

# 하이브리드 마운트 시스템의 제어 성능 특성에 대한 연구

## Study on Performance Characteristics of Control Algorithm Applied to Active Hybrid Mount System

신유희† · 조혜영\* · 문석준\* · 정우진\*\*

Yun-Ho Shin, Hye-Young Jo, Seok-Jun Moon and Woo-Jin Jung

### 1. 서 론

본 연구에서는 구조기인 소음을 발생시키는 함정 탑재 장비의 진동 저감을 목표로 능동형 하이브리드 마운트용 전자기식 작동기의 적용 제어기에 따른 성능 특성에 대해 고찰한다. 전 계를 포함하는 전자기식 작동기 시스템의 수학적 모형을 유도하고, 되먹임 제어(PD Control) 및 Filtered-X LMS 제어기의 적용 결과를 고찰한다.

### 2. 마운트 시스템의 모사실험

#### 2.1 마운트 시스템의 수학적 모형화

##### (1) 하이브리드 마운트의 구성

능동형 하이브리드 마운트는 점탄성 재료로 제작되는 수동 요소와 관심 주파수 구간에 대한 능동 제어 이론 적용을 위한 전자기식 작동기의 결합 형태로 구성된다. 배치형식에 따른 하이브리드 마운트의 동특성에 대한 비교 연구 결과를 바탕으로, 지반으로 전달되는 전달력 감소를 위하여 비-접촉식 병렬형 마운트를 하이브리드 마운트의 배치 형식으로 선정하였다, Fig. 1.

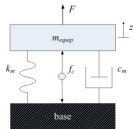


Fig. 1 Schematic Diagram of Non-contact Type Hybrid Mount System

##### (2) 마운트 시스템의 수학적 모형화

Fig. 2에는 본 연구에서 관심을 가지는 마운트 시스템에 대한 개략도를 입력힘을 포함하여 나타내었

으며, 식(1)과 (2)는 이에 대한 수학적 모형을 유도한 결과를 나타내었다. 도입된 작동기의 배치 특성상, 선체로 전달되는 힘을 줄이기 위해 적용된 힘의 반작용력이 상부 기진원으로 전달된다. 이에 대한 영향은 제어기 적용 결과를 통해 관찰한다.

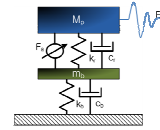


Fig. 2 Schematic Diagram of Hybrid Mount System Including Hull Structure

$$X = [x_p \quad \dot{x}_p \quad x_b \quad \dot{x}_b]^T \quad (1)$$

$$F = [F_o \quad F_a]^T \quad (2)$$

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -k_p/M_p & -c_p/M_p & k_r/M_p & c_r/M_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ k_r/m_b & c_r/m_b & -(k_r+k_b)/m_b & -(c_r+c_b)/m_b \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1/M_p & 1/M_p \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/m_b \end{bmatrix} F$$

##### (3) 전계를 포함하는 마운트 시스템의 수학적 모형화

전자기식 작동기의 동적 거동 특성이 제어에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 해석을 통해 추출한 관련 매개변수들과 Fig. 3에 나타난 작동기의 전기적 특성을 이용하여 식(3)과 (4)와 같이 전 계를 포함한 마운트 시스템의 수학적 모형을 유도하였다. 이는 가진원의 거동으로 인한 역기전력이 계에 미치는 영향을 포함한다.

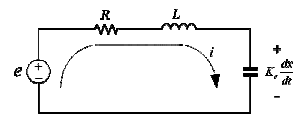


Fig. 3 Electric Circuit of Electro-magnetic Actuator

$$X = [x_p \quad \dot{x}_p \quad x_b \quad \dot{x}_b \quad i]^T \quad (3)$$

$$F = [F_o \quad V]^T$$

† 교신저자; 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

E-mail : shinyh77@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7211, Fax : 042-868-7418

\* 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

\*\* 국방과학연구소

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_p/M_p & -c_p/M_p & k_r/M_p & c_r/M_p & k_r/M_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ k_r/m_b & c_r/m_b & -(k_r+k_b) & -(c_r+c_b) & -k_r/m_b \\ 0 & -k_r/L & 0 & k_r/L & -R/L \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1/M_p & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1/L \end{bmatrix} F \quad (4)$$

## 2.2 제어기를 포함한 모사실험 결과

가진원에 대한 실측 결과를 바탕으로 모사실험을 위하여 식(5)와 같이 결정된 입력힘( $F_0$ )을 이용하여 수행한 모사실험 결과는 다음과 같다.

$$F_0 = 300 \times \sin(2\pi(f_0 + 1/6)) + \text{Random Noise [N]} \quad (5)$$

$$f_0 = 26.67 \text{ Hz (1600 rpm)}$$

### (1) 수동 시스템 모사실험 결과

전기적 특성을 포함한 수동 계에 대한 모사실험 결과는 Fig. 4와 같으며, 기진원의 거동으로 인한 역기전력으로 인하여 계에 일정 힘이 인가됨을 확인할 수 있다.

