

## MR 댐퍼를 이용한 고충격 시스템의 완충 특성

김효준\*(삼척대 기계공학과), 김상균(연세대원), 최의중, 이성배(국방과학연구소), 홍계정, 오세빈(대우정밀)

### Study on Dynamic Absorbing System using MR Damper in High Impulsive Force System

H. J. Kim(Mech. Eng. Dept., SNU), S. K. Kim(YSU), E. J. Choi, S. B. Lee(ADD), K. J. Hong, S. B. Oh(DP Ltd.)

#### ABSTRACT

In this study, the dynamic absorbing system using MR damper for the multiple structure system with high-level-impact force has been investigated. Based on the experiment and analysis of short recoil system, the dynamic absorbing system has been constructed by using MR damper and stroke-dependent variable damper. Through a series of experimental works with the devised test bench, the absorbing system with MR damper using reverse control is effective for reduction of the transmitted force, furthermore, for implementation to the multi-structure impulsive force system.

**Key Words** : MR damper (MR 댐퍼), High impulsive force system (고충격시스템), Dynamic absorbing system (완충 시스템)

#### 1. 서론

일반적으로 충격력의 저감을 위한 완충구조설계는 많은 분야에서 연구되고 적용되어 왔다.<sup>[1-4]</sup> 이는 발생하는 충격에도 불구하고 전체시스템을 안정화시키기 위해서는 시스템이 지탱할 수 있을 수준까지의 충격저감이 선결 조건이기 때문이다. 순간적인 충격으로 물체를 투사하도록 구조된 발사기구에 있어서 지지부에 전달되는 충격은 더욱 중요한 문제가 된다. 통상적으로 발사기구는 차량이나 기타운반체에 탑재되어 사용되는 경우, 탑재장비를 지지구조물로 하거나 별도의 지지구조를 가지도록 설계된다. 이와 같은 발사기구의 경우, 발사시의 충격력을 완화시킴으로써 반동력을 최소화하도록 지지물의 구조를 최적화하거나 다양한 종류와 방식의 완충 메커니즘을 설계하여 적용하고 있다. 그러나, 휴대용 발사기구의 경우에는 별도의 지지구조 없이 지지부가 오직 발사기구를 휴대한 인체가 되므로 휴대용 발사기구의 사격 시 발생하는 충격력은 모두 인체가 감당해야만 하는 구속조건을 갖는다. 그러므로 인체에

직접 전달되는 발사기구의 충격력은 연속 조준된 자세의 교란 또는 계획된 운동형태 교란을 유발하고, 인체가 충격과 진동에 노출됨으로서, 인체에 심각한 문제를 유발시킬 수 있는 잠재성을 가지게 된다.

특히 군사용 휴대발사기구에 있어서는 탄 발사 속도, 유효 사거리, 최대 연속 발사속도, 파괴력 등으로 평가되는 개인 발사기구에 대한 성능향상에도 불구하고 이는 운동 역학적으로 볼 때 불가피하게도 보다 큰 충격에너지를 발생시키게 되어 역효과를 발생시키게 된다. 그러므로 발사기구 성능 향상을 통하여 사용 목적을 극대화하기 위해서 선행되어야 할 연구들 중에서 무엇보다 앞서 이루어져야 할 가장 중요한 것 중의 하나가 바로 휴대용 발사기구의 충격 완충 메커니즘을 구현하는 것이라 할 수 있다.

따라서 고 강도의 폭발압력을 입력으로 적용하는 고성능의 휴대용 발사기구에 대한 완충 메커니즘 구현을 위해 대형 발사기구에 적용되고 있는 주퇴방식을 자동화 메커니즘으로 적용하는 경우, 지지부에 전달되는 충격에너지를 감소시킬 수 있는 효율적인 완충 방안에 대한 연구가 필수적이며, 발생하는 충

격력을 역학적으로 해석하여 인체 전달력을 저감시킬 수 있는 충격 흡수 메커니즘 구현을 위한 설계인자 도출이 요구된다.

