

# 사격충격력 저감을 위한 연식주퇴계의 제어

## Control of a Soft Recoil System for Recoil Force Reduction

신철봉\* · 배재성† · 황재혁\*\* · 강국정\*\*\* · 안상태\*\*\* · 한태호\*\*\*

Chul-Bong Shin, Jae-Sung Bae, Jai-Hyuk Hwang, Kuk-Jeong Kang,  
Sang-Tae Ahn and Tae-Ho Han

(2008년 4월 29일 접수 ; 2008년 7월 2일 심사완료)

**Key Words** : FOOB(fire-out-of-battery), FIB(fire-in-battery)

### ABSTRACT

A fire-out-of-battery(FOOB) mechanism, which is a new recoil technology, can reduce dramatically the level of a recoil force compared to the conventional recoil system. The FOOB mechanism pre-accelerates the recoil parts in direction opposite of conventional recoil before ignition. This momentum of the recoil parts due to pre-acceleration can reduce the firing impulse. In this paper, the dynamics of the recoil system with this FOOB mechanism is formulated and simulated numerically. The results of the simulation show that the FOOB system can reduce the recoil force and stroke compared to the conventional system under normal condition. When the fault modes happen, the FOOB system may not perform well and may be damaged seriously due to excessive recoil force and stroke. Hence, the control of the fault modes is necessary to achieve the normal operation of the FOOB system. The results that an additional MR damper enables the FOOB system to perform well under all firing condition.

### 1. 서론

파괴력의 증가를 위한 대구경화 및 고폭탄화, 그리고 사거리 연장에 따라 증대된 화력의 다기능 무장 포신을 경량화된 플랫폼에 탑재하기 위해서는 사격충격력의 크기를 기존에 비해 경감시킬 수 있는 새로운 개념의 주퇴제어기술인 FOOB 시스템의 개발이 필요하다. 국내에서는 FOOB 시스템에 대한 연구가 미흡하며, 신철봉 등<sup>(1,2)</sup>이 종속형과 독립형의 FOOB 시스템에 대한 수학적 모델링 수립, FIB 시스템과 FOOB 시스템의 비교, 오류모드 제어에 관한

연구를 진행 하였다.

기존의 주퇴 시스템은 Fig. 1(a)와 같이 주퇴부가 발사위치(battery position)의 정지 상태에서 추진제가 점화되어 가스압력에 의해 포탄과 주퇴부(recoil part)를 상반된 방향으로 가속시킨다(FIB, fire-in-battery). 가속된 주퇴부는 주퇴 시스템에 의한 저항력으로 인해 그 속도가 0이 될 때까지 감속된다. 정지된 주퇴부는 복좌 시스템(recuperator)에 저장된 에너지에 의해 원래의 사격위치로 복귀한다.

FOOB(fire-out-of-battery) 시스템은 Fig. 1(b)와 같이 처음에 주퇴 운동부를 전방으로 가속시킨다. 일정한 속도에 도달 하였을 때 포가 발사되므로 breech force에 의해 발생한 충격량은 전방 가속에 의해 발생한 운동량에 의해 감소되어 주퇴력 및 주퇴거리가 현저하게 감소되는 주퇴제어기술이다.

FOOB 시스템 개념의 최초 적용은 1906년 프랑스

† 교신저자; 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부  
E-mail : jsbae@kau.ac.kr

Tel : (02)300-0102, Fax : (02)3158-4429

\* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학부

\*\* 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

\*\*\* 국방과학연구소

의 “Schneider-Ducrest cannon 65 de Montagon Modele”로 알려져 있으며, 미국의 경우는 50년이 지난 후, Rock Island Arsenal에 의해서 M101 견인포에 FOOB 시스템 개념이 처음 적용되었다. 1990년대에는 ER유체(electro-rheological fluid)가 사용된 댐퍼를 적용한 FOOB 시스템의 시제품인 Viper가 RIA(rock island arsenal)사에 의해 연구되었다.

이 연구에서는 유압댐퍼(hydraulic damper)를 가지는 FOOB 시스템에 대한 동역학 모델을 수립하였다. 동역학 모델의 시뮬레이션으로부터 그 특성을 FIB 시스템과 비교, 고찰하였으며, FOOB 시스템의

정상모드와 오류모드를 조사하였다. 오류모드를 제어하기 위해 MR댐퍼를 이용하였으며, 제어 결과로부터 FOOB 시스템의 오류모드 제어의 가능성을 고찰하였다.

## 2. FOOB 시스템의 수학적 모델링

FOOB 시스템에는 주퇴장치와 복좌장치가 결합된 종속형과 주퇴장치와 복좌장치가 분리된 독립형이 있다. 복좌기에는 공기 chamber 방식과 스프링 방식이 있다. 이 연구에서 사용된 모델은 Fig. 2와 같이 주퇴장치와 복좌장치가 결합된 종속형이고<sup>(3)</sup> 복좌 장치는 공기 chamber 방식을 사용하였다. chamber 1, chamber 2, chamber 3, chamber 4는 유체에 의해 서로 연결되어 있고, gas chamber안의 gas는 피스톤에 의해 유압과 격리되어 있다. 주퇴방향을 양의 방향으로 정의하였고 latch된 위치를 영점으로 정의하였다. 운동 메커니즘은 아래와 같다. 처음 latch된 위치에서 latch를 풀면 gas chamber의 압력에 의해 유체가 chamber 4에서 chamber 1로 흐르면서 주퇴부를 전방 가속시킨다. 일정한 속도에 도달 후 격발이 되면 주퇴부는 breech force

