

# 철도 차량 횡진동제어기 성능 평가를 위한 HILS 개념 설계

## Hardware in the Loop Simulation Concept Design

### for the Active Control of Railway Vehicle

이재하\* · 광문규† · 양동호\* · 유원희\*\*

Jae-Ha Lee, Moon-Kyu Kwak, Dong-Ho Yang, Won-Hee You

#### 1. 서론

철도차량은 일반적으로 답면 구배를 가진 좌우 차륜이 하나의 축으로 연결된 윤축으로 구성되어 레일위를 주행하는 구조로 이루어져 있다. 이러한 방식은 여러 장점을 지니고 있어 지난 100 여 년 동안 철도차량에 이용되어 오고 있다.

최근에는 주행안정성과 곡선주행성능을 극대화할 수 있는 반 능동 또는 능동 조향 대차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근에 그 가시적인 성과가 해외연구사례를 통해 발표되고 있다. 기존의 공, 유압식 액추에이터를 적용한 현가장치의 경우 고속화, 첨단화되고 있는 철도차량의 진동을 효과적으로 저감시키면서 경제성을 갖기에는 한계가 있다. 능동 마운트는 기존 철도차량의 주행성능 한계를 극복하기 위한 차량기술로서 능동 톨딩기술과 더불어 승차감을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 핵심 기술이다. 본 연구에서는 실제 차량에 대한 동적 모델과 실제 능동마운트를 결합함으로써 실 주행 시 발생할 수 있는 문제점 및 능동마운트의 성능을 사전에 파악하고자 한다. 이를 위해 철도차량용 능동마운트에 대한 실차 실험을 대체할 수 있는 HILS(Hardware-in-the Loop Simulation)를 개발하고자 한다. HILS를 사용할 경우 실차 실험에 따른 시간적 비용적 문제를 해결할 수 있는데, HILS 방법은 개발초기단계부터 실제 시스템과 이론 모델을 결합하여 실시간 시뮬레이션을 통하여 시스템의 성능을 평가하므로 이론 모델을 토대로 한 컴퓨터 시뮬레이션보다 실제 시스템의 성능에 가깝게 성능평가를 할 수 있다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 철도차량용 능동마운트 실험을 HILS 로 대체하는 경우 고려할 수 있는 HILS 모델 방법을 연구하고 다양한 동적 모델에 대한 HILS 구

현 방법을 제시하였다. 그리고 실제 HILS 실험 구성에 대해 논하였다. HILS 방법론 검증에 위해 작은 크기의 HILS 실험 장치를 제작하여 하드웨어적인 문제점을 분석하였다.

#### 2. 기반진동이 가해지는 이자유도 진동계 HILS

철도 차량을 가장 간단하게 묘사한 경우 대차와 캐빈으로 이루어진 이자유도계 진동계를 생각할 수 있다. 여기에 휠의 거동을 추가하는 경우 다음 그림 1 과 같은 동적 모델을 생각할 수 있다. 이는 휠의 거동으로 인해 발생하는 진동을 억제하는 능동진동제어 시스템으로 볼 수 있다.

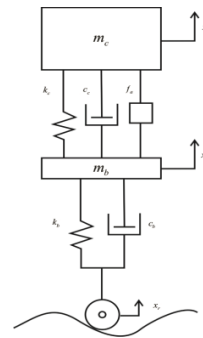


Fig.1 기반 진동이 가해지는 이자유도 진동계

이 경우에 대한 운동방정식은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{bmatrix} m_c & 0 \\ 0 & m_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_c \\ \ddot{x}_b \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_s & -c_s \\ -c_s & c_s + c_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{x}_b \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_s & -k_s \\ -k_s & k_s + k_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_c \\ x_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} f_a + \begin{Bmatrix} 0 \\ c_p \dot{x}_r + k_p x_r \end{Bmatrix}$$

† 교신저자; 동국대학교 기계로봇에너지공학과

E-mail : Kwakm@dgu.edu

Tel : (02) 2260-3705

\* 동국대학교 기계공학과

\*\* 한국철도기술 연구원

이 모델에 대해 다음과 같은 2 종류의 HILS 시스템을 고려할 수 있다. 그림 2 는 절대변위를 구현하는 경우이고 그림 3 은 상대 변위를 구현하는 경우이다.

