



철도차량의 HILS

허 석*

(건국대학교 기계설계학과)

1. 머리말

철도차량은 대용량의 대중교통시스템으로 수요가 한정되어 있으며, 개발에서 적용까지 많은 기간이 소요된다. 그러나 철도차량은 환경친화적인 녹색수송시스템으로서 현재 그 수요가 매우 증가되고 있으며, 향후로도 이 추세는 계속될 것이다. 그에 따라 승객의 요구는 점차 고급화 될 것이며, 고급화 중에서도 가장 중요한 요소인 양질의 승차감에 대한 요구는 필연적인 것으로서 향후 철도차량 산업의 핵심적인 경쟁요소가 될 것이다.

철도선진국이라 할 수 있는 일본이나 유럽의 여러 나라는 이미 고속열차에 능동형 현가기술을 적용하고 있으며, 우리나라와 유사한 수준을 유지하고 있는 중국 또한 능동형 현가기술 개발에 전력을 다하고 있다. 우리나라도 철도차량용 능동형 현가기술 개발과 관련하여 해외에 적극적으로 진출하기 위해서는 동 기술의 개발이 시급한 시점이다.

능동형 현가장치기술은 철도차량을 이용하는 승객에게 양질의 서비스를 제공하기 위한 고급 기술이며, 철도차량은 녹색수송시스템으로서 지식경제부에서 추진하고 있는 산업원천 전략기술에 크게 부합하는 산업분야로 정부의 역할이 크다 할 수 있다.

일본에서는 1995년 고속철도차량용 진동제어 기술로 반능동형 현가장치를 개발하여 세계 최초로 신간선 철도차량에 양산 적용하기 시작하였으며, 그 후 전자기기 기술을 적용한 능동형 현가장치를 개발하여 2001년 8월부터 신간선에 세계 최초로 적용하여 영업운전을 시작하였다. 현재 생산되고 있는 신간선 전 편성의 4~7차량에는 횡방향 능동형 현가장치를 채택하고 있는데, 열차 1편성 당 횡방향으로 허용기준을 어긋나는 차량들만을 대상으로 선택적으로 능동형 현가장치를 적용하고 있다. 그러나 2002년 이후에는 전 신간선 차량에 능동형 현가장치를 채택하고 있다.

2. HILS구현을 위한 현가장치 모델

능동형 댐퍼의 성능을 시험하기 위해서는 운전 중인 철도차량에 부착해 그 성능을 시험해 보는 것이 가장 좋다. 그러나 철도차량의 일부를 개조해 능동형 댐퍼를 부착해야 하기 때문에 시간적으로나 예산상의 제한을 받을 수밖에 없다. 따라서 일차적으로 제작된 능동형 댐퍼의 성능을 간단하게 테스트해 보기 위해 HILS(hardware-in-the-loop simulation)를 개발하여 사용하게 된다. HILS를 구현하기 위해서는 먼저 능동형 댐퍼가 부착될 철도차량의 동적 모델이 필요하다.