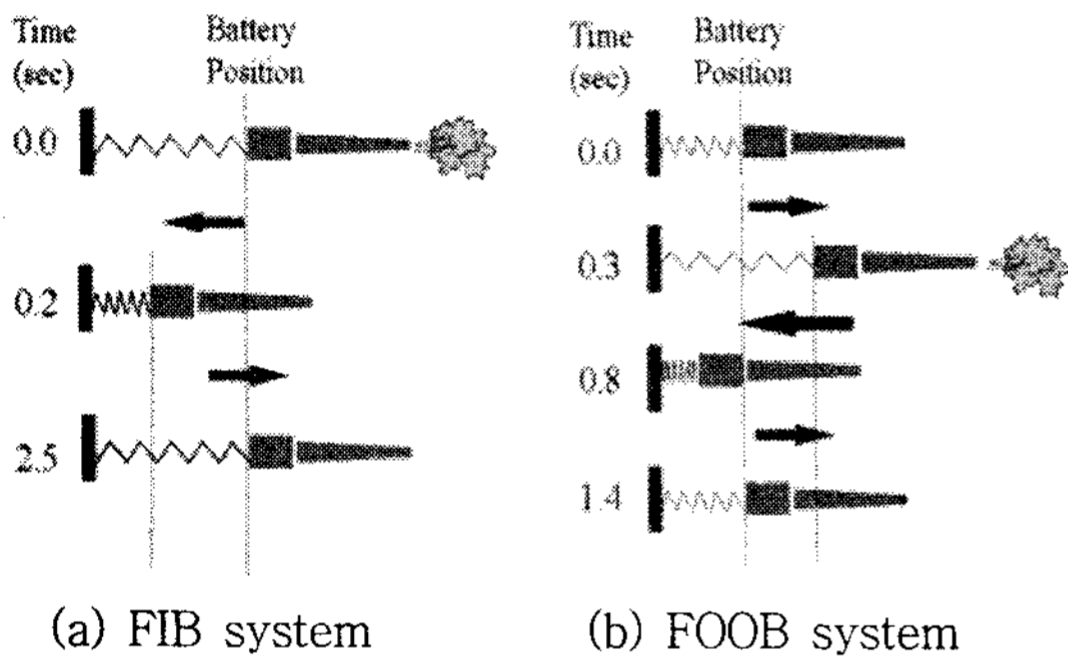


Fig. 1 Concept of FIB system and FOOB system

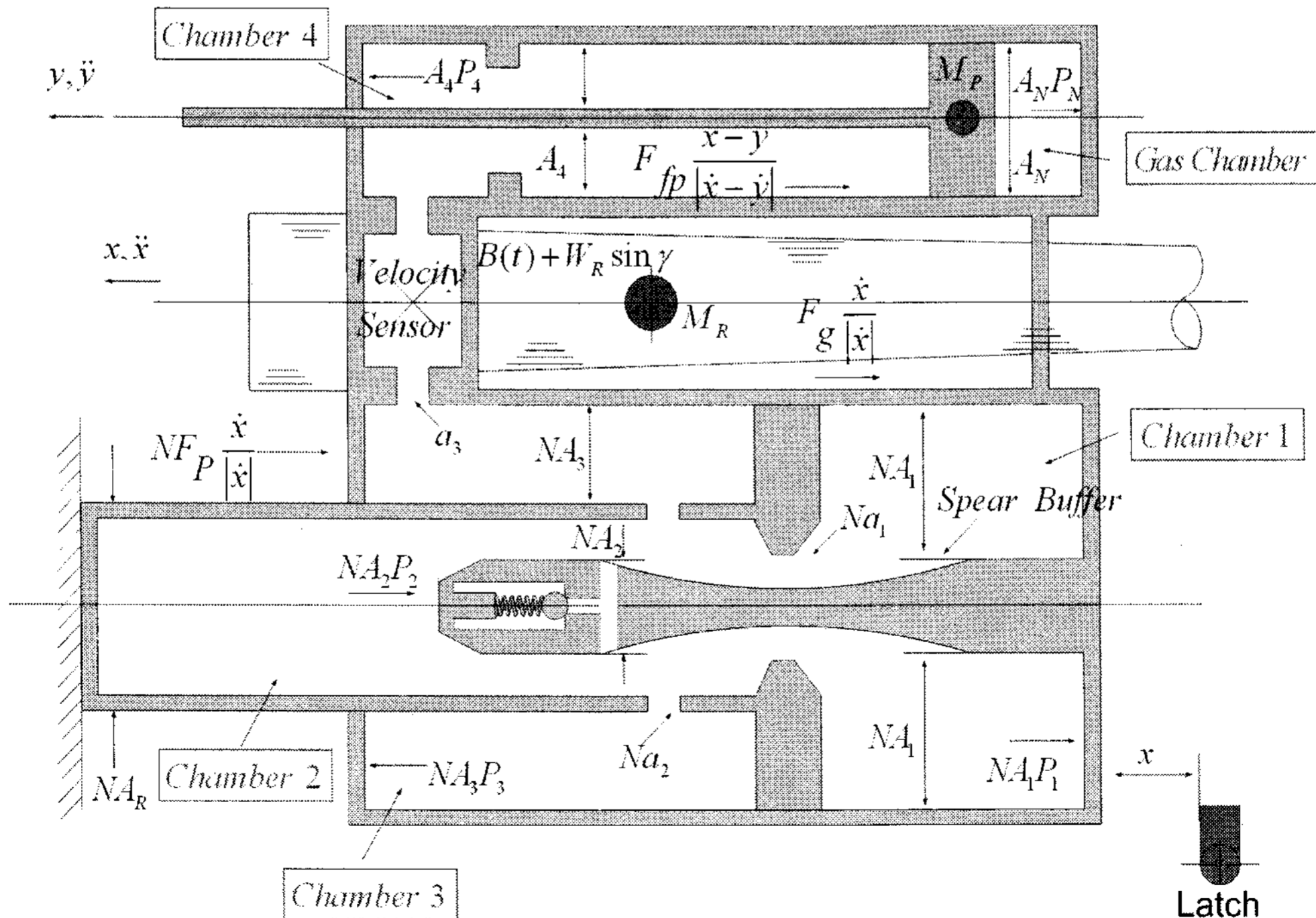


Fig. 2 Schematic diagram of FOOB system

에 의해 양의 방향으로 주퇴 운동을 하게 된다. 주퇴 시 유체가 chamber 1로부터 chamber 4로 흐르면서 breech force를 흡수하는 동시에 다음 가속을 위해 에너지를 gas chamber에 저장한다. 주퇴 종료 후 주퇴부는 다시 gas chamber의 압력에 의해 latch 위치로 복귀한다. 이 메커니즘에 대한 운동방정식을 세우면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \left[ M_R + \left( \frac{A_4 - NA_R}{A_4} \right)^2 M_P \right] \ddot{x} = B(t) - \frac{NA_R A_N}{A_4} P_N + \\ & \left[ W_R + \left( \frac{A_N - NA_R}{A_4} \right) W_P \right] \sin \gamma - \left( NF_P + F_g + \frac{NA_R}{A_4} F_{fp} \right) \\ & \operatorname{sgn}(\dot{x}) - N(A_1 + HA_2)g(v_1) - N(A_1 + A_2)g(v_2) - NA_R g(v_3) \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)에서  $M_R$ ,  $M_P$ 는 각각 주퇴부의 질량과 복좌 시스템 안의 피스톤 질량을 나타내고 값은 각각 900 kg, 100 kg이다.  $W_R$ ,  $W_P$ 는 주퇴부의 무게와 복좌시스템 안의 피스톤 무게를 나타낸다.  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ,  $A_N$ 은 각각 chamber 1, chamber 2, chamber 3, chamber 4, gas chamber에서 유압이 작용하는 면적이고 값은 모두 0.009121 m<sup>2</sup>이다.  $A_R$ 는 유효면적으로  $A_R = A_1 + A_2 - A_3$ 로 나타낸다.  $F_P$ ,  $F_g$ ,  $F_{fp}$ 는 각각 주퇴 피스톤의 패킹 마찰력, 가이드 마찰력(guide friction), 부동 피스톤(floating piston)의 패킹 마찰력이고 값은 모두 100 N이다.  $B_i$ 는 breech force를 나타내고 값은 285 kN이다.  $N$ 은 주퇴기의 개수,  $\gamma$ 는 포신의 경사 각도이고 값은 각각 2, 45°이다.  $H$ 는 spear buffer가 오리피스 입구에 도달하여 압력강하가 생기기 전에는 유체 체적변화가 chamber 1의 면적  $A_1$ 과 spear buffer 면적  $A_2$ 의 합에 의한 변화와 속도의 곱과 같으므로 1로 표시되고 오리피스  $a_1$ 의 입구를 지난 후에는 유체의 체적변화가 단지  $A_1$ 에 의한 변화와 속도의 곱과 같으므로  $H$ 가 0으로 표시된다.

식(1)에서  $P_N$ 은 복좌기 내부의 gas 압력인데 수식은 식(2)와 같다.

$$P_N = P_0 \left( \frac{V_0}{V_0 - \frac{NA_R A_N}{A_4} x} \right)^k \quad (2)$$

식(2)에서  $P_0$ 는 복좌기의 초기 압력,  $V_0$ 는 복좌기

의 초기 체적을 나타내고 값은 각각 2.5 Mp<sub>a</sub>, 0.03 m<sup>3</sup>이다.  $k$ 는 기체 상수를 나타내고 값은 1.8이다.

식(2)에서  $g(v_i)$ 는 'i'번째 오리피스의 압력강하이므로 식(3)과 같다.

$$g(v_i) = \frac{\rho}{2} \left( \frac{v_i}{c_i} \right)^2 \operatorname{sgn}(v_i) \quad (3)$$

식(3)에서  $v_i$ 와  $c_i$ 는 각각 'i'번째 유체의 속도와 유량계수이다.  $\rho$ 는 밀도이고 크기는 0.9 kg/m<sup>3</sup>이다.

식(3)을 식(1)에 대입하면 식(4)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \left[ M_R + \left( \frac{A_4 - NA_R}{A_4} \right)^2 M_P \right] \ddot{x} = B(t) - \frac{NA_R A_N}{A_4} P_N + \\ & \left[ W_R + \left( \frac{A_N - NA_R}{A_4} \right) W_P \right] \sin \gamma - \left( NF_P + F_g + \frac{NA_R}{A_4} F_{fp} \right) \\ & \operatorname{sgn}(\dot{x}) - \frac{\rho}{2} \left[ \frac{N(A_1 + HA_2)^3}{a_1^2 c_1^2} \operatorname{sgn}(v_1) + \frac{N(A_1 + A_2)^3}{a_2^2 c_2^2} \operatorname{sgn}(v_2) \right] \dot{x}^2 \\ & - \frac{\rho}{2} \left[ \frac{(NA_R)^3}{a_3^2 c_3^2} \operatorname{sgn}(v_3) \right] \dot{x}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_v$ ,  $a_{3af}$ ,  $a_{3bf}$ ,  $a_{leak}$ 는 각각 오리피스 1의 면적, 오리피스 2의 면적, spear buffer에 있는 체크 밸브의 면적, 발사 전 오리피스 3의 면적, 발사 후 오리피스 3의 면적, spear buffer과 피스톤 헤드 사이의 면적을 나타내고 값은 각각 0.009121 m<sup>2</sup>, 0.00127694 m<sup>2</sup>, 0.00054726 m<sup>2</sup>, 0.0002 m<sup>2</sup>, 0.009121 m<sup>2</sup>, 0.00018242 m<sup>2</sup>이다.  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ 는 유량계수를 나타내고 값은 모두 0.5이다.

Fig. 3과 같이 주퇴/복좌의 운동과정에서 변위의 위치에 따라  $H$ ,  $P_3$ ,  $a_3$  등 파라미터가 변한다.  $P_3$ 은 chamber 3의 압력과 기준 압력과의 차를 나타내고 포가 격발 후 breech force가 작용하기까지 시간 지연이 발생하므로 속도 센서의 면적  $a_3$ 이 변하여  $P_1 = P_2 = P_3 = 0$ 이 된다. 위에서 설명한 로직에 따라 식(1)을 모두 7개의 방정식으로 분류할 수 있다<sup>(3,4)</sup>.

