한다.

사격시험 시 실 전투체계의 발수 모드를 반영하여 시험을 구현하고자 점사크기를 5 발모드로 사격시험을 수행한다(5 발모드는 좌/우 각 5 발 발사로 실제 10 발이 사격하게 된다. 고속 발속은 분당 1200 발의 발사되는 고속연발 사격으로 수행).

3.2 시험 결과

사격시험 결과는 전산해석의 결과에 보정값 및 기준치를 제공하고, 향후 기존 플랫폼을 이용한 차기형 체계개발 자료의 기초 데이터로 활용할 예정이다.

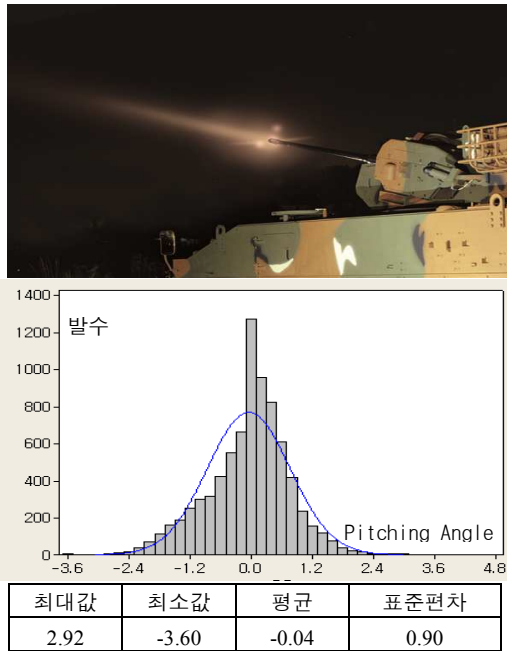


Fig. 10 Firing disturbance factor (tracked vehicle)

Fig. 10 은 실제 궤도형 무장체계에서 5 발 모드의 실 사격시험 결과로 실제 명중률과 직접 연관된 사격외란 데이터이다. 실사격 시험시 획득된 피크값(3.6mil, Fig. 10 참고)은 본 연구의 동특성 해석 결과값(3.0mil, Fig. 8 참고)과 0.6mil 차이범위에서 유사한 것으로 판단된다. 이 오차는 실제모델과 해석모델의 질량과 무게중심차이, 해석모델의 경우 강체 모델로 구성되었고, 연결부의 구현차이와 실제 발포의 순간 아주 짧은 시간에 발생하는 가속도에 대응하는 응답을 해석모델에서 정확하게 수행하기는 어렵기 때문이다. 강체모델 Fig. 10 은 실제 차량에서 사격시험을 통해 사격시 흔들림을 예측할 수 있는 사격외란 데이터의 분산 및 산포를 수집한 자료이다. 현재 실물 차량 개발진행 예정인 차륜형 차량은 실물 시제 제작시 해석결과를 바탕으로 실차 시험을 수행하여 해석결과와 실차 실험결과를 비교 검증하여 해석모델의 타당성을 검증하고 관련 변수들을 검증할 예정이다. 본 연구에서 검토된 궤도차량의 해석모델은 실차를 이용한 사격 실험을 통해 해석모델의 유효성을 입증하였다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 궤도형 차량과 차륜형 차량의 전산모델링 및 흔들림에 대한 자세값을 해석으로 예측하였고, 예측된 해석값과 실제 궤도형 차량에서 실 사격시험을 수행하여 궤도형 차량의 해석결과값과 실차 실험결과를 확인하였다. 해당 결과를 이용하여 향후 개발될 신형 차량차량에서 실제 사격특성과 유사한 특성의 전산모델을 구축하고, 해석방법을 확보하였다. 본 연구의 궤도형 차량의 실험 결과값의 가속도 진폭값은 해석 결과와 0.6mil 오차범위에서 유사한 결과를 획득하였으며, 실차 사격시험결과가 해석 결과보다 다소 높게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 실제모델과 해석모델의 질량 차이와 무게중심 차이, 강체 모델링 오차 등에 의한 영향이 있는 것으로 판단된다. 향후 신형 차륜차량 개발시 본연구에서 수행한 사격충격, 연속사격에 의한 포 진동(Gun Vibration)해석을 통한 실차 흔들림을 기준으로 차륜차량의 현가장치 설계 목표값을 설정할 수 있으며 명중률에 최적화된 현가장치를 구현할 수 있게되었다. 본 연구에서 검토된 차륜차량 해석모델은 향후 실물 시제가 제작될 경우, 실차 실험 수행하여 본 연구에서 수행한 해석모델에 대한 타당성을 검증할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌 (References)

- (1) Kim, H.-W., Lee, C.-H., Hong, S., Choi, J.-S., Yeu, T.-K. and Min, C.-H., 2007, "A Study on Steering Performance of Tracked Vehicle Being Composed of Four Tracks on Extremely Cohesive Soft Soil by Using RecurDyn," *KSAE*, Vol.2, pp.709~715.
- (2) Song, O.-S. and Nam, K.-M., 2009, "Vibration Analysis of a Heavy Truck via Road Tests," *The Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 12, No.3, pp. 266~271.
- (3) Kim, J.-H., Choi, B.-M. and Woo, H.-G., 2000, "Tracked Vehicle Vibration Environmental Comparison Using Fatigue Damage Spectrum," *The Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 3, No.5, pp. 191~197.