

# 이종 복합 메카니즘 HIF 기구의 충격저감시스템 해석

최의중\*, 김효준#

## Analysis of Isolation System in Distinct Multi-mechanism HIF Device

Eui Jung Choe\* and Hyo-Jun Kim#

### ABSTRACT

In this study, the isolation system for multi-mechanism HIF (high impulsive force) device has been investigated. For this purpose, parameter optimization process has been performed based on the simplified isolation system model under constraints of moving displacement and transmitted force. The design parameters for multi-mechanism HIF device have been derived with respect to HIF system I and HIF system II, respectively. In order to implement the dynamic absorbing system, the dual stage hydro-pneumatic damper and magnetorheological damper with semi-active control scheme are considered. Finally, the performance of the designed prototype isolation system has been evaluated by experimental works under actual operating conditions.

**Key Words** : Multi-mechanism HIF device (복합 메카니즘 HIF 기구), Transmitted Shock Force(충격전달력), Dynamic Absorbing System(충격완충시스템)

### 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 기타 운반체에 탑재되어 사용되는 경우, 탑재장비를 지지구조물로 하거나 별도의 지지구조를 가지도

록 설계된다. 이와 같은 발사기구의 경우, 발사시의 충격력을 완화시킴으로써 반동력을 최소화하도록 지지물의 구조를 최적화하거나 다양한 종류와 방식의 완충 메카니즘을 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 설계구속조건을 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

접수일: 2004년 3월 29일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

\* 국방과학연구소

# 교신저자: 국립삼척대학교 기계공학과

E-mail hjkim@samcheok.ac.kr Tel. (033) 570-6322

있는 잠재성을 가지게 된다.<sup>10-12</sup>

특히 군사용 휴대발사기구에 있어서는 탄 발사 속도, 유효 사거리, 최대 연속 발사속도, 파괴력 등으로 평가되는 성능향상 부분이 운동 역학적으로 불가피하게도 보다 큰 충격에너지를 생성, 전달시키게 되어 역기능을 발생시키게 된다. 그러므로 휴대용 발사기구의 성능 향상을 통하여 사용 목적을 극대화하기 위한 연구 진행에 있어서 선행되어야 할 주요 부분 중 일부는 충격 완충 메커니즘을 구현하는 것이라 할 수 있다.

일반적으로 발사기구는 사용 목적에 따라 다양한 자동화 메커니즘을 적용하여 실용화되어왔으며, 최근에는 각각의 자동화 시스템들의 장점을 살린 다기능화된 발사기구에 대한 관심이 높아지면서 복합적인 메커니즘을 갖는 발사시스템에 대한 연구 필요성이 제기되고 있다. 이러한 연구에 있어 지지부에 전달되는 충격에너지를 감소시킬 수 있는 효율적인 완충 방안에 대한 연구가 필수적이며, 이종기구부(distinct device)로부터 발생하는 충격력을 역학적으로 해석하여 인체 전달력을 저감시킬 수 있는 충격 흡수 메커니즘 구현을 위한 설계인자 도출이 요구된다.<sup>12</sup>

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-제어시스템 등 과도한 부대장치 소요 등의 단점을 갖는다. 따라서 이에 대한 대안으로, 오리피스 개폐 댐핑 조절 방식이나,<sup>5,6</sup> MR(magnetorheological), ER(electrorheological) 유체 특성 변화를 이용하는 반능동형 제어장치에<sup>7-9</sup> 대한 연구결과가 발표되고 있으며, 이중 MR 유체를 이용한 댐퍼는 응답성이 좋고 저전압 구동이 가능하며<sup>9</sup> 그 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 복합적인 메커니즘을 갖는 HIF 기구에서 발생하는 충격력을 저감시키기 위하여 대상 시스템에서의 충격력 발생 특성을 고려하여 완충시스템의 적용 위치를 선정하고 간략화된 완충시스템 모델을 기반으로 파라미터 최적화를 수행하였다. 도출된 완충시스템 설계 인자를 토대로 충격 전달력을 저감할 수 있도록 수동형 완충기와 MR 반능동형 댐퍼를 이용한 완충시스템을 구성하고 실험적 평가를 수행하여 완충 특성을 고찰하였다.