Fig. 4는 피스톤 로드에서 가해지는 힘들을 보여준다. 주퇴력은 chamber 1, chamber 2, chamber 3 내의 유압과 마찰력의 합력으로 나타낼 수 있다. 주퇴력에 대한 식은 식(5)와 같이 표현된다.

$$R = NA_1 P_1 + NA_2 P_2 - NA_3 P_3 + (NF_P + F_g) \operatorname{sgn}(\dot{x}) \quad (5)$$

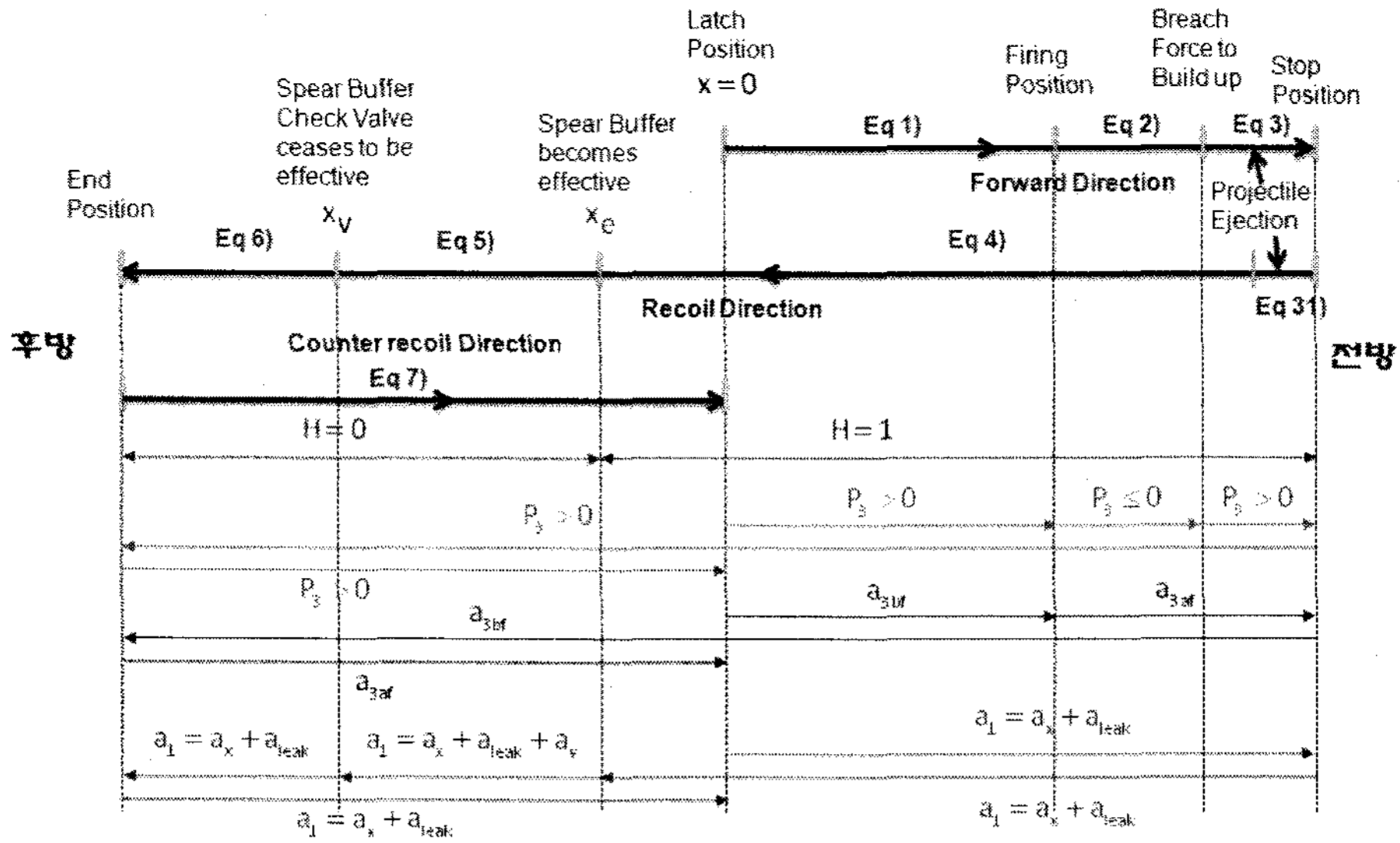


Fig. 3 Logic of events for FOOB

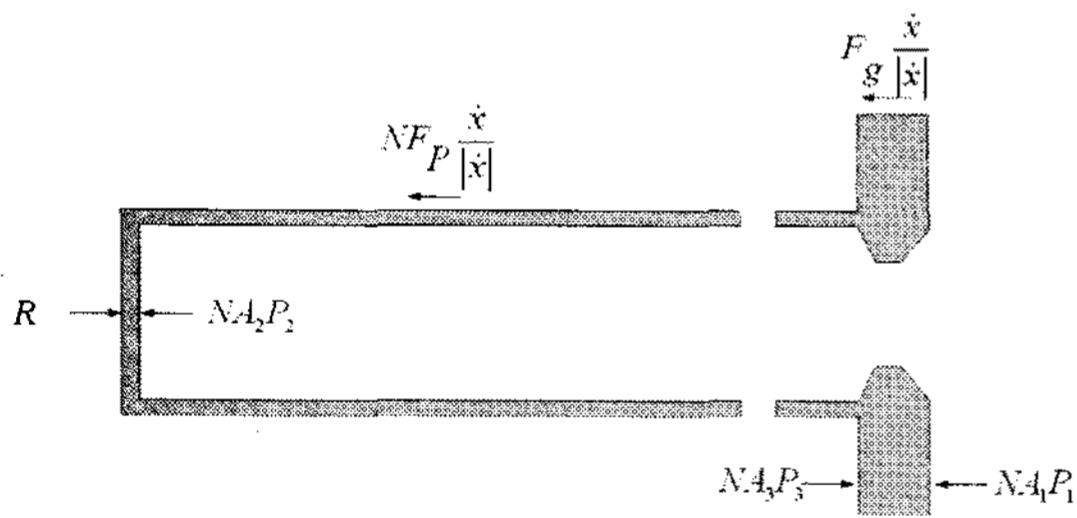


Fig. 4 Free body diagram of piston rod

식 (5)를 전개하면 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R = & \left[ NF_p + F_g + \frac{NA_R}{A_4} F_{fp} \right] \text{sgn}(\dot{x}) + \frac{NA_R}{A_4} W_p \sin \gamma \\
 & + \frac{NA_R A_N}{A_4} P_N - \frac{NA_R M_p}{A_4} \left[ \frac{A_4 - NA_R}{A_4} \right] \ddot{x} \\
 & + \frac{\rho}{2} \left[ \frac{N(A_1 + HA_2)^3}{a_1^2 c_1^2} \text{sgn}(v_1) \right] \dot{x}^2 \\
 & + \frac{\rho}{2} \left[ \frac{N(A_1 + A_2)^3}{a_2^2 c_2^2} \text{sgn}(v_2) + \frac{(NA_R)^3}{a_3^2 c_3^2} \text{sgn}(v_3) \right] \dot{x}^2
 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $P_1, P_2, P_3$ 는 각각 chamber 1, chamber 2, chamber 3의 유압과 기준 압력과의 차를 나타낸다.

### 3. FOOB 시스템의 시뮬레이션

#### 3.1 FIB와 FOOB의 비교

FOOB 시스템의 시뮬레이션을 수행하여 FOOB 시스템과 FIB 시스템, 정상모드와 오류모드를 비교

함으로써 FOOB 시스템의 타당성과 오류모드의 위험성 및 오류모드를 제어할 추가 댐퍼의 필요성을 설명하였다<sup>(5,6)</sup>. Fig. 5는 시간에 따른 breech force, 속도, 변위와 주퇴력을 보여준다. Breech force는 사각파 형식으로 가정하였다. 주퇴운동부가 초기에 전방으로 가속되어 일정한 속도에 도달 하였을 때 포가 격발 된다. 이때 발생한 breech force에 의해 속도가 양의 방향(주퇴방향)으로 최대가 되고, 주퇴 과정에 댐퍼의 저항력에 의해 속도가 줄어들어 정지된 후 복좌 시스템에 의해 원래의 위치(latch 위치)로 복귀한다. 변위는 전방가속 시 음의 방향(전방방향)으로 증가하다가 breech force에 의해 주퇴한 후, 최대 주퇴위치에서 다시 gas 압력에 의해 원래의 위치로 복귀한다. 주퇴력의 변화는 변위 그래프와 비슷하지만 마찰력에 의해 수치가 급격히 변하는 부분이 있다.

Ronald Gast 등<sup>(7)</sup>은 직사포(105 mm M35)에 FOOB를 사용하여 시뮬레이션과 테스트를 진행하였다. 시간의 변화에 따른 주퇴부의 변위, 속도 및 주퇴력의 시뮬레이션과 실험을 비교한 그래프에서 시뮬레이션과 실험이 비슷함을 볼 수 있었다. FIB와 FOOB의 시뮬레이션을 진행하였고(Fig. 6) 시뮬레이션 결과가 Ronald Gast 등<sup>(7)</sup>의 논문 결과와 비슷함을 알 수 있다. FOOB의 속도, 주퇴 변위, 주퇴력이 FIB보다 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다. 주퇴력의 크기를 비교할 때, FOOB 시스템의 최대 주퇴

