

연식주퇴 시스템 축소 모델에 대한 ADAMS 해석

ADAMS Simulation on the Scale Model of the FOOB System

김 종 혁* 배 재 성** 황 재 혁**
Jong-Hyuk Kim Jae-Sung Bae Jai-Hyuk Hwang

Abstract

Due to the improvement of science technology, the future tank system will have the multi-function for more powerful firing, and the tank, mounted this multi-function, must be lighter to maintain the mobility. Therefore, new recoil technology would be necessary to reduce the recoil force for lighter platform. The present study covers a FOOB(Fire-Out-Of-Battery) system that can reduce the recoil force dramatically. The firing sequence of the FOOB system is radically different from that of a conventional system. The gun is latched in out-of-battery position prior to firing. As soon as firing is occurred, the gun is unlatched and accelerated. The forward momentum is imparted to the recoiling parts. This momentum is opposed by the ballistic force imparted by firing and the recoil force and recoil length will be reduced. In this study, the ADAMS simulation has been performed with the scale model of the FIB(Fire-In-Battery) system and the FOOB system. The ADAMS simulation results show that the FOOB system could reduce the operating time and recoil length and the recoil force.

Keywords : 연식주퇴, FOOB(Fire-Out-Of-Battery), FIB(Fire-In-Battery)

1. 서론

과학 기술이 발전 되어감에 따라 미래의 전차는 향상된 파괴력을 위해 대구경화 및 고폭탄화, 사거리 연장장으로 인해 무게가 증가된 다기능 무장 포신을 플랫폼에 장착할 수 있어야 한다. 이에 따라 다기능 무장 포신을 장착하고서도 기존의 기동성을 유지하기 위해서는 플랫폼의 경량화가 필요하다. 반면에 이러한 경

량화 플랫폼으로는 향상된 화력에 따른 사격충격력을 감당할 수 없으므로, 사격충격력의 크기를 기존에 비해 경감시킬 수 있는 새로운 개념의 주퇴제어기술 개발이 필요하며 연식주퇴 기술이 해결 방안으로 주목 받고 있다.

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 기존의 주퇴 시스템(FIB System : Fire-In-Battery System)과는 달리 연식주퇴 시스템(FOOB System : Fire-Out-Of-Battery System)은 전방 가속에 의해서 주퇴부는 전방 운동량(Forward Momentum)을 지니게 된다. 이러한 전방 운동량은 추진제 폭발에 의한 충격력과 방향이 반대가 되는 주퇴 저항력으로 작용하기 때문에 동일한 사격 조건 내에서 기존 주퇴 시스템 대비 주퇴력과 주퇴거리가 감소하

† 2010년 12월 7일 접수~2011년 1월 20일 게재승인

* 한국항공대학교 항공우주및기계공학부 대학원

** 한국항공대학교 항공우주및기계공학부

책임저자 : 배재성(jsbae@kau.ac.kr)

는 효과를 지니게 된다. 이러한 연식주퇴 개념의 최초 적용^[1,2]은 1906년 프랑스의 “Schneider-Ducrest cannon 65 de Montagon Model”로 알려져 있으며, 미국의 경우는 50년이 지난 후, Rock Island Arsenal에 의해서 M101 견인포에 연식주퇴의 개념이 처음 적용되었다. 이후 STEVEN^[3]는 탱크의 FOOB와 FIB를 비교하였고 Robert Gritton과 Arnold A. Kester 등^[4]은 XM204 105 mm FOOB 유탄포의 초기 개발 계단의 설계, 테스트와 평가를 요약하였다. ER유체(Electro-Rheological Fluid)가 사용된 탬퍼를 적용한 연식주퇴장치의 시제품인 Viper가 1990년대 중반에 RIA(Rock Island Arsenal)에 의해 개발되었다. 국내에서는 황재혁 등^[5]에 의해 사격충격력 저감을 위한 연식주퇴 시스템에 대한 기초 연구가 이루어졌고, 신철봉 등^[6~8]에 의해 독립형 주퇴장치와 연식주퇴 시스템 동특성 및 오류모드 제어에 대한 연구가 수행되었다. 또한, 박선영 등^[9,10]에 의해 연식주퇴 시스템의 사격충격력 저감을 위해 주퇴제어 오리피스 설계와 전방운동량에 관한 연구가 수행되었다.