일반적인 완충장치로는 에너지 흡수원리를 이용한 수동형 완충기와 외부 에너지를 이용한 능동형 완충기가 적용되는데, 전자의 경우 제한된 성능의 한계를 가지며, 후자의 경우 큰 외부에너지의 소비, 측정센서-제어기 등 부대장치 소요 등의 단점을 갖는다. 따라서 이에 대한 대안으로, 오리피스 개폐 댐핑 조절 방식이나<sup>15,6)</sup>, MR, ER 유체 특성 변화를 이용하는 반능동형 제어장치에<sup>17,9)</sup> 대한 연구결과가 발표되고 있으며, 이중 MR 유체를 이용한 댐퍼는 응답성이 좋고 저전압 구동이 가능하여<sup>9)</sup> 그 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 prototype의 발사기구 구성요소들에 대한 역학구조 및 수학적 모델링을 통한 동적 거동 해석을 기초로, 지지부에 전달되는 충격력을 저감할 수 있도록 MR 댐퍼를 이용한 완충시스템을 구성하여 실험을 수행하여 고충격 시스템에 대한 특성을 고찰하고 수동형 댐퍼와의 실험 결과를 토대로 완충 특성을 비교하였다.

## 2. 시스템의 구성

### 2.1 고충격 시스템

일반적인 발사기구는 투사체를 원하는 방향과 속도로 가속하는 장치로서 사용분야에 따라 민수용과 군수용으로 크게 나눌 수 있다. 민수용에는 신호용이나 로프발사기기와 같이 제한된 분야에서 사용되고 대부분은 군수용으로 사용된다고 할 수 있는데 여기에는 각종 총기, 야포, 로켓발사 장치 등, 통상적으로 생각할 수 있는 대부분의 무기류가 해당된다.

이런 여러 종류의 발사기구 중 본 연구에는 총열 주퇴방식의 휴대용 발사기구를 연구대상으로 하였다. 발사기구는 자동화방식에 따라 가스 작동식(gas operated), 주퇴 작용식(recoil system), 블로백 방식(blowback system)의 세 종류로 나눌 수 있고 주퇴 작용식은 장주퇴(long recoil)와 단주퇴(short recoil)방식으로 구분할 수 있다. 이는 주퇴거리와 발사 전 탄약 길이의 상대적인 크기로 분류된다. 주퇴방식은 주로 대구경화기에 적용되는 시스템으로서 충격흡수 질량에 총열부가 추가됨으로서 상대적으로 완충성능이 우수한 반면 연속 사격속도 감소나 화기 중량의 증가와 같은 단점을 가지고 있다. 그러므로 고충격을 발생하면서도 빠른 발사속도는 요구하지 않는 조건의 시스템에 적합하다. 사격시 충격력이 발생되는 메커니즘을 해석하기 위하여 대상 발사기구의 작동 메커니즘을 간략히 정리하면 다음과 같다. 초기에

약실 내부에서 화약이 폭발하여 압력이 발생하고 이때 압력에 의해 총열(barrel)과 노리쇠(bolt) 결합체가 주퇴(recoil)하게 된다. 결합체는 일정거리 이동 후 총열은 총몸에 충돌하고 노리쇠는 계속 주퇴하게 된다. 이후 노리쇠는 내부 벽면과 충돌하고 복좌(counterrecoil)한 후 총열과 결합됨으로써 한 주기를 완료하게된다. 이러한 발사기구의 작동 및 충격력 발생 메커니즘을 기반으로 그 동특성을 해석하기 위한 수학적 모델을 나타내면 Fig. 1과 같다.

여기서, 대상계를 구성하는 각 요소들은 강체로, 시스템의 작동 중에 발생하는 각종 마찰이나 탄피추출/삽탄 작용, 공기치기 스프링 작용 등은 무시하였으며 좌표축은 초기위치를 원점으로 하여 탄두 비행의 반대방향을 양의 방향으로 설정하였다.

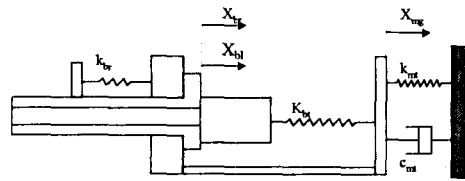


Fig. 1 Schematic diagram of high impulsive force system

### 2.2 충격 완충 시스템

전술한 고충격 시스템으로부터 지지부에 전달되는 충격력을 저감시키기 위하여 발사기구 후단부에 충격 완충시스템을 적용하여 완충 특성을 고찰하기 위하여 다음과 같은 완충 요소를 고려하였다. 완충 시스템에 적용한 완충기로는 응답성이 좋고 저전압 구동이 가능한 장점을 갖는 MR 유체를 이용한 댐퍼를 적용하였으며, 실험에 적용한 MR 댐퍼의 단품 특성 실험 결과를 Fig. 2에 도시하였다.