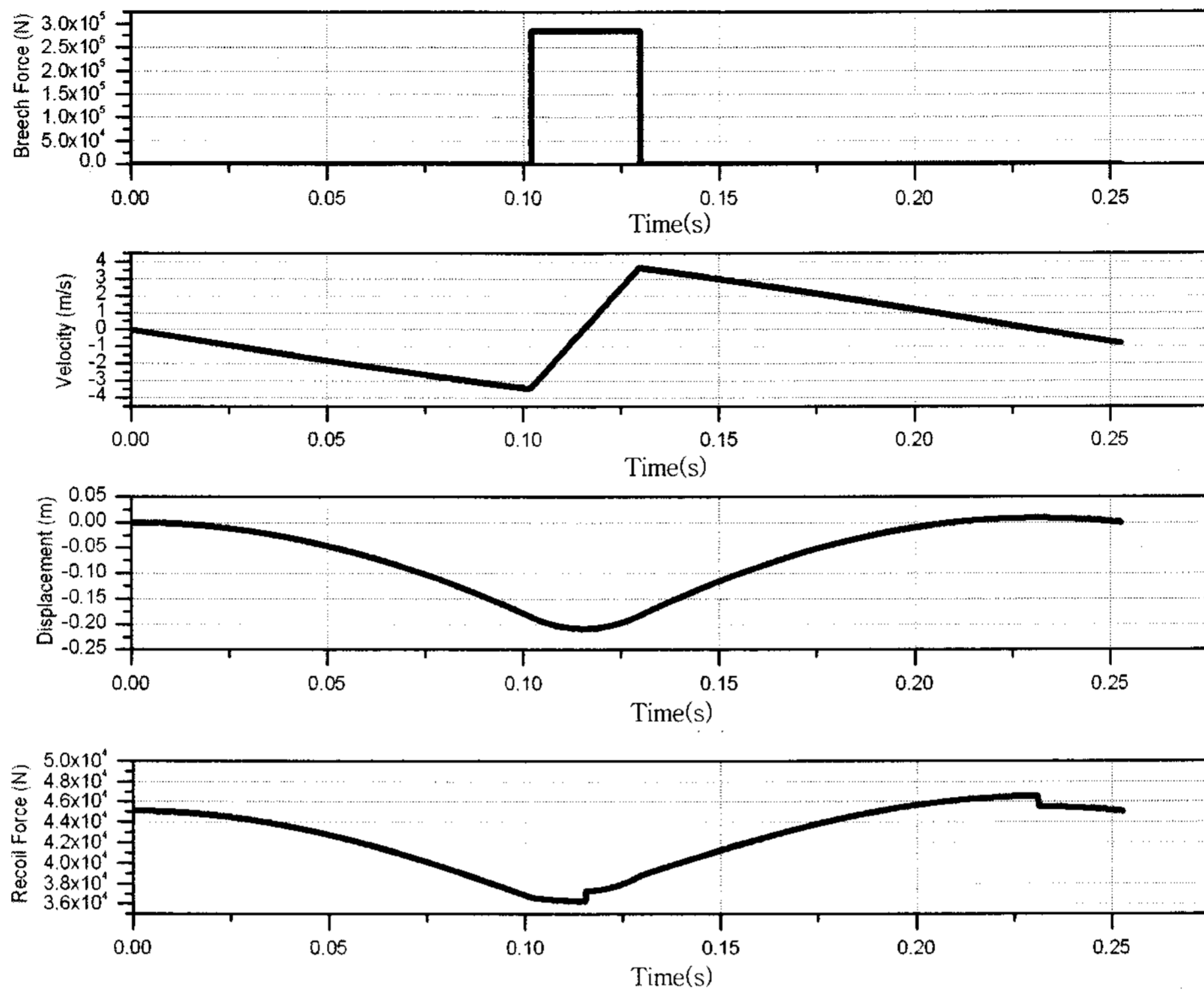


Fig. 5 Time histories of breach force, velocity, displacement and recoil force

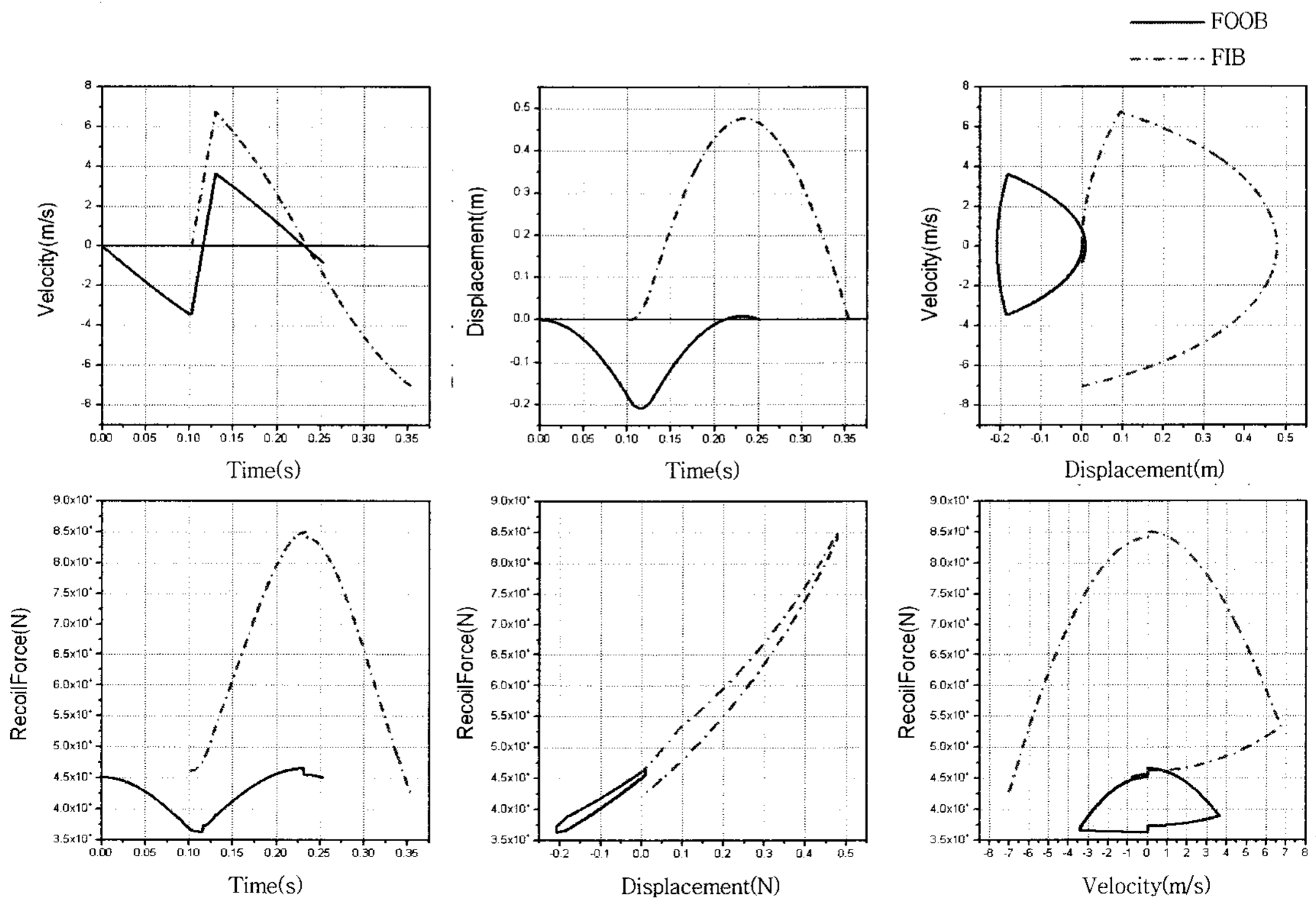


Fig. 6 FIB vs. FOOB



력은 FIB 시스템의 약 1/4이다. 이상의 결과로부터 FOOB 시스템은 FIB 시스템에 비해 현저한 주퇴력 감소가 가능함을 알 수 있다.

### 3.2 정상모드와 오류모드 비교

시뮬레이션 결과로부터 FOOB는 정상모드(normal mode)에서 현저한 주퇴력의 감소가 가능함을 알 수 있었다. 그러나, 발사 시, 추진제의 폭발 지연, 폭발 실패 등으로 인해 여러 가지 비정상적인 모드가 발생할 수 있다. 이러한 비정상적인 모드를 오류모드(fault mode)라고 하며, Fig. 7에서와 같이 prefire, hang-fire, misfire 등이 있다. Prefire란 발사 위치에 도달하기 전에 사격이 되는 경우이고, hang-fire란 발사 위치를 통과하고 사격이 되는 경우이며, misfire이란 사격이 되지 않은 경우이다. 오류모드가 발생할 경우, 정상모드에 비해 더 큰 주퇴력과 주퇴거리가 발생할 수 있다. 따라서, 오류모드가 발생할 경우 FOOB 시스템의 성능도 분석하여야 한다.