* E-mail : heoseok@konkuk.ac.kr / (02) 2260-8581

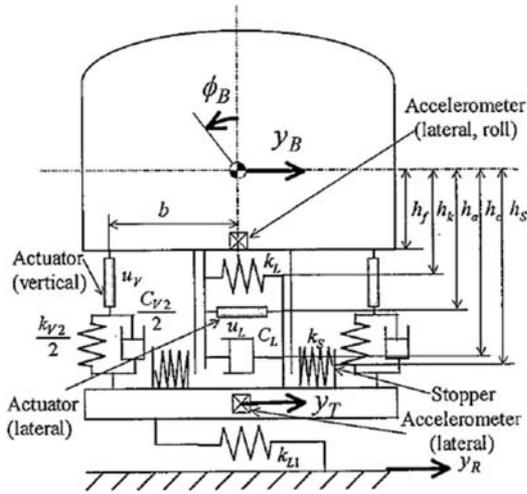


그림 1 HILS 구현을 위한 동적 모델

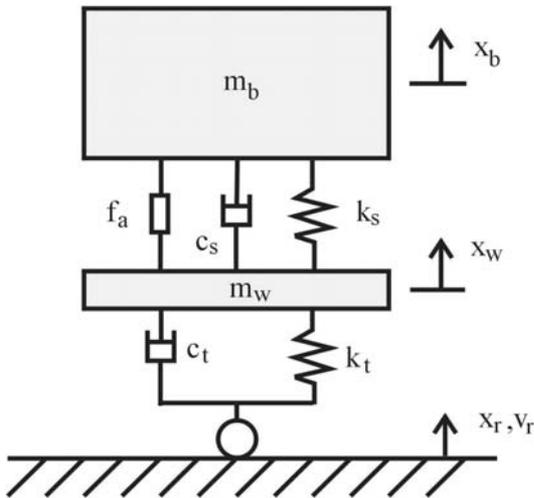


그림 2 HILS 구현을 위한 단순화된 2자유도계 모델

동적 모델은 그림 1, 2와 같이 철도차량을 물리적 모델로 치환한 뒤, 더 간단한 2자유도계 진동 모델로 변환할 수 있다. 물론 ADAMS와 같은 동적 해석 소프트웨어를 사용해서 HILS 모델을 유도할 수도 있다. 유도된 HILS 모델의 타당성 검증을 위해서는 시뮬레이션을 통해 그 응답을 먼저 확인해 보아야 한다. 그림 3의 simulink 모델은 HILS 모델의 타당성 검증을 위해 작성된 프로그램이다.

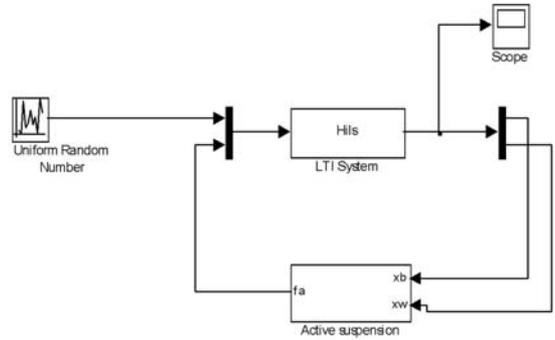


그림 3 HILS 시뮬레이션 검증을 위한 simulink 모델

그림 3에서는 능동 현가장치가 수치모델로 입력되었지만 실제 능동 현가장치를 하드웨어 인터페이스를 통해 연결할 수 있다.

3. HILS를 위한 인터페이스 장치

HILS를 적용하기 위해서는 수치 모델을 실시간으로 하드웨어와 인터페이스하는 장치가 필요한데 이를 위해 사용되는 장비가 dSpace prototyping 시스템이다. 물론 전용 컴퓨터를 만들 수도 있으나 Mathwork사의 Real-Time Workshop(RTW)을 이용해 수학 모델을 구현할 수 있기 때문에 개발자 입장에서 편리하다. 이와 비슷한 하드웨어 시스템으로 National Instruments사의 Labview를 사용할 수도 있다.

4. 철도차량용 HILS를 위한 기본 개념

철도차량용 능동형 댐퍼의 성능을 시험해 볼 수 있는 HILS 장비의 구현을 위해서는 능동 제어 알고리즘도 실시간으로 구현되어야 한다. 따라서 그림 5와 같은 HILS와 CS(control system)이 동시에 실시간으로 구현되는 시스템을 개발하여야 한다.

그림 5의 HILS+CS는 먼저 능동형 댐퍼의 로드 셀로부터 계측된 반력은 A/D를 거쳐 동적 모델에 입력된다. 동시에 철도차량에 가해지는 외란에 대한 데이터도 동적 모델에 입력된다. 이들 값