## 2. 시스템의 구성

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

발사기구는 자동화방식에 따라 가스 작동식(gas operated), 주퇴 작동식(recoil system), 블로백 방식(blowback system)의 세 종류로 나누어 진다. 가스작동식은 격발시 발생된 가스압이 피드백 되어 총열과 노리쇠 사이에 풀림이 일어나기 전에는 노리쇠, 노리쇠집, 버퍼, 총몸이 하나의 질량체로 작동하게 되며, 가스압이 피드백 되면 총열과 노리쇠 사이에 풀림작용이 발생하게 되어 각각의 요소가 서로 분리되어 작동하므로써 제 기능을 수행하며, 일반적으로 소구경화기에 적용되는 시스템이다. 또한 주퇴 작동식은 장주퇴(long recoil)와 단주퇴(short recoil)방식으로 구분되는데, 이는 주퇴거리와 발사 전 탄약길이의 상대적인 크기로 분류된다. 이러한 주퇴작동식 시스템의 작동 메커니즘을 간략히 정리하면 다음과 같다. 초기에 약실 내부에서 화약이 폭발하여 압력이 발생하고 이때 압력에 의해 총열(barrel)과 노리쇠(bolt) 결합체가 주퇴하게 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 완료하게 된다. 일반적으로 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.

전술한 자동화 시스템들의 장점을 살린 다기능화된 발사기구에 대한 관심이 높아지면서 복합적인 메커니즘을 갖는 발사시스템에 대한 연구 필요성이 제기되고 있다. 이러한 연구에 있어 지지부 특성을 고려할때 이종 기구부(distinct device)를 포함한 발사 시스템에 의해 지지부에 전달되는 충격력에 대한 검토 및 이에 대한 저감이 요구된다.

### 3. 완충 시스템의 모델링

#### 3.1 완충 시스템 파라미터의 최적화

다기능 복합 매카니즘을 일체화한 발사 시스템의 경우, 각각의 기구부 특성에 적합한 내부 완충 시스템을 포함하도록 설계, 적용하는데에는 많은 제약점이 따르며, 또한 충격력 발생 특성을 고려할 때 완충 시스템은 지지부와 전체 발사기구간에 위치하도록 설계하는 것이 효율적이다. 따라서 복합 매카니즘을 갖는 발사시스템에서 발생하는 충격전달력을 경감시키기 위한 완충요소를 설계하기 위하여 Fig. 1과 같이 간략화된 완충 시스템을 구성하고, 완충요소의 설계 파라미터를 결정하기 위하여 다음과 같이 최적화 과정을 수행하였다.<sup>12,13</sup>

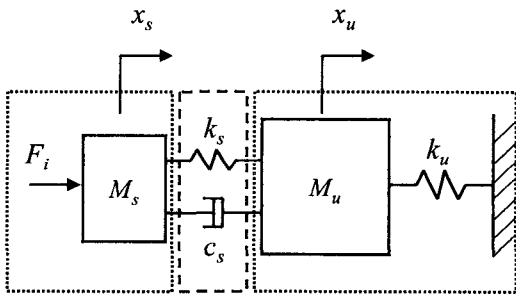


Fig. 1 Schematic diagram of isolation system

충격입력을 외란으로하는 간략화된 전체 완충 시스템 모델에 대한 상태방정식은 다음의 식(1)과 같다.

$$\dot{X} = A X + B F_i \quad (1)$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{k_s}{M_s} & -\frac{c_s}{M_s} & \frac{k_s}{M_s} & \frac{c_s}{M_s} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_s}{M_u} & \frac{c_s}{M_u} & -\frac{k_s+k_u}{M_u} & -\frac{c_s}{M_u} \end{bmatrix}$$

$$B = [0 \quad \frac{1}{M_s} \quad 0 \quad 0]^T, \quad X = [x_s \quad \dot{x}_s \quad x_u \quad \dot{x}_u]^T$$

여기서 Ms는 발사기 질량, Mu는 지지부 질량, xs는 발사기 변위, xu는 지지부 변위, Fi는 사격시 발생하는 충격력, ks는 완충기 강성, cs는 완충기 감쇠계수, ku는 지지부의 강성이다.