Fig. 8은 정상모드와 prefire 모드의 시뮬레이션 결과를 보여준다. Prefire의 경우 전방 가속 속도가 정상모드의 최대 전방 가속 속도 보다 작다. 그러므

로 전방 운동량이 정상모드 보다 적고 breech force에 의한 충격 양은 변하지 않으므로 주퇴거리와 주퇴력이 증가하게 되어 후방 mount에 큰 충

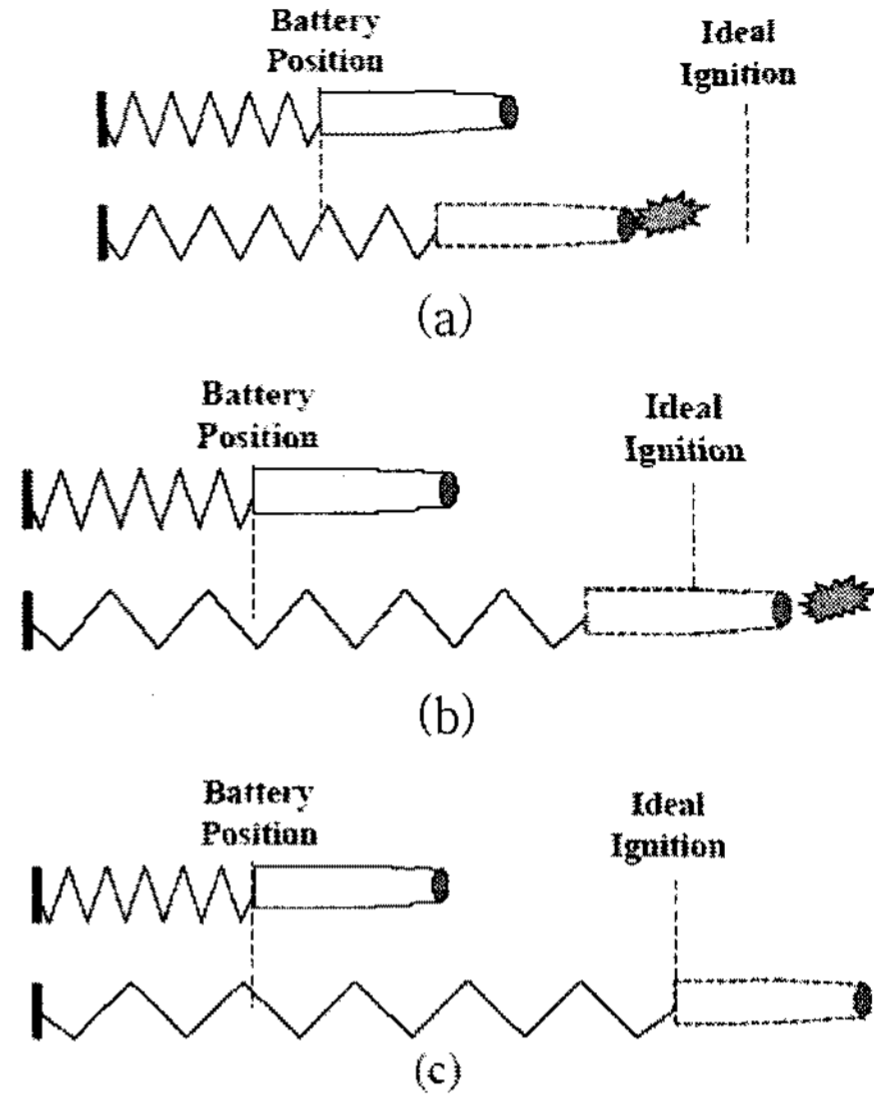


Fig. 7 Fault mode (a) prefire, (b) hang-fire, (c) misfire

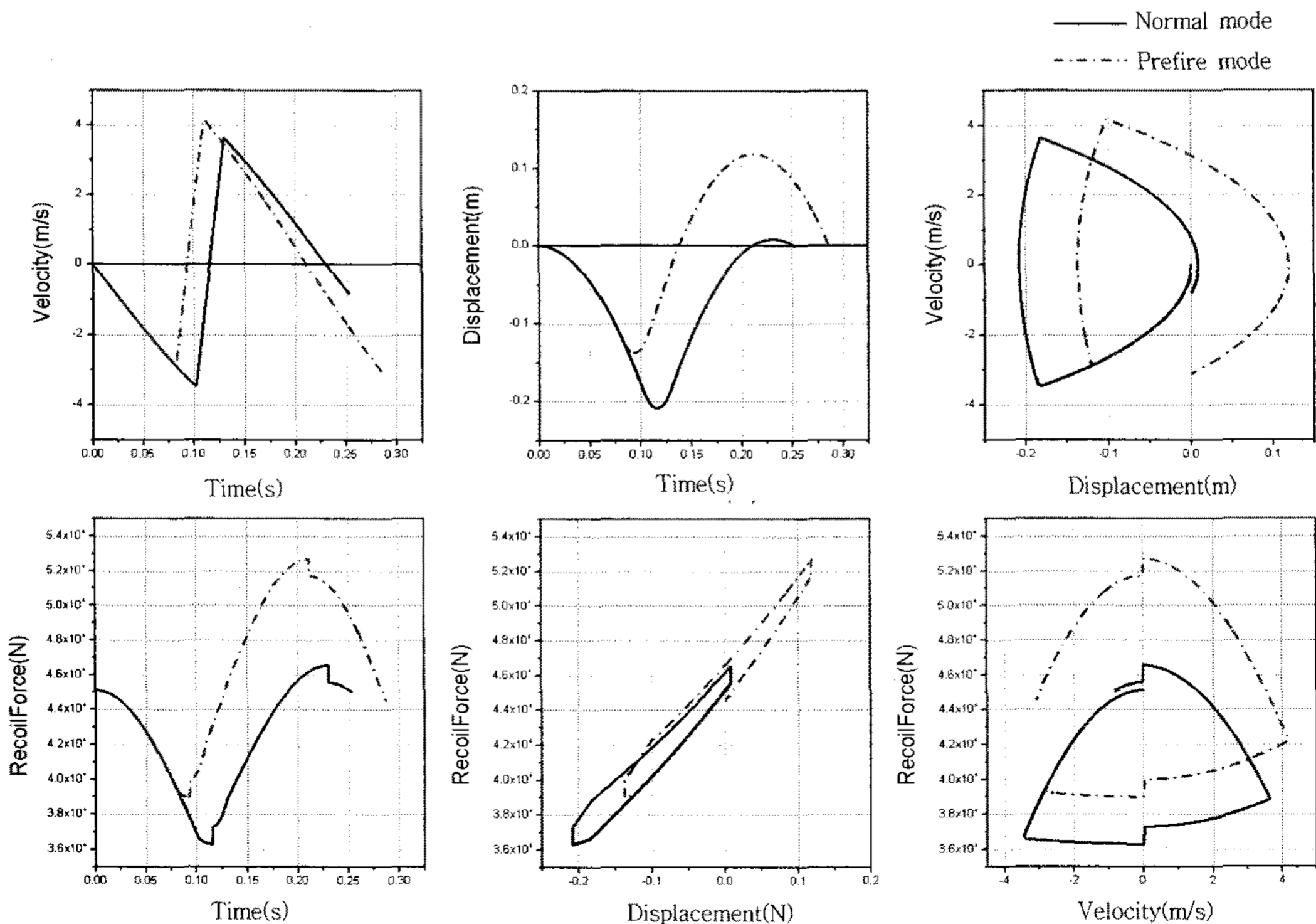


Fig. 8 Normal mode vs. prefire mode

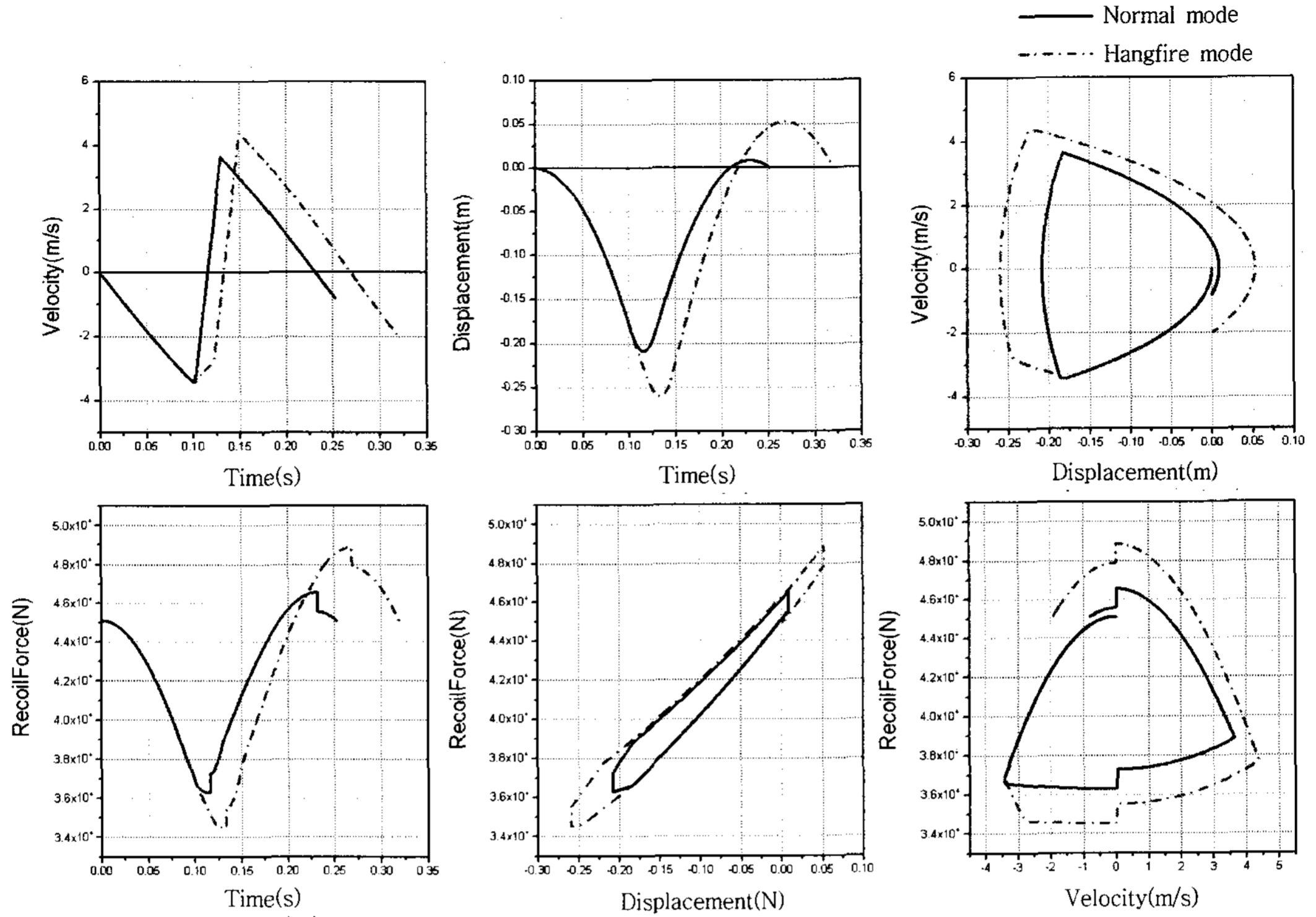


Fig. 9 Normal mode vs. hang-fire

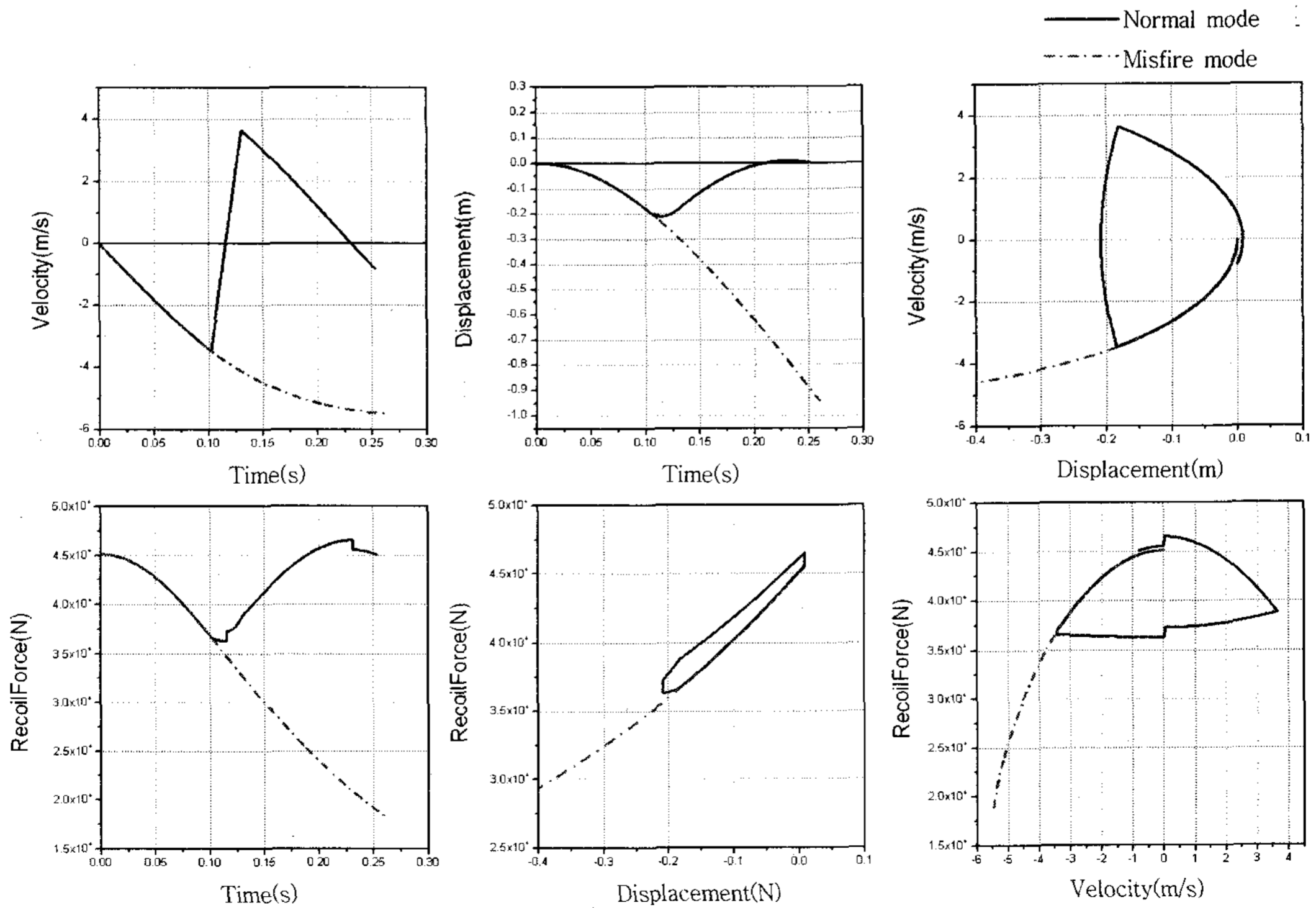


Fig. 10 Normal mode vs. misfire mode

격을 줄 수 있다. Prefire 시 속도, 주퇴 변위, 주퇴력이 정상모드 경우보다 현저하게 크다.

Fig. 9는 정상모드와 hang-fire 모드의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 이 경우는 발사 위치를 지나쳐 제어기가 오류모드로 인식하고 추가의 댐퍼가 작동하여 전방가속을 감소시키게 된다. 그러나, 속도가 감소되는 도중에 포가 발사되어 전방 운동량이 정상모드에 비해 작아지게 되지만 breech force에 의한 충격 양은 변하지 않는다. 따라서, 주퇴부의 주퇴거리 및 주퇴력이 정상모드 보다 현저하게 크게 된다.

Fig. 10은 정상모드와 misfire 모드를 비교한 그래프이다. 이 경우에는 사격이 되지 않으므로 breech force가 발생하지 않아 공기 압력에 의해 주퇴부가 전방 mount에 충돌하여 큰 충격을 줄 수 있다. Misfire 시 주퇴 운동이 발생하지 않는다.

### 3.3 MR댐퍼를 이용한 오류모드 제어

오류모드의 시뮬레이션 결과로부터 유압댐퍼만 사용하는 FOOB 시스템은 정상모드에서는 주퇴력을 감소시킬 수 있지만, 오류모드가 발생하는 경우, 오히려 주퇴변위와 주퇴력이 증가할 수 있다. 따라서, 오류모드 시 주퇴력 제어가 가능한 별도의 댐퍼가 필요하다. 이 연구에서는 이를 위해 MR댐퍼를 사용하였다<sup>(8,9)</sup>.

MR댐퍼의 운동방정식은 식 (7)과 같다.