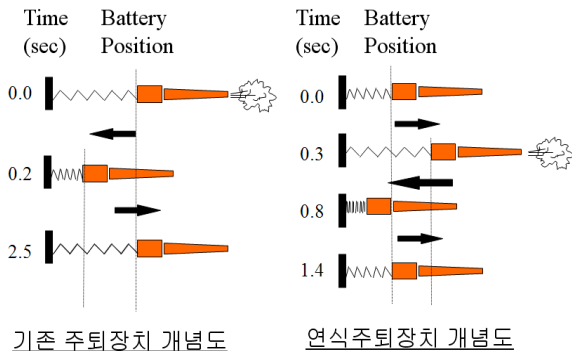


Fig. 1. 주퇴장치의 개념도

현재 국내에서는 국방과학연구소를 중심으로 연식주퇴 시스템의 기술 도입과 실현을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 연식주퇴 시스템의 기본적인 주퇴 운동 특성을 확인하기 위하여 축소 모델에 대해서 ADAMS 해석을 수행하였다. 실제 연식주퇴 시스템에서는 주퇴력 및 주퇴거리를 요구사항에 맞추기 위해 주퇴 제어가 필요하나 본 연구에서는 단순 스프링-댐퍼 주퇴장치를 적용하여 모델을 단순화 하였다. 기존 주퇴 시스템에 가해지는 포미반동력(Breech Force)을 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 축소 모델에 맞도록 축소하여 포미반동력을 적용하였고, 상용 스프링-댐

퍼에 대해 동특성 실험을 수행하여 ADAMS 축소 모델에 적용되어질 스프링 계수 및 감쇠 계수의 기준 값을 얻었다. 이러한 기준 값을 이용하여 ADAMS 축소 모델에서 기존 주퇴 시스템 및 연식주퇴 시스템에 맞는 계수 값으로 변경함으로써 각 시스템이 우수한 성능을 갖도록 하였으며, 두 시스템의 주퇴 운동 특성을 비교하였다.

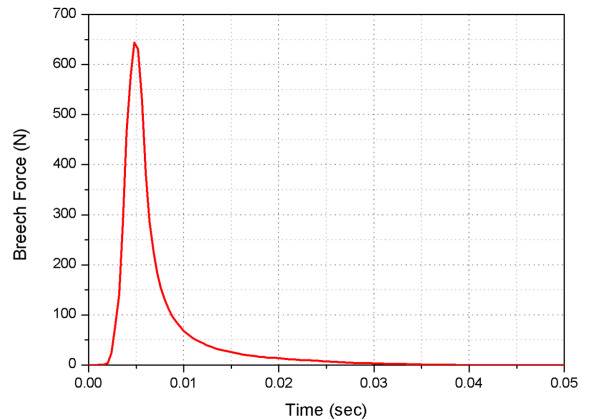


Fig. 2. 주퇴 시스템 축소 모델에 적용된 포미반동력

2. 주퇴 시스템 축소 모델

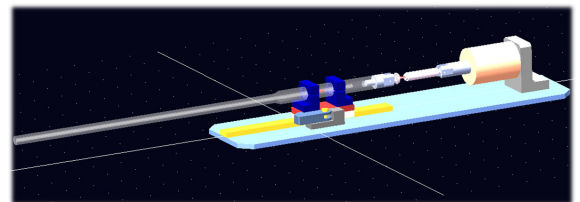


Fig. 3. ADAMS에 적용될 주퇴 시스템 축소 모델

ADAMS 해석에 적용되어진 주퇴 축소 모델을 Fig. 3에 나타내었다. 본 모델은 크게 배럴(Barrel), LM 가이드, 배럴과 LM 가이드를 연결해주는 커넥터(Connector), 스프링-댐퍼, 지그(Jig)로 구성된다. 이러한 주퇴부를 이루는 각 부품들의 질량을 Table 1에 나타내었다. 실제 연식주퇴 모델의 경우에는 전방가속에 대한 저항력을 줄이기 위한 바이패스, 주퇴 시 주퇴력의 효율적인 제어를 위한 가변 오리피스 등 연식주퇴 성능을 최적화하기 위한 여러 추가적인 요소들이 존재한다. 반면에 본 축소 모델에서는 단순히 연식주퇴의 기본적인 주

퇴 운동 특성을 확인하고자 하므로 순수 스프링에 의해 댐퍼에 의한 감쇠력을 극복하고 전방으로 가속하게 되며 일정한 오리피스 면적을 갖는 댐퍼를 적용하였다.