지지부에 전달되는 충격전달력과 완충변위를 고려하여 성능지수(Performance Index)를 다음의 식(2-1)로 정의하고, 식(2-2)로 정리하여 나타낸다.

$$P.I = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[ \int_0^T (\dot{x}_4^2 + \rho(x_1 - x_3)^2) dt \right] \quad (2-1)$$

$$P.I = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E \left[ \int_0^T (X^T Q X) dt \right] \quad (2-2)$$

여기서 ρ는 설계자의 가중치이며, Q는 대칭, 양의 한정(symmetric, positive definite) 행렬이고 각 요소 Qij는 다음과 같이 정의된다.

$$Q_{11} = \frac{k_s^2}{M_u^2} + \rho \quad (3-1)$$

$$Q_{12} = Q_{21} = \frac{k_s c_s}{M_u^2} \quad (3-2)$$

$$Q_{13} = Q_{31} = \frac{k_s(k_s+k_u)}{M_u^2} - \rho \quad (3-3)$$

$$Q_{22} = \frac{c_s^2}{M_s} \quad (3-4)$$

$$Q_{23} = Q_{32} = -\frac{c_s(k_s+k_u)}{M_u^2} \quad (3-5)$$

$$Q_{33} = \frac{c_s(k_s+k_u)}{M_u^2} \quad (3-6)$$

$$Q_{41} = Q_{41} = -\frac{k_s c_s}{M_u^2} \quad (3-7)$$

$$Q_{24} = Q_{42} = -\frac{c_s^2}{M_u^2} \quad (3-8)$$

$$Q_{34} = Q_{43} = \frac{c_s(k_s+k_u)}{M_u^2} \quad (3-9)$$

$$Q_{44} = \frac{c_s^2}{M_u^2} \quad (3-10)$$

시스템 및 강도(intensity) ρ를 갖는 입력 특성을 고려하여 성능지수는 다음의 식(4)와 같이 정리하여 나타낼 수 있다.

$$P.I = \text{Trace} \{ Q \Sigma \} \quad (4)$$

여기서 Σ는 식(1)의 상태방정식에 대한 식(5)의 공분산전파방정식(covariance propagation equation)을 만족시키는 공분산 행렬(covariance matrix)이다.

$$A \Sigma + \Sigma A^T + B E B^T = 0 \quad (5)$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{41} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_{44} \end{bmatrix}$$

여기서,

따라서 식(1)과 위의 식들을 이용하면 해는 다음과 같이 구하여 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{\xi_{11}}{\mu_{11}} + \frac{2k_s^2 k_u m_s m_u + k_s^3 m_u^2}{2c_s k_s k_u m_s^2} \\ \sigma_{12} &= 0 \\ \sigma_{13} &= \frac{\xi_{13}}{\mu_{13}} + \frac{k_s k_u m_s m_u + k_s^2 m_u^2}{2c_s k_s^2 m_s^2} \\ \sigma_{14} &= -\frac{1}{2k_u m_s} \\ \sigma_{21} &= \sigma_{12} \\ \sigma_{22} &= \frac{c_s^2 k_u + k_s^2 m_s + 2k_s k_u m_s + k_u^2 m_s + k_s^2 m_u}{2c_s k_u^2 m_s^2} \\ \sigma_{23} &= \frac{1}{2k_u m_s} \\ \sigma_{24} &= \frac{c_s^2 k_u + k_s^2 m_s + k_s k_u m_s + k_s^2 m_u}{2c_s k_u^2 m_s^2} \\ \sigma_{31} &= \sigma_{13}, \sigma_{32} = \sigma_{23}, \sigma_{34} = 0 \\ \sigma_{33} &= \frac{\xi_{33}}{\mu_{33}} \\ \sigma_{41} &= \sigma_{14}, \sigma_{42} = \sigma_{24}, \sigma_{43} = \sigma_{34} \\ \sigma_{44} &= \frac{c_s^2 k_u + k_s^2 m_s + k_s^2 m_u}{2c_s k_u^2 m_s^2} \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} \xi_{11} &= c_s^2 k_s k_u m_s + k_s^3 m_s^2 + 3k_s^2 k_u m_s^2 + k_u^3 m_s^2 \\ &\quad + c_s^2 k_s k_u m_u + 2k_s^3 m_s m_u \\ \xi_{13} &= c_s^2 k_u m_s + k_s^2 m_s^2 + 2k_s k_u m_s^2 + k_u^2 m_s^2 \\ &\quad + c_s^2 k_u m_u + 2k_s^2 m_s m_u \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \xi_{33} &= c_s^2 k_u m_s + k_s^2 m_s^2 + k_s k_u m_s^2 + c_s^2 k_u m_u \\ &\quad + 2k_s^2 m_s m_u + k_s^2 m_u^2 \end{aligned}$$