$$F = \frac{12\eta A_p^2 L}{g^3 w} \times v + \frac{3\tau_y A_p l}{g} \text{sgn}(\dot{x}) \quad (7)$$

여기서  $L$ ,  $g$ ,  $\eta$ ,  $\omega$ ,  $v$ ,  $A_p$ ,  $\tau_y$ ,  $l$ 는 각각 길이, 유로의 크기, 유체의 점성, 깊이, 속도, 피스톤 헤드의 면적, 전단응력, 자기장 적용구간을 나타낸다.

Fig. 11은 속도에 따른 MR댐퍼의 감쇠력의 변화를 나타낸다. 전류를 가하지 않았을 때는 단지 유체의 흐름에 의한 힘만 존재 하므로 댐퍼의 힘이 최소이다. 전류가 증가할수록 MR유체의 특성에 의해 감쇠계수가 증가하므로 댐퍼 힘을 제어 할 수 있다.

제어 알고리즘은 아래와 같다. 속도와 변위를 측정 한다고 가정하고 전방 가속 변위가 정상모드의 최대 전방 가속 변위 보다 작은 상태에서 속도가 0보다 크면 prefire이 발생한 상황이므로 MR댐퍼에 전류를 가하여 주퇴부의 속도를 줄인다. 정상모드의 최대 전방 가속 변위 보다 큰데도 속도가 0보다 작

으면 포가 격발이 되지 않은 상황이므로 misfire 모드가 발생한 것으로 인식하고 MR댐퍼에 전류를 가하여 주퇴부의 속도를 줄이게 된다. Misfire 모드로 인식하고 MR댐퍼에 전류를 가하여 주퇴부를 잡아주는 과정에 즉 주퇴부의 최대 전방 가속 변위가 정상모드의 최대 전방 가속 변위 보다 큰 경우에 속도가 0보다 크면 hang-fire 모드로 인식하고 MR댐퍼에 전류를 가하여 주퇴부의 속도를 줄여 준다. 오류모드가 발생하는 위치와 오류모드의 종류에 따라 필요한 MR댐퍼의 힘이 다르므로 해당되는 상황에 따라 MR댐퍼에 전류를 가하게 된다. 이 연구에서는 단지 passive on 제어를 진행하여 MR댐퍼를 이용하여 오류모드 제어의 가능 여부를 고찰하였다.

MR댐퍼의 운동 방정식으로부터 알 수 있듯이 MR댐퍼에는 유체에 의한 저항력과 자기장에 의한 저항력이 있다. 자기장을 가하지 않아도 유체에 의한 저항력이 있으므로 MR댐퍼를 가하지 않았을 때에 비해 FOOB 시스템의 운동특성이 다르게 된다.

Fig. 12와 같이 prefire가 발생하는 경우 MR댐퍼에 전류를 가하지 않았을 때에는 저항력이 크게 증가하지 않지만 전류를 가하면 전기장에 의해 감쇠계수가 증가하므로 저항력이 증가하게 된다. 그러므로 오류모드가 발생 시 전류를 가하면 MR댐퍼를 이용하여 제어가 가능하다.