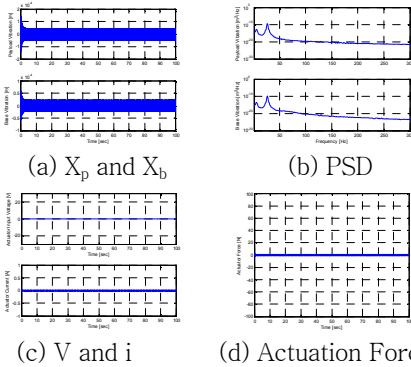


Fig. 4 Passive System Simulation Results

### (2) 되먹임(PD) 제어기 적용 결과

되먹임(PD) 제어기 적용 결과, 전기적 특성 포함 유무에 따른 과도 구간에서의 거동 특성 차이는 관찰되나, 안정 구간 변화를 제외한 제어 성능에 미치는 영향은 크지 않으며, 상부 기진원에 대한 역기전력의 영향이 크지 않음을 Fig. 5~6을 통해 관찰할 수 있다.

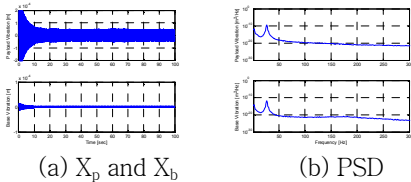


Fig. 5 Active System Simulation Results w/o Electric Characteristics of Actuator (PD)

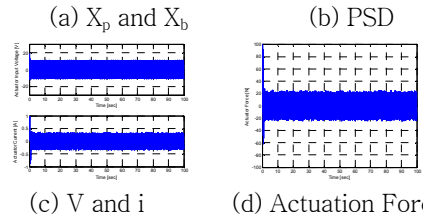
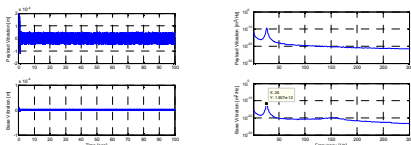


Fig. 6 Active System Simulation Results w/ Electric Characteristics of Actuator (PD)

### (3) Filtered-X LMS 제어기 적용 결과

Filtered-X LMS 제어기 적용 결과, 되먹임 제어기와 유사하게 전기적 특성 포함 유무에 따른 과도 구간에서의 거동 특성 차이는 관찰되나, 안정 구간 변화를 제외한 제어 성능에 미치는 영향은 크지 않으며, 상부 기진원에 대한 역기전력의 영향이 크지 않음을 Fig. 7~8을 통해 관찰할 수 있다.

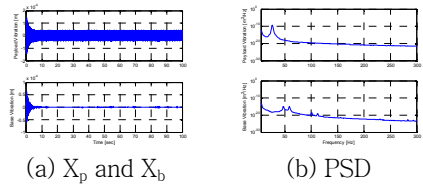


Fig. 7 Active System Simulation Results w/o Electric Characteristics of Actuator (FxLMS)

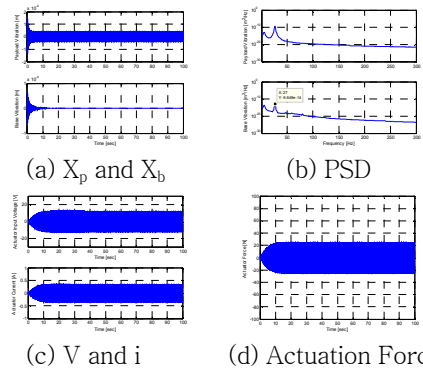


Fig. 8 Active System Simulation Results w/ Electric Characteristics of Actuator (FxLMS)

## 3. 결론

본 연구에서는 능동형 하이브리드 마운트의 전자 기식 작동기에 적용 가능한 제어기를 포함하여 모사실험을 수행하였다. 일반적인 되먹임 제어기와 협대역 주파수 구간 제어에 용이한 Filtered-X LMS 제어기에 대해 검토하였으며, 두 제어기에 대한 적용 가능성 및 계에 미치는 영향을 논의하였다.

## 후 기

본 연구는 국방과학연구소의 연구지원으로 수행되었습니다.