$$\mu_{11} = 2c_s k_s k_u^2 m_s^2, \mu_{13} = 2c_s k_u^2 m_s^2, \mu_{33} = \mu_{13}$$

따라서 식(4)의 성능지수는 다음의 식(6)과 같이 정리하여 나타낼 수 있으며,

$$P.I = \frac{k_s^2}{2c_s k_u m_s^2} + \frac{c_s}{2m_s^2 m_u} + \left( \frac{1}{2c_s k_s} + \frac{1}{2c_s k_u} \right) \times \rho \quad (6)$$

식(6)의 성능지수식을 J라하면, 이를 최소화하는 완충시스템 매개변수  $k_{op}$ ,  $c_{op}$ 는 식(7)의 편미분방정식으로부터 식(8-1), (8-2)와 같이 구할 수 있다.

$$k_{op} : \frac{\partial J}{\partial k_s} = 0, c_{op} : \frac{\partial J}{\partial c_s} = 0 \quad (7)$$

$$k_{op} = \sqrt[3]{\frac{k_u m_s^2 \rho}{2}} \quad (8-1)$$

$$c_{op} = \sqrt{m_u \times \left\{ \frac{k_s^2}{k_u} + \left( \frac{m_s^2}{k_s} + \frac{m_s^2}{k_u} \right) \times \rho \right\}} \quad (8-2)$$

이중 기구부인 HIF시스템 I과 II의 두부분으로 구성된 복합 메카니즘 발사시스템으로부터 지지부에 전달되는 충격력을 저감시키기 위한 완충시스템의 설계 파라미터  $k_{op_i}$ ,  $c_{op_i}$  ( $i=1,2$ )들은 완충변위와 충격전달력간의 상충관계를 고려하여 완충변위에 대한 제한조건을 5mm로 하는 것을 목표사양으로 하여 각각 가중치를 선정하여 식(8-1), (8-2)로부터 다음과 같이 각각 결정하였다.

$$\begin{aligned} \text{HIF시스템 I : } & k_{op_1} = 2385 \text{ (N/m)} \\ & c_{op_1} = 520 \text{ (N-sec/m)} \\ \text{HIF시스템 II : } & k_{op_2} = 7040 \text{ (N/m)} \\ & c_{op_2} = 2139 \text{ (N-sec/m)} \end{aligned}$$

#### 4. 완충 시스템 구현 및 특성 실험

##### 4.1 실험장치의 구성

충격 전달력에 대한 특성 및 완충 성능을 측정 분석하기 위하여 Fig. 2 과 같이 실험 장치를 구성하여 실험을 수행하였다.

실험대상 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 관심변위를 측정하였고 탄 발사 및 탈출 신호를 검출하도록 기기를 장치하였으며, 분해능이 우수한 측정장비를 포함하는 계측시스템을 구성하였다.