Fig. 13과 같이 hang-fire가 발생하는 경우 MR댐퍼에 전류를 가하여 속도를 줄이는 도중에 포가 발사하므로 정상모드에 비해 주퇴력과 주퇴거리가 현저히 크다. 포가 발사하였을 때 MR댐퍼에 전류를 가하면 전기장에 의해 감쇠계수가 증가하므로 주퇴력의 감소가 가능하다.

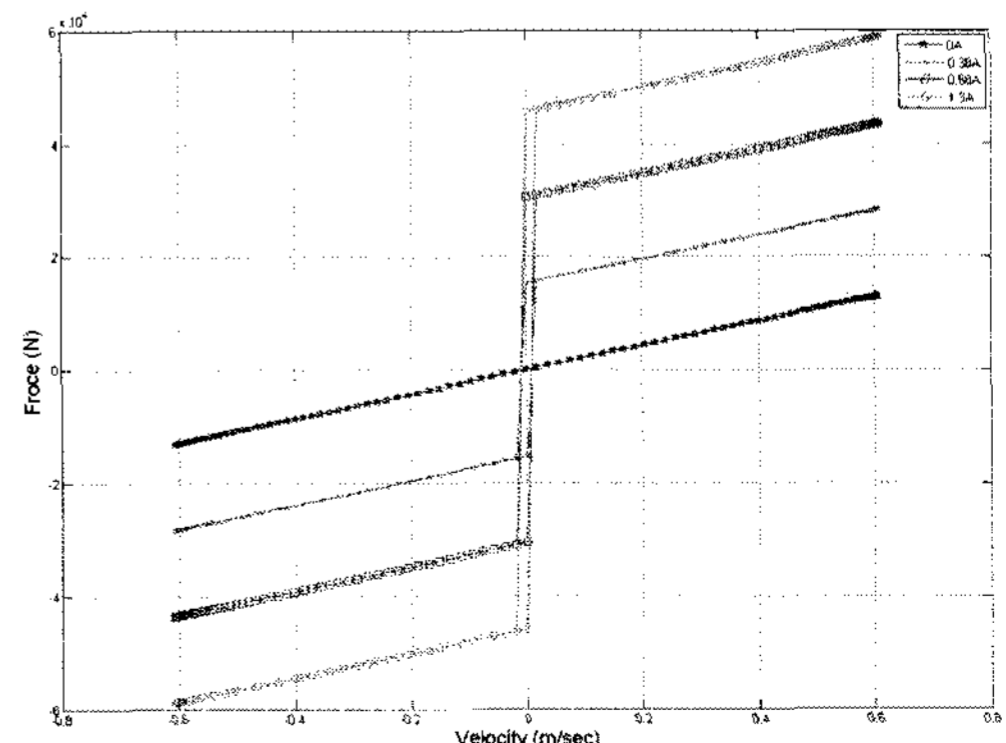


Fig. 11 Damping curves of MR damper



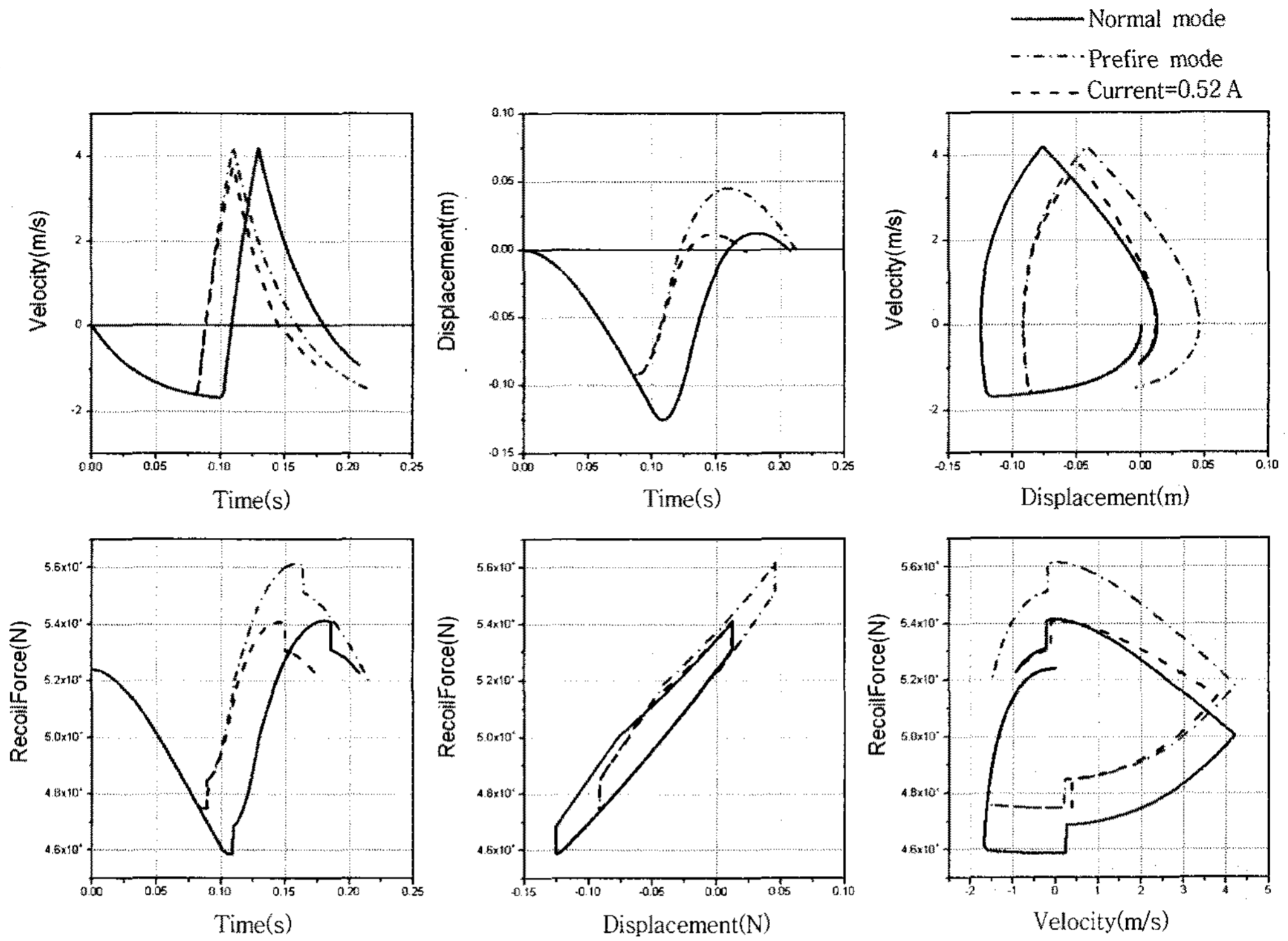


Fig. 12 Control of prefire mode using MR damper

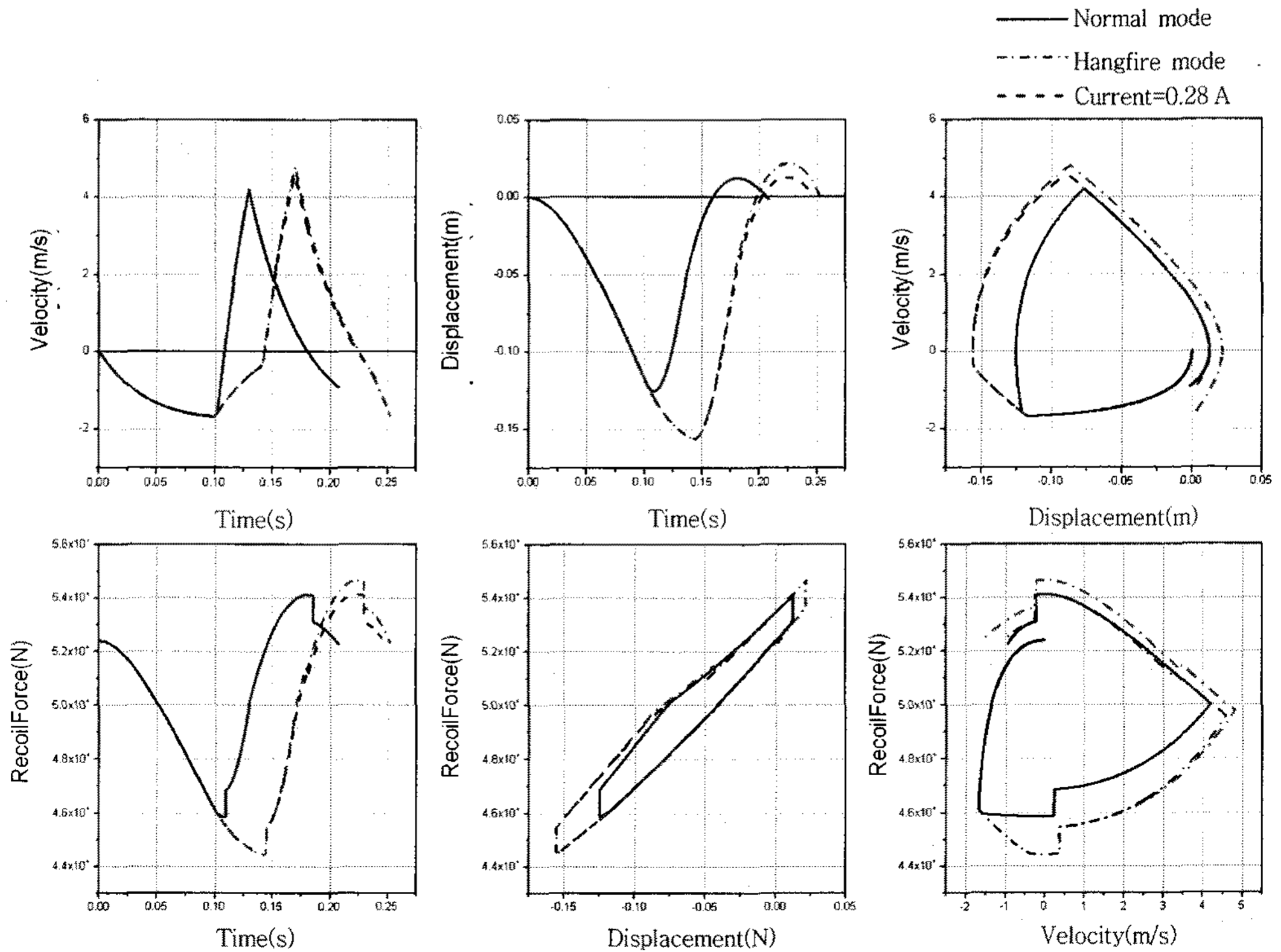


Fig. 13 Control of hang-fire mode using MR damper

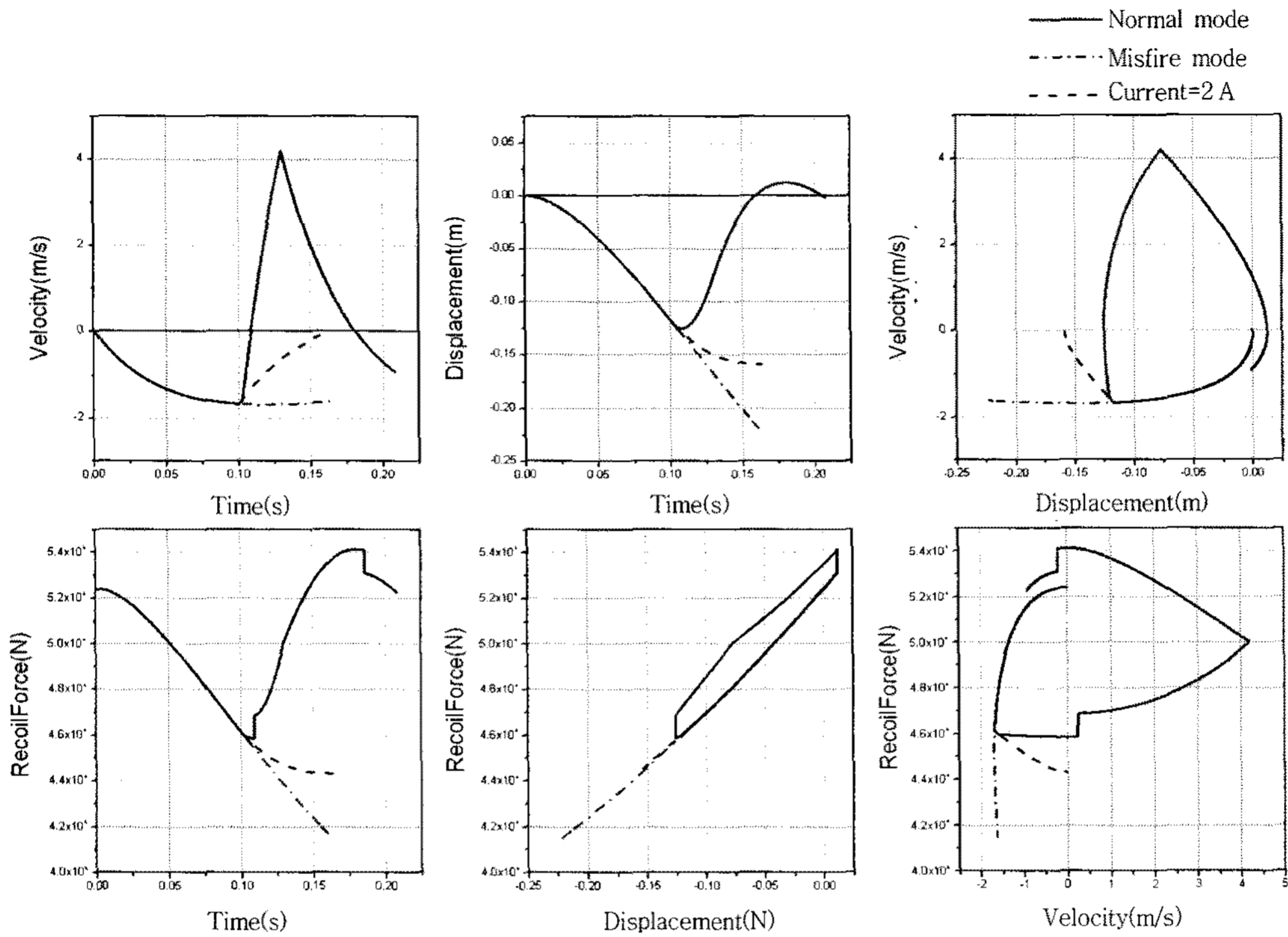


Fig. 14 Control of misfire mode using MR damper

Fig. 14와 같이 misfire가 발생하는 경우 MR댐퍼에 최대 전류를 가하여 감쇠력을 증가시켜 주퇴부의 전방으로의 운동을 줄이게 되어 전방 마운트에 대한 충격을 줄일 수 있다. 전방에서 멈춘 주퇴부는 추가적인 작동기에 의해 원래의 위치로 이동시켜야 한다.

오류모드가 발생하는 위치와 오류모드의 종류가 다름에 따라 전방 가속 운동량이 다르기 때문에 전방 가속운동량에 의해 흡수되는 breech force의 충격량이 다르게 된다. 그러므로 필요한 MR댐퍼의 힘이 다르게 되고 따라서 인가하는 전류의 양도 다르게 된다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 주퇴력 감소를 위한 FOOB 시스템의 동역학 모델을 수립하였다. 수립된 FOOB 시스템의 운동방정식으로부터 전방가속 및 주퇴운동의 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 정상상태의 경우 FIB 시스템에 비해 주퇴거리, 주퇴속도가 현저히 감소하였으며, 주퇴력의 최대크기는 1/4로

감소하였다. 따라서, FOOB 시스템은 줄어든 주퇴력으로 인해 FIB 시스템에 비해 화포의 질량이 줄어들게 된다. 그러나, prefire, hang-fire, misfire 등의 오류모드가 발생하게 되면 주퇴변위와 주퇴력이 설계값보다 커지게 되고, 주퇴시스템에 과도한 하중을 가하게 되어 심각한 손상을 입힐 수 있다. 따라서, 이 연구에서는 오류모드의 위험성과 오류모드의 제어 필요성을 시뮬레이션을 통해 보여 주었으며, 이러한 오류모드를 제어하기 위해 MR댐퍼를 사용하였다. 오류모드 제어에 대한 시뮬레이션 결과는 추가적인 MR댐퍼를 이용하여 FOOB 시스템이 모든 조건하에서 정상작동이 가능함을 보였다.

#### 후 기

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

#### 참 고 문 헌

- (1) Shin, C.-B., Bae, J.-S., Hwang, J.-H. and Kang, K.-J., 2007, "A Study on Control of a Soft Recoil System for Recoil Force Reduction", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, KSNVE07A-21-03.