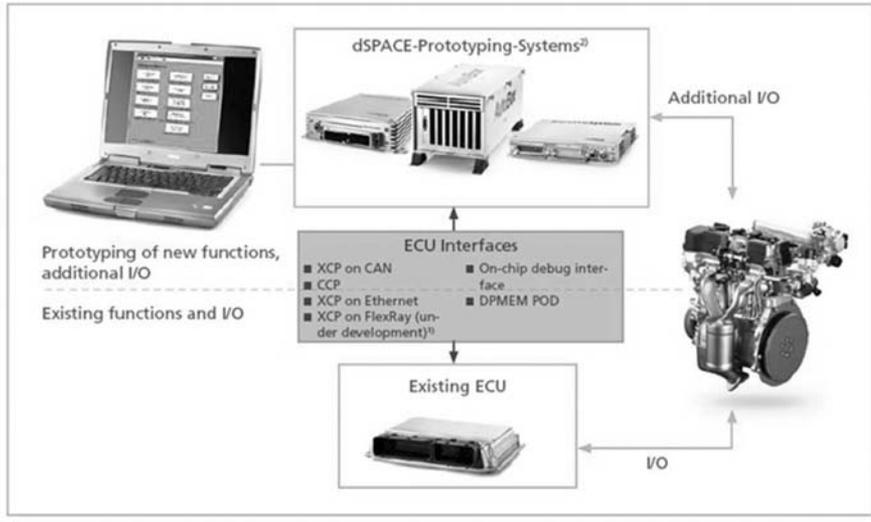


그림 4 ECU 테스트를 위해 사용된 dSpace prototyping 시스템

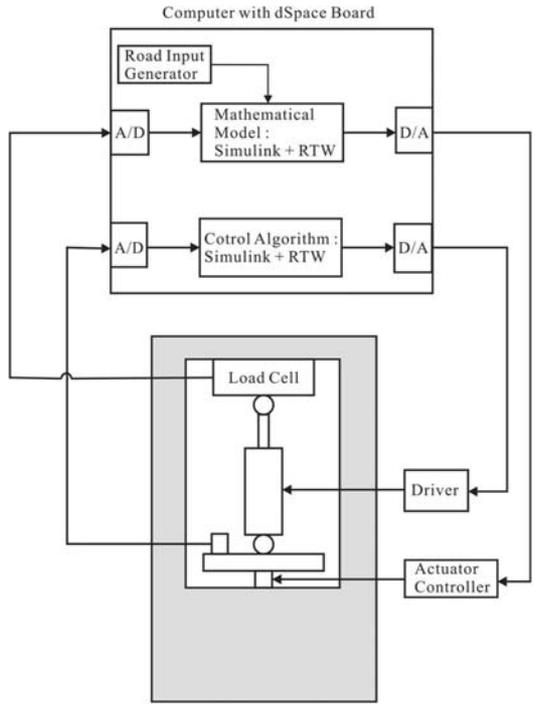


그림 5 철도차량용 능동형 댐퍼 시험을 위한 HILS+CS 기본 개념도

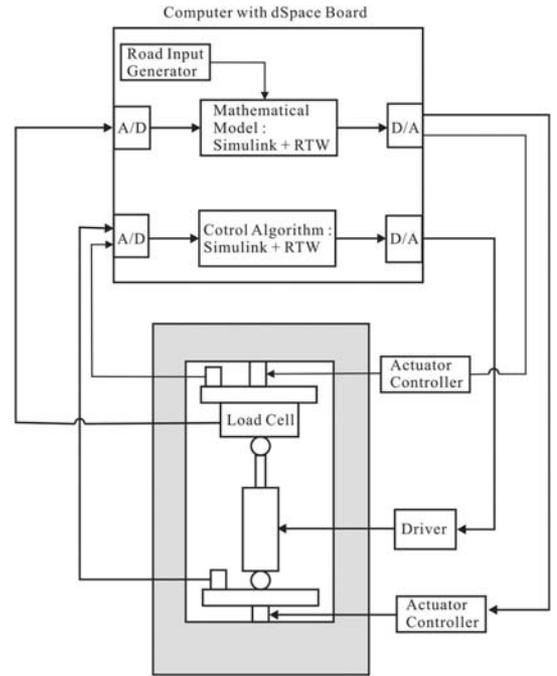


그림 6 철도차량용 능동형 댐퍼 시험을 위한 2자유도 HILS+CS 기본 개념도

에 대해 철도차량의 동적 모델을 이용해 변위에 관한 동적 응답을 구한 후 변위값을 액추에이터

가 구현해 실제 차량의 동적 거동을 구현한다. HILS와는 별도로 철도차량에 해당하는 액추에

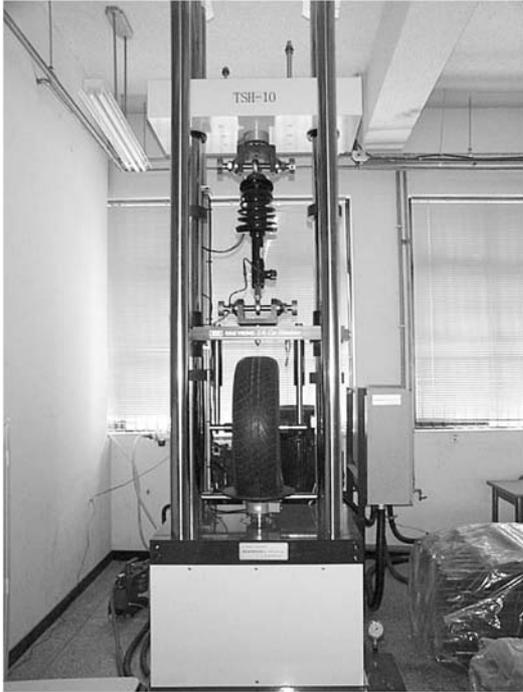


그림 7 차량 현가장치 시험을 위한 HILS 장치