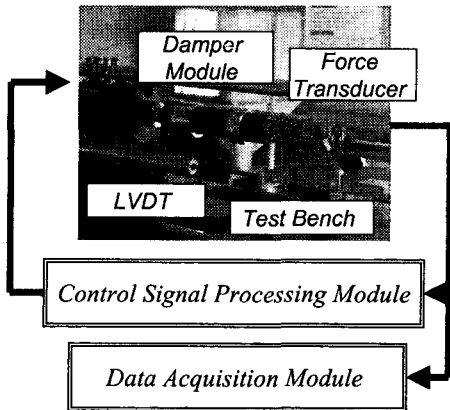


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

완충 시스템에 적용한 완충 요소는 압축시와는 달리 인장시에는 거의 감쇠특성이 없이 신속한 귀환(quick return)이 이루어져야만 작동 cycle중에 완충 효율을 높힐수 있다. 따라서 연구 대상 발사 시스템의 실작동 특성을 고려하여 압축·인장의 감쇠특성이 다른 유공압식 수동형 완충기를 고려하였으며, 일체형 복합 발사 시스템의 시제작 이전 단계로 인하여 3절의 해석 결과에 근접한 특성값을 갖는 완충기를 각각 선정하여 제 시스템에 대한 적용 실험을 각각 수행하였다. HIF시스템 I, HIF시스템 II에 적용한 완충기의 단품 특성 실험 결과를 Fig. 3, Fig. 4에 각각 도시하였다.

전술한 수동형 완충기를 일체형 복합 발사 시스템에 적용하는 경우에는 각각의 시스템에 적합하도록 고려된 완충기들 사이에 절충된 값을 가지는 단

일 완충시스템의 적용이 불가피하며 이때 각 시스템의 작동시 최적의 성능을 보장할 수 없는 단점이 있다.

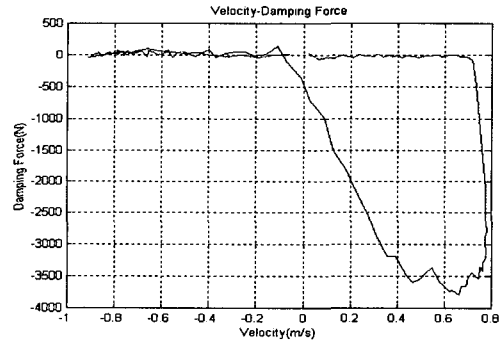


Fig. 3 Experimental force-velocity characteristic curves of passive damper for system I

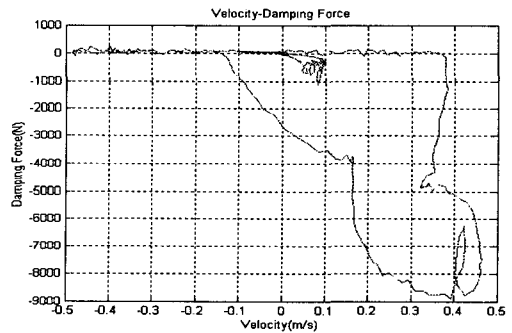


Fig. 4 Experimental force-velocity characteristic curves of passive damper for system II

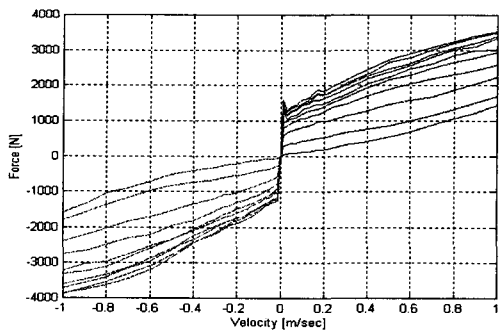


Fig. 5 Experimental force-velocity characteristic curves of MR damper

따라서 본 연구에서는 복합 메카니즘을 갖는 일체형 발사 시스템에 대한 단일 완충 시스템 요소로

서 MR 유체를 이용한 반능동형 댐퍼를 적용하여 특성을 고찰하였다. 이는 대표적인 제어성 유체 중 하나로서, 조성유체내 포함된 수분, 계면 활성제로 인한 절연과피 현상과 입자들의 침전현상, 고전압의 인가요구 등의 단점을 가지는 ER유체와는 달리 적용제약조건이 상대적으로 적고 저전압 구동이 가능한 장점을 갖는다.<sup>9</sup> 실험에 적용한 MR 반능동형 댐퍼의 단품 특성 실험 결과를 Fig. 5에 도시하였다.