Table 1. 주퇴부를 구성하는 부품들의 질량

품명	질량 (kg)
배럴	0.35
배럴 홀더	0.072
LM 가이드 블럭	0.116
LM 가이드 연결부	0.286
댐퍼 연결부	0.027
댐퍼 전방부품	0.0072
계	0.8582

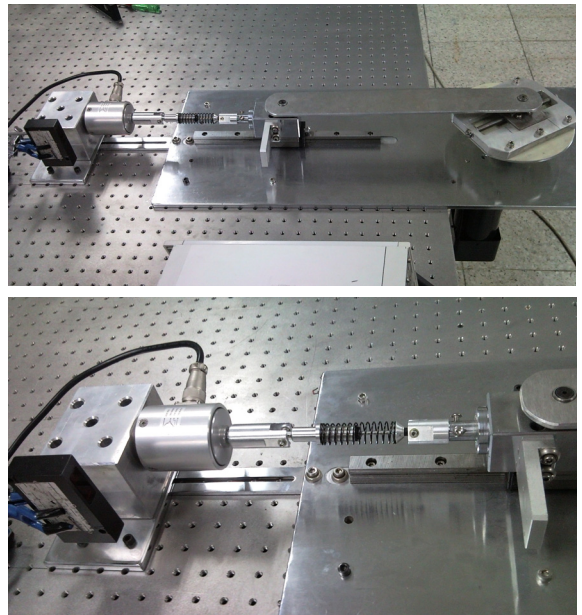


Fig. 5. 스프링-댐퍼의 동특성 실험 구성

3. 축소 모델에 적용될 스프링-댐퍼 모델

본 모델에 적용된 스프링-댐퍼는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 원격제어용 자동차의 서스펜션으로 사용되는 124mm의 스트로크(Stroke)를 지니는 상용 제품을 사용하였으며, 이에 대한 동특성 실험을 수행하기 위해 Fig. 5에 나타난 바와 같이 가진 실험을 구성하였다. 가진기를 이용하여 정현파(Sinusoidal Wave)로 가진을 주었으며, 각 끝 부분의 상대적인 변위를 레이저 변위 센서를 사용하여 측정하였다. 또한 스프링-댐퍼가 갖는 힘을 로드셀(Load Cell)을 이용하여 측정하였다. 스프링 계수를 측정하기 위해 각 고정 변위에서의 힘을 측정함으로써 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 선형적으로 증가되는 경향의 결과를 얻을 수 있었으며 이를 선형 근사(Linear Fitting) 함으로써 직선을 구할 수 있었다. 이렇게 얻은 직선의 기울기를 구함으로써 0.5340×10^3 N/m의 스프링 계수 값을 얻었다.



Fig. 4. 주퇴 시스템 축소 모델에 사용된 댐퍼, 스프링

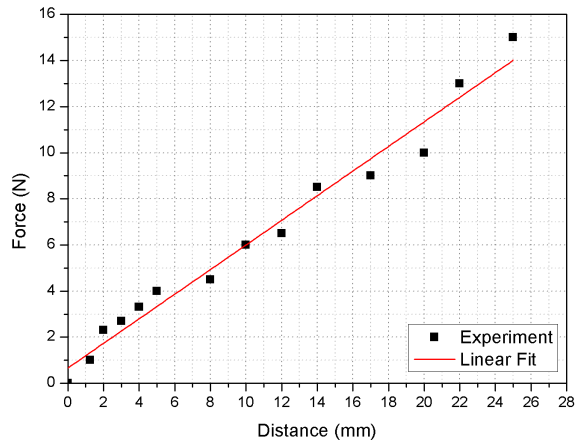


Fig. 6. 스프링 계수 실험 결과

댐퍼의 감쇠계수를 측정하기 위해서, 기존의 결합되어 있던 스프링과 댐퍼를 분리하여 댐퍼에 대해서만 동특성 실험을 수행하였다. 가진 주파수를 1Hz에서 2Hz로 0.2Hz씩 증가시켜가며 실험을 수행하였으며, 이로 부터 Fig. 7과 8의 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 8의 속도-감쇠력 그래프를 선형 근사 하여 감쇠계수를 구하였다. Table 2에서 나타난 바와 같이 각 주파수에 대한 감쇠계수를 얻었으며 이러한 결과에서 알 수 있듯이 주파수의 증가에 따라 감쇠계수가 증가되는 특성을 지

니고 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 주퇴 시스템 축소 모델에 적용되어질 감쇠계수는 이보다 더 큰 값이 될 것으로 예상되어진다.