- (2) Shin, C.-B., Bae, J.-S., Hwang, J.-H. and Kang, K.-J., 2008, "A Study on Fault Mode Control of a Soft Recoil System", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, KSNVE08S-08-15.
- (3) Nerdahl, M. C. and Frantz J. W., 1973, "Mathematical Models for Engineering Analysis And Design Howitzer, Light, Towed; 105MM Soft Recoil, XM204", Artillery Weapon Systems Directorate Weapons Laboratory-rock Island U.S. Army Weapons Command.
- (4) Garver H., 2003, "Design and Firing Tests of A Firing Out-of-battery Recoil Mechanism", Rock Island Arsenal.
- (5) Ahmadian, M., Appleton, R. J. and Norris, J. A. 2003, "Desigining Magneto-Rheological Dampers in a Fire Out-of-battery Recoil System", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 39, No.1, pp. 480~485.
- (6) Kathe, E. and Gast, R., 2002, "A Fire-out-of-battery Tank Gun: Theory And Simulation", US Army Armament Research, Development And Engineering Center.
- (7) Gast, R., Kathe, E., Gully, M., Durocher, R., Olsen, K. and Pigliavento, S., 2003, "Design, Testing, And Simulation Of An Experimental 105mm Fire Out-of-battery(FOOB) Direct Fire Gun", US Army Armament Research, Development And Engineering Center Close Combat Armaments Center Benet Laboratories Watervliet, N.Y. 12189-4000.
- (8) Poynor, J. C. 2001, "Innovative Designs for Magneto-Rheological Dampers", Master Thesis, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA.
- (9) Baek, W.-K. and Lee, J.-S., 2004, "High-performance Magneto-Rheological Damper Design", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 6, pp. 470~477.