#### 4.2 충격실험결과

Fig. 3와 Fig. 4의 특성을 갖는 수동형 완충기를 적용한 HIF시스템 I과 HIF시스템 II에 대한 성능 실험 결과를 완충 시스템 적용 전/후로 비교하여 Fig. 6-Fig. 7에 각각 도시하였다.

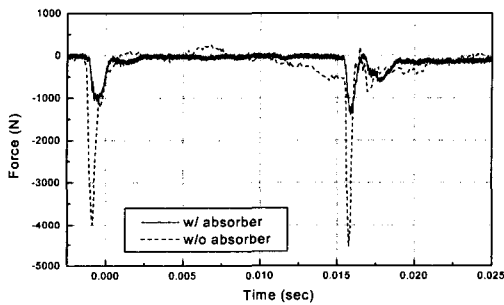


Fig. 6 Comparison of experimental results of transmitted force in HIF system I using passive damper

Fig. 6의 HIF시스템 I에 대한 결과에서처럼 초기 가스 폭발에 의해 전달되는 1차 충격력의 크기는 비완충시 4000N에서 1080N으로 감소되었으며, 내부 요소들의 동적 거동에 의해 유발되는 2차 충격력도 4560N에서 1400N으로 감소되는 결과를 얻었다.

또한 Fig. 7의 HIF시스템 II에 대한 실험 결과에서처럼 적용전 최대 전달력은 약 23000N에서 적용 후 4010N 수준으로의 저감 효과를 확인할 수 있다.

MR 반능동형 댐퍼를 이용한 완충시스템의 경우, 충격 저감을 위한 다양한 제어 기법의 적용이 가능하나, 실제 구현시의 제약점을 고려하여 소요 부대 장비 최소화를 위해 대상 발사기구에서 발생하는 충격력의 반복 재현성을 이용하는 역신호 제

어(reverse control) 기법을 적용하였으며, 발사순간-충격력 발생간의 시간지연, 발생 충격력의 크기 및 지속 시간에 대한 사전 실험 데이터를 근거로 발사기 조작 신호를 trigger로 하여 이에 상응하는 역신호를 제어 신호로 출력하도록 회로를 구성하여 실험을 수행하였고, 실험 여건상 HIF시스템 II에 대한 실험을 완료하였으며, 추후 HIF시스템 I 및 복합화 된 시스템에 대한 실험을 수행할 예정이다.

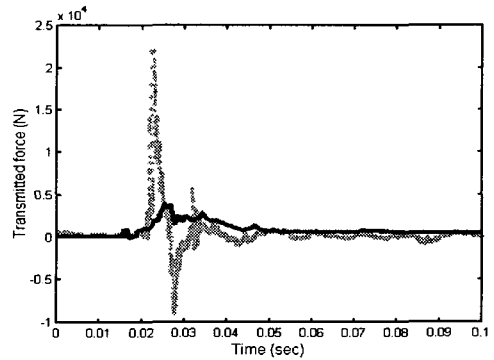


Fig. 7 Comparison of experimental results of transmitted force in HIF system II using passive damper (dashed : without absorbing system, solid : with absorbing system)

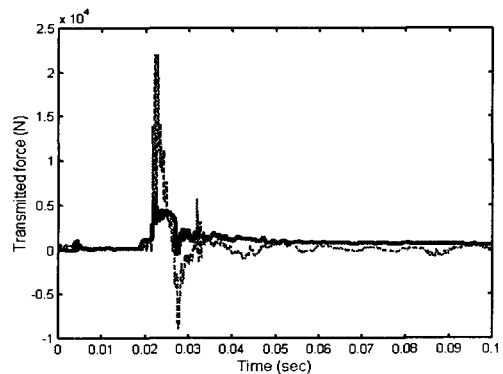


Fig. 8 Experimental result using MR damper (dashed : uncontrolled, solid : controlled)