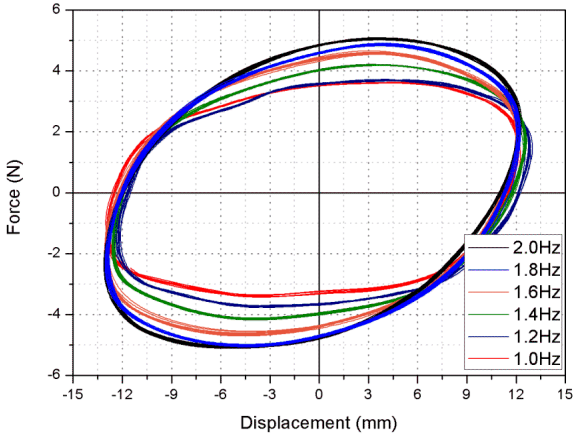


Fig. 7. 댐퍼 동특성 실험, 변위-감쇠력 그래프

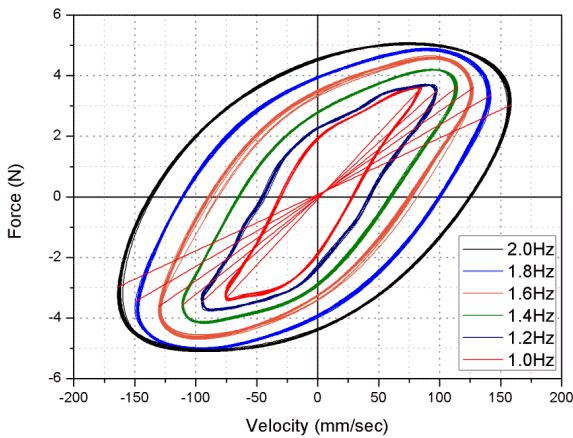


Fig. 8. 댐퍼 동특성 실험, 속도-감쇠력 그래프

Table 2. 댐퍼의 동특성 실험 감쇠계수 결과

주파수 (Hz)	1.0	1.2	1.4
감쇠 계수 ($\times 10^3 \text{N}\cdot\text{sec}/\text{m}$)	0.01825	0.02353	0.02815
주파수 (Hz)	1.6	1.8	2.0
감쇠 계수 ($\times 10^3 \text{N}\cdot\text{sec}/\text{m}$)	0.03198	0.03626	0.04335

4. 주퇴 시스템 축소 모델 ADAMS 해석

주퇴 시스템 축소 모델에 대해 ADAMS 해석을 수행하였으며, FOOB에 대한 해석에 앞서서 기존의 주퇴 시스템인 FIB에 대해 해석을 수행하였다. 이에 대한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 주퇴부와 고정단 간에 스프링-감쇠 요소를 통해 스프링-댐퍼 모델을 적용하였다. 이때의 스프링 계수는 ADAMS 모델에서 우수한 주퇴 성능을 지니도록 실험을 통해 얻은 기준값($0.5340 \times 10^3 \text{N/m}$) 보다 큰 $0.6211 \times 10^3 \text{N/m}$ 의 값을 적용하였으며, 감쇠계수 또한 마찬가지로 실험을 통해 얻은 기준 값 보다 큰 $0.0625 \times 10^3 \text{N}\cdot\text{sec}/\text{m}$ 의 값을 적용하였다.

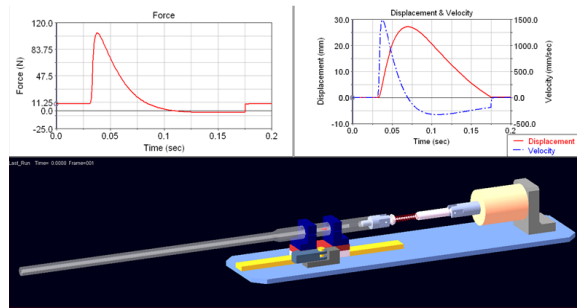


Fig. 9. 연식주퇴 축소 모델 ADAMS 해석, FIB의 경우

FIB의 경우에 대한 해석 조건 및 주요 결과 값들을 Table 3에 정리하였다.