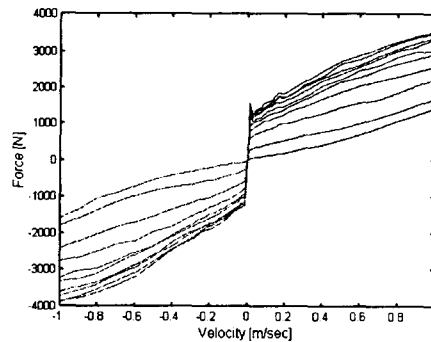


Fig. 2 Experimental force-velocity characteristic curves of MR damper

또한 이에 대한 결과 비교를 위하여, 발사기구의 실작동 특성을 고려하여 압축-인장의 감쇠특성이 다른 유공압식 수동형 댐퍼를 고려하였으며, 적용한 댐퍼의 감쇠 특성 실험 결과를 Fig. 3에 도시하였다.

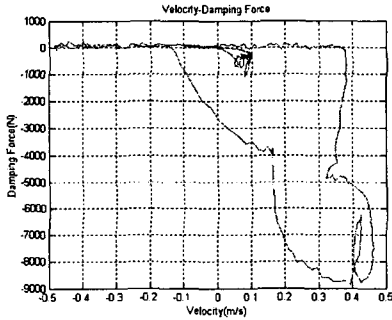


Fig. 3 Experimental force-velocity characteristic curves of hydro-pneumatic damper

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험장치의 구성

전술한 완충기를 적용한 완충시스템에서, 발생하는 주된 충격력에 대한 완충 성능을 측정 분석하기 위하여 Fig. 4 와 같이 실험 장치를 구성하여 실사격 시험을 수행하였다.

전체 발사기구의 거동을 자유롭게 하기 위하여 linear guide를 설치하고 그 위에 발사기구를 장착하였고, 후단부에 힘변환기(force transducer)를 포함한 완충시스템을 적용하였으며, 각 요소의 동적 거동을 측정하기 위하여 각각 LVDT를 부착하여 변위를 측정하고 탄 발사 신호를 측정하도록 하였다.

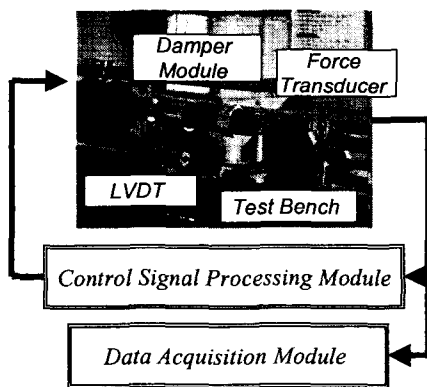


Fig. 4 Schematic diagram of experimental setup

#### 3.2 실험결과

Fig. 3의 감쇠 특성을 갖는 유공압식 수동형 댐퍼를 적용한 경우에 대한 실험 결과를 완충 시스템 적용 전/후로 비교하여 Fig. 5에 도시하였다. 결과에서처럼 적용전 최대 전달력은 약 23000N에서 적용후 9200N으로 약 60%의 저감 효과를 확인할 수 있다.

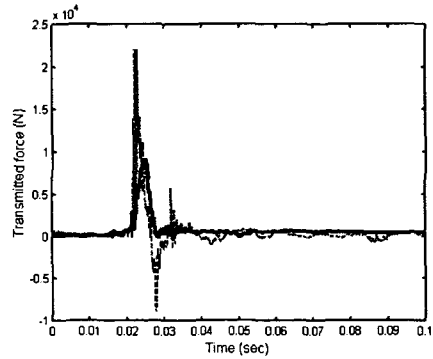


Fig. 5 Experimental result using hydro-pneumatic damper (dashed : without absorbing system, solid : with absorbing system)

MR 댐퍼를 이용한 완충시스템의 경우, 실제 구현성을 고려하여 소요 부대 장비 최소화를 위해 대상 발사기구에 발생하는 충격력의 반복 재현성을 이용하는 역신호 제어(reverse control) 기법을 적용하였으며, 발사순간-충격력 발생간의 시간지연, 발생 충격력의 크기 및 지속 시간에 대한 사전 실험 데이터를 근거로 발사조작 신호를 trigger로 하여 이에 상응하는 역신호를 제어 신호로 출력하도록 회로를 구성하여 실험을 수행하였다.