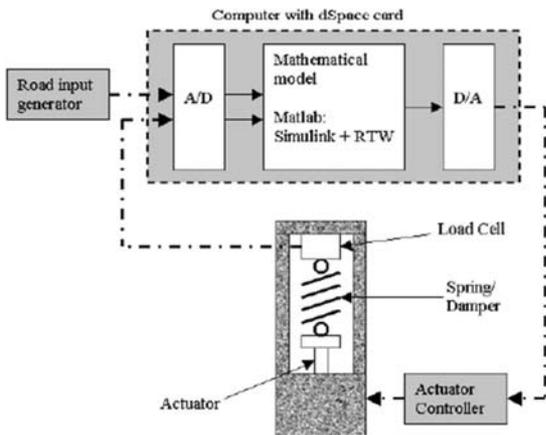


그림 8 차량용 스프링 댐퍼 시험을 위한 HILS 기본 개념도

이터와 능동형 댐퍼의 결합부에 가속도계를 설치하고 가속도 신호를 제어 알고리즘에 제공해 능동형 댐퍼를 구동하게 된다. 이와 같은 시스템을 사용하는 경우 능동형 댐퍼의 성능을 손쉽게 파악할 수 있다. 만일 레일로부터의 외란이 대차

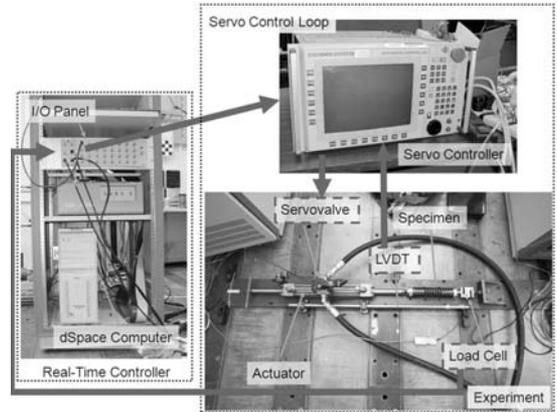


그림 9 실험실 기반 소형 HILS 예

를 통해 객차에 전달되는 진동을 고려한다면 능동형 댐퍼는 대차와 객차 사이에 놓이게 되는데 이런 경우를 모사하는 최소한의 모델은 2자유도계가 된다. 이를 HILS로 구현하기 위해서는 대차와 객차의 움직임을 표현하는 2개의 액추에이터가 필요하게 된다. 이 경우에 대한 HILS+CS는 그림 6과 같다.