Table 3. FIB의 경우, ADAMS 해석 조건 및 결과

해석조건	스프링 계수	$0.6211 \times 10^3 \text{N/m}$
	압축 길이	15mm
	감쇠 계수	$0.0625 \times 10^3 \text{N}\cdot\text{sec}/\text{m}$
결과	최대 힘	105.23N
	최대 주퇴 거리	27.23mm
	최대 주퇴 속도	1485.38mm/sec

다음으로 FOOB에 대한 해석을 수행하였으며 이에 대한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 해석 조건으로 기존의 FIB의 경우와 같은 스프링 계수($0.6211 \times 10^3 \text{N/m}$)를 적용하였으며, 주퇴부를 전방 가속시키기 위해서 기존의 FIB의 스프링 압축길이인 15mm에서 60mm로

증가시켜 적용하였다. 이렇게 고정된 스프링의 특성에 대해서 감쇠 계수를 변화시켜 FOOB 해석을 수행함으로써 주퇴 운동 특성이 우수하게 나타나는 감쇠계수 ($0.0125 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{sec}/\text{m}$)를 얻을 수 있었다. 이 값은 FIB의 감쇠계수 값 ($0.0625 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{sec}/\text{m}$) 보다 5배 작은 값이다. 이는 기존의 주퇴 시스템에 비해 연식주퇴 시스템에서의 댐퍼가 작아질 수 있음을 의미하며, 이와 동시에 더 작은 주퇴력을 지니므로 연식주퇴 시스템을 적용함으로써 플랫폼의 경량화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다. 이를 다시 정리하면 FIB의 경우 포미반동력에 의한 충격량의 전부를 스프링-댐퍼가 모두 감당해야 하지만, FOOB의 경우는 전방운동량에 의해 포미반동력에 의한 충격량이 약 37.7% 가량 상쇄되어지므로 FIB 보다 더 작은 댐퍼의 사용이 가능하다. FOOB의 경우에서의 해석 조건 및 주요 결과 값들을 Table 4에 정리하였다.

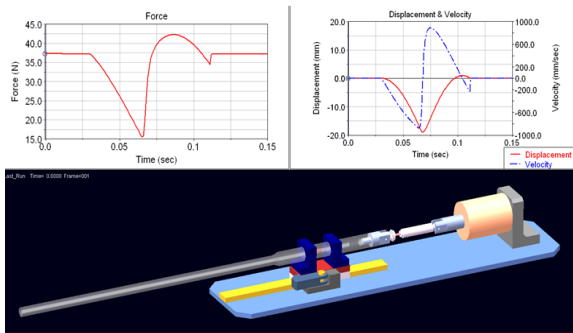


Fig. 10. 연식주퇴 축소 모델 ADAMS 해석, FOOB의 경우

Table 4. FOOB의 경우, ADAMS 해석 조건 및 결과

해석 조건	스프링 계수	$0.6211 \times 10^3 \text{N}/\text{m}$
	압축 길이	60mm
	감쇠 계수	$0.0125 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{sec}/\text{m}$
결과	최대 힘	42.31N
	최대 전방가속 거리	18.99mm
	최대 전방가속 속도	879.38mm/sec
	최대 주퇴 속도	890.85mm/sec
	전방운동량과 포미반동력에 의한 충격량의 비	0.377

FIB와 FOOB, 두 경우의 결과를 보다 확연히 비교하기 위해 이들의 결과를 Fig. 11에 정리하여 나타내었다. 전반적으로 주퇴완료시간, 주퇴거리, 최대주퇴속도, 주퇴력의 모든 결과에서 FOOB가 FIB에 비해 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 먼저 주퇴완료시간의 경우, FIB가 0.175sec인 반면에 FOOB는 0.112sec로 약 36% 감소하였다. 주퇴 속도의 경우, FIB가 약 1500mm/sec인 반면에 FOOB의 경우는 약 900mm/sec로 약 40% 가량 감소하였으며, 마지막으로 주퇴력의 경우, FIB는 약 106N이며 FOOB는 약 42N으로 약 60% 가량 크게 감소하였다. 이러한 결과들을 보았을 때, 단순히 스프링-댐퍼로만 이루어진 기본적인 주퇴 시스템 축소 모델에서도 FOOB가 FIB에 비해 매우 우수한 성능을 지님을 확인할 수 있다.