수동형 완충기의 경우, 전술한바와 같이 대상 시스템의 구조적 특성으로 인하여 최적화된 완충기를 각각 적용하였으나, 복합 구조를 갖는 이중(distinct) 충격 발생기구인 대상 시스템에는 단일 완충기의 적용이 요구되므로 실 적용에는 한계가 있

으며, MR 반능동형 댐퍼의 경우, 이중 충격 신호에 가변적으로 제어가 가능하므로 고충격부인 HIF시스템II에 대한 Fig. 8의 실험 결과 및 본 연구의 결과를 토대로 발생 이중 충격력에 대하여 보다 효과적인 단일 완충시스템을 구성하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결론

복합 메카니즘을 갖는 HIF 기구에 대한 완충 시스템 해석 및 실험적 연구를 기반으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 복합 메카니즘을 갖는 HIF 기구에서 발생하는 이중 충격력에 대하여 구조적 특성을 고려하여 설계 변수인 각각의 부시스템에 대한 완충기 파라미터 선정 방안을 제시하였다.
- 2) 전달 충격력과 완충변위의 절충(trade-off) 관계를 고려한 가중치  $\rho$ 로부터 결정된 완충시스템 설계인자를 근거로 선정된 수동형 완충기를 적용한 실험으로부터 완충시스템의 효과적인 성능을 확인하였다.
- 3) 고충격부인 HIF시스템 II에 MR 반능동형 댐퍼를 적용한 실험을 수행하여 최적화된 파라미터를 갖는 수동형 댐퍼와 대등한 완충성능 결과를 나타냄을 확인하였다.
- 4) 본 연구의 결과와 방법들은 복합 메카니즘을 갖는 HIF 기구의 충격특성 해석과 단일 완충시스템 설계를 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. Babitsky, V. I. and Veprik, A. M., "Universal Bumpered Vibration Isolator for Severe Environment," Journal of Sound and Vibration, Vol. 218, No. 2, pp. 269-292, 1998.
2. Chehab, A. G. and Nagggar, M. H., "Design of Efficient Base Isolation for Hammers and Presses," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 23, pp. 127-141, 2003.
3. Ma, S. and Semercigil, S. E., "A Modified Passive Tuned Absorber for Secondary Structures," Journal of Sound and Vibration, Vol. 208, No. 3, pp. 349-366, 1996.
4. Walsh, P. L. and Lamancusa, J. S., "A Variable Stiffness Vibration Absorber for Minimization of Transient Vibrations," Journal of Sound and Vibration, Vol. 158, No. 2, pp. 195-211, 1992.
5. 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.
6. Decker, H., Schram, W. and Kallenbach, R., "A Practical Approach Towards Advanced Semi-active Suspension Systems," IMechE, Vol. 430, 1988.
7. Jung, W. J., Kim, D. K., Jeong, W. B., Hong, S. R. and Choi, S. B., "Vibration Reduction of Beam Structure Using Squeeze Mode ER Mount," Proc. of the KSNVE (Spring), pp. 499-504, 2002.
8. Jeoung, J. K., Choi, H., Kim, D. H. and Lee, S. J., "A Study on the Parameter Estimation of the Nonlinear Models Describing MR Damper," Proc. of the KSNVE (Spring), 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.
12. Kim, H. J., Park, Y. P., Yang, H. S., Choe, E. J., Lee, S. B. and Hong, K. J., "Investigation of dynamic absorbing system in the gas operated gun with high transmitted shock force," Transactions of KSNVE, Vol. 12, No. 2, pp. 124-131, 2002.
13. Ryu, B. J., Kim, H. J., Choe, E. J., Lee, S. B., Kim, I. W. and Yang, H. S., "Transmitted Force Estimation of Prototype HIF Device considering Human Behavior," Int'l Congress and Exposition on Noise Control Engineering, pp. 4035-4042, 2003.
14. Kim, H. J. and Choe, E. J., "Analysis of Optimal Dynamic Absorbing System considering Human Behavior induced by Transmitted Force," International J. of the KSPE, Vol. 4, No. 6, pp. 38-43, 2003.