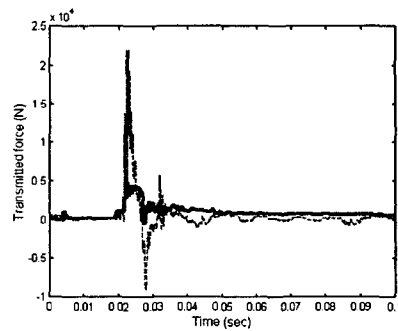


Fig. 6 Experimental result using MR damper (dashed : uncontrolled, solid : controlled)

Fig. 2의 특성을 갖는 MR 댐퍼를 적용한 경우에 대한 실험 결과를 완충 시스템 적용 전/후로 비교하여 Fig. 6에 도시하였다. 결과에서처럼 적용전 최대 전달력은 약 23000N에서 적용후 4200N으로 18% 수

준으로 충격 전달력을 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

수동형 댐퍼의 경우, 파라미터 최적화 과정을 통해 Fig. 5의 실험 결과보다 충격 전달력을 감소시킬 수 있으나, 복합 구조를 갖는 이중(distinct) 충격 발생기구의 경우에는 적용에 한계가 있으며, MR 댐퍼의 경우, 이중 충격 신호에 능동적으로 대응이 가능하므로 Fig. 6의 실험 결과를 토대로 발생 충격력에 대하여 보다 효과적인 완충시스템을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고충격 시스템의 완충 시스템에 대한 기초 연구로서, 지지부에 전달되는 충격 전달력 저감을 위하여 MR 댐퍼를 이용한 충격 완충 시스템을 구성하고 실 사격 시험을 통해 적용 특성을 파악하였으며, 수동형 완충기 대비 복합 구조의 발사기구에 보다 효과적인 완충 시스템으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 후기

본 연구는 국방과학연구소의 지원(UD000036CD)을 받아 수행되었으며 관계자분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Hundal, M. S. and Fitzmorris, D. J., "Response of a Symmetric Self-Damped Pneumatic Shock Isolator to an Acceleration Pulse", Shock and Vibration Bulletin, Vol. 55, Part 1, pp. 139-154, 1985.
2. Hundal, M. S., "Shock Response of a Symmetric Pneumatic Spring to a Velocity Pulse", Journal of Sound and Vibration, Vol. 101, No. 1, pp. 33-40, 1985.
3. Alanoly, J. and Sankar, S., "Semi-Active Force Generators for Shock Isolation", Journal of Sound and Vibration, Vol. 126, No. 1, pp. 145-156, 1988.
4. Seto, K., Shiozuka, T., Isii N. and Kaneda, K., "Theoretical Analysis of the Shock Isolation Type Concrete Breaker and Its Effect on Preventing the Hand-Arm Vibration Syndrome", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 56, No. 528, pp. 2022-2030, 1990.
5. Decker, H., Schram, W. and Kallenbach, R., "A Practical Approach Towards Advanced Semi-active Suspension Systems," IMechE, Vol. 430, 1988.
6. Alanoy, J. and Sankar, S., "A New Concept in

Semi-active Vibration Isolation," ASME J. of Mechanism, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 109, pp. 242-247, 1987.

7. 정우진, 김두기, 정의봉, 홍성룡, 최승복, "압착모드형 ER마운트를 이용한 보 구조물의 진동저감 해석," 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 499-504, 2002.
8. 정정교, 최현, 김두훈, 이상조, "MR 댐퍼 비선형 수학적 모델의 파라미터 추정에 관한 연구," 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 902-907, 1999.
9. Spencer, B. F. and Soong, T. T., "New Applications and Development of Active, Semi-active and Hybrid Control Techniques for Seismic and Non-seismic Vibration in the USA," Proc. of Int'l Post-SMiRT Conf. Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibration of Structures, 1999.
10. Harris, C. M., "Shock and Vibration Handbook", McGRAW-HILL, 1997.
11. Korenev, B. G., "Dynamic Vibration Absorbers", John Wiley & sons, 1993.