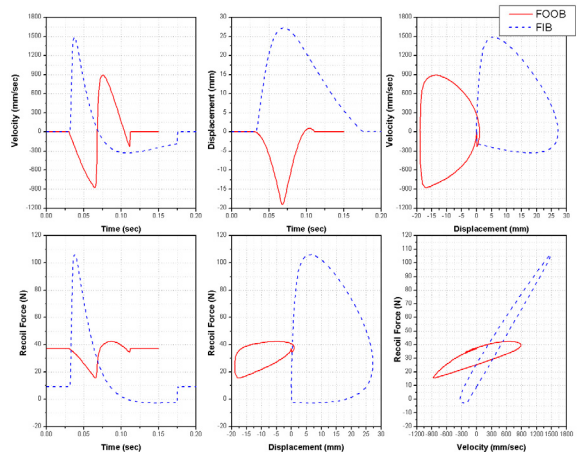


Fig. 11. FIB와 FOOB의 주퇴운동특성 비교

5. 결론

본 연구에서는 국내에서의 연식주퇴 시스템의 구현을 위한 연구가 진행 중에 있으며, 이에 앞서 연식주퇴 시스템의 기존 주퇴 시스템 대비 향상된 주퇴 운동 특성을 확인하기 위하여 축소 모델에 대해서 ADAMS 해석을 수행하였다. 축소 모델의 주퇴부가 지니는 질량 특성을 고려하여 실제 주퇴 시스템에 가해지는 포미반동력을 축소시켜 적용하였으며, 스프링-댐퍼 주퇴 복좌기로 상용 제품을 선정하여 이에 대한 동특성 실험을 수행함으로써 얻은 스프링 계수 및 감쇠 계수를 기준 값으로 FIB와 FOOB 각 경우에 맞는 스프링 계

수 및 감쇠 계수 값을 적용하였다. ADAMS 해석 결과, FOOB의 경우가 FIB의 경우 보다 상당량 포미반동력에 의한 충격량을 감소시키는 데 효과적이며, 이로부터 주퇴완료시간, 주퇴속도, 주퇴력 등이 상당히 감소하였고, 주퇴력의 경우 60% 가량 크게 감소하였음을 확인하였다. 이러한 ADAMS 축소 모델에 대한 해석 결과로부터 연식주퇴 기술을 적용함으로써 기존 주퇴 시스템 대비 사격충격력의 크기를 경감시키고, 이로부터 플랫폼의 경량화를 이룰 수 있는 해결방안임을 본 연구를 통해 확인 할 수 있다. 따라서 연식주퇴 기술은 미래 전장에서 전차의 전투력을 크게 향상 시킬 수 있는 차세대 기술이며, 향후 계속해서 연구될 필요성과 가치가 있는 기술이다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 기초연구 연구비 지원(ADD-07-05-02)에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- [1] Michael C. Nerdahc, Jerry W. Frantz - Mathematical Models for Engineering Analysis and Design of Howitzer, Light, Towed; 105mm Soft Recoil, XM204 : Rock Island Illinois 61201, May 1973.
- [2] Harvey Garver, Arnold A. Kester - Final Report An Investigation Of The Firing Out-Of-Battery Principle On A Field Artillery Weapon : Rock Island Arsenal Rock Island, Illinois, April 1964.
- [3] STEVEN E. SPARKLIN - Feasibility Study of Soft Recoil for Tank Application : Armored Weapon Systems Directorate Rock Island Weapons Laboratory, November 1972.
- [4] Robert Gritton, Arnold A. Kester - Initial Engineering Design and Test Effort On The XM204 Advanced Development Model : Rock Island Weapons Lab Army Weapons Command Rock Island, Illinois 61202, August 1979.
- [5] 황재혁, 배재성, “사격충격력 저감을 위한 연식주퇴 제어 모델링 기법 연구”, 최종 보고서, 국방과학연구소, ADDR-519-081862, 2009.
- [6] 신철봉, “사격충격력 저감을 위한 연식주퇴 제어 모델링 기법 연구”, 석사학위논문, 한국항공대학교, 2009년 2월.
- [7] 신철봉, 배재성, 황재혁, 강국정, 안상태, 한태호, “사격충격력 저감을 위한 연식주퇴계의 제어”, 한국소음진동공학지, Vol. 18, No. 7, pp. 764~774, 2008.
- [8] 신철봉, 배재성, 황재혁, 강국정, “연식주퇴 시스템의 동적 특성 해석”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 11, No. 4, pp. 13~19, 2008.
- [9] 박선영, “사격충격력 저감을 위한 연식주퇴시스템 설계에 관한 연구”, 한국항공대학교, 석사학위논문, 2010.
- [10] 박선영, 배재성, 황재혁, 강국정, 안상태, “연식주퇴 시스템의 전방운동량에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 13, No. 6, pp. 976~981, 2010.