5. HILS를 이용한 현가장치 실험 예

HILS 방법을 사용하면 아주 쉽게 능동형 댐퍼의 성능을 예측할 수 있다. 그림 7은 차량의 충격 흡수장치를 시험하는 HILS를 보여주고 있다. 일반 승용차의 현가 장치를 시험하기 위한 HILS 장비는 그림 7처럼 비교적 간단하게 설치가 가능하나 철도차량의 능동 현가장치를 시험하기 위한 HILS 장비는 용량 차이로 인해 당연히 커지게 된다.

그렇지만 HILS를 사용하면 철도차량의 동적 특성을 컴퓨터로 모사하여 단품 시험을 실제 차량에 부착했을 경우와 유사한 환경하에서 수행할 수 있다. 따라서 반복적인 실험이 가능하고 손쉽게 댐퍼를 교체하면서 그 성능을 시험해 볼 수 있다. 철도차량의 시험이 쉽지 않음을 고려할 때 HILS를 도입하는 것은 실제 실험보다 경제적이

라고 말할 수 있다.

6. 맺음말

이상에서와 같이 철도차량용 능동 현가장치를 가장 많이 채택한 나라는 일본과 독일, 스웨덴 및 프랑스 등이다. 선진국들에서의 능동 현가장치 채택 상황 및 적용 추세를 살펴 보면 앞으로 철도 차량에 능동 현가장치가 얼마나 많이 도입될 지의 추산이 가능하다.

이미 일본에서 선두차량과 특실에 능동 현가장치를 적용하였고 이는 철도차량의 고속화에 따라 승차감 확보를 위하여 더 우수한 현가장치를 채용하는 전망을 보여 주는 사례이며, 과거 일부

차량에만 적용 되었던 고급기술인 능동 현가장치 기술의 적용이 일반화되어 가는 추세이다.

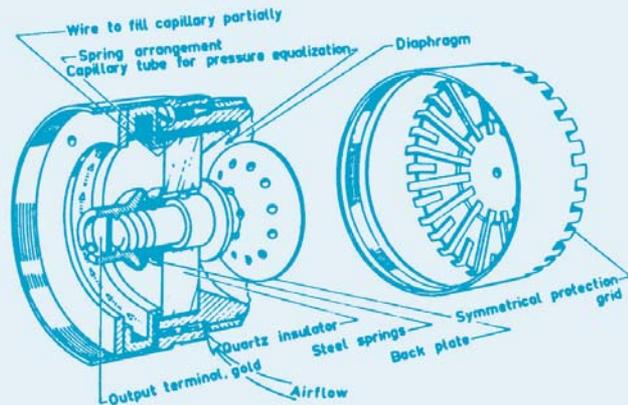
우리나라도 설계속도 350 km/h의 KTX-II의 개발을 완료하여 2010년 호남고속철도 구간에서 영업운전에 투입될 예정이다. 현재는 기관차 방식의 집중식 추진시스템을 갖는 KTX 및 KTX-II와는 달리 분산식 추진시스템을 갖는 EMU형의 설계속도 400 km/h급 고속철도차량을 개발하고 있다. 이렇게 철도차량이 고속화될 경우 승차감이 나빠지게 되는 것은 당연한 일이므로 이를 대비하여 철도차량용 능동 현가장치를 개발함으로써, 적시에 실차에 적용하는 것이 매우 중요한 일이다. 또한, 철도차량용 현가장치의 HILS에 관한 연구개발이 필요한 시점이다. **KSNVE**

소음·진동 용어해설

(출처 : “소음·진동 용어해설집”, (사)한국소음진동공학회 발행)

Air Film 공기막

콘덴서형의 마이크로폰에서 진동막(diaphragm)과 뒷판(back plate) 사이의 공기층을 말하며, 이 부분은 두께가 매우 얇고, 축전성이 적어 주로 고주파 성분에 영향을 준다. 또한 공기막의 순응성(compliance)은 진동막의 15 % 정도이다.