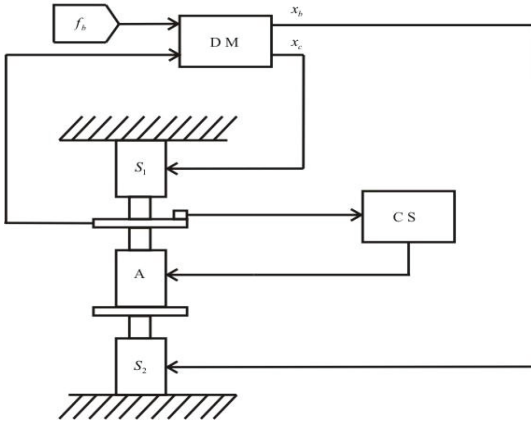


Fig.2 가속도계를 사용하는 절대 변위 2 중 HILS

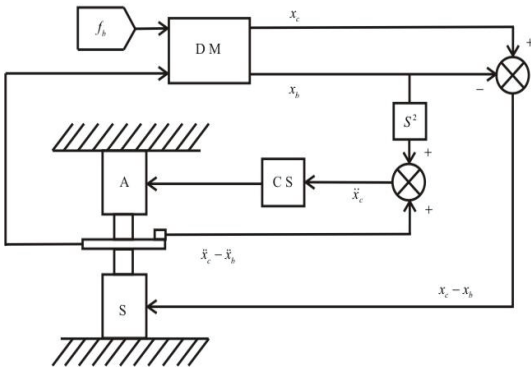


Fig.3 가속도계를 사용하는 상대 변위 단일 HILS

그림 2 는 2 개의 서보 액추에이터를 이용하여 절대변위를 구현하고 능동진동제어를 위한 한 개의 액추에이터로 구성된 HILS 를 보여준다. 이 시스템은 대차와 캐빈의 거동을 시각적으로 확인 할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 그림 3 의 상대변위를 이용하는 경우보다 서보시스템이 한 개 더 필요하다는 단점이 있다. 상대변위를 사용하는 그림 3 의 경우 하드웨어적으로는 단순해지지만 상대변위이기 때문에 실제 모델의 거동이 어떻게 나타나는지는 내부 변위 값을 확인해야 알 수 있다. 다음 그림은 그림 3 에 근거해 제작된 작은 크기의 HILS 실험 장치를 보여준다.

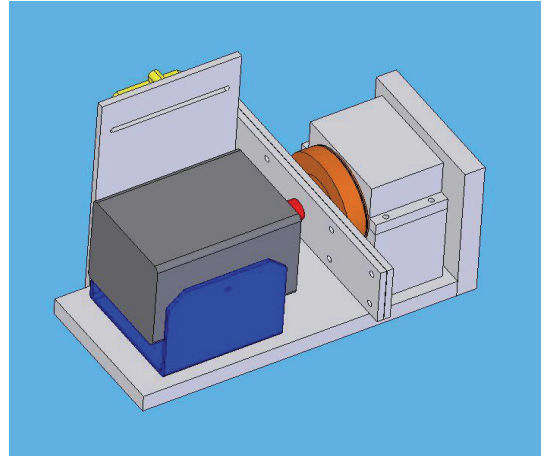


Fig.4 Mini-HILS 시스템

그림에서 2 개의 웨이커가 사용되었는데 한 개는 B&K 사의 481 타입 미니웨이커가 HILS 모델의 변위를 구현하는 서보시스템으로 사용되었고 다른 한 개는 PCB 사의 K2007E 타입 미니웨이커가 능동 액추에이터로 사용되었다. 서보시스템 변위 피드백을 위해 Micro-epsilon 사의 ILD2220 레이저 변위 측정계가 사용되었고 실차에서와 같은 센서 사용을 위해 PCB 사의 100mv/g 가속도계가 사용되었다. 이 장치를 이용해 HILS 시스템의 하드웨어적인 문제점을 분석할 예정이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 철도차량 능동진동제어 시스템의 성능 검증을 위한 HILS 시스템 설계에 대해 연구하였다. 먼저 철도 차량 동적 모델을 이자유도 진동계로 간략화하고 이 시스템에 대한 HILS 구동방법을 논하였다. HILS 구성에 있어 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- (1) 이자유도 진동계에 대해 절대 변위를 구현하는 경우 변위 구현 서보시스템이 한 개 더 필요하다.
- (2) 경제적인 관점에서 상대변위를 구현하는 HILS 시스템이 적당하다.

현재 실험장치를 통해 상대변위를 구현하는 소형 HILS 시스템을 구성하여 진동제어성능평가 시스템의 타당성을 조사 중이다.

### 후기

본 연구는 지식 경제부 “ 철도차량 능동현가장치 성능평가용 HILS 시스템 개발 및 구축 ” 의 일환으로 수행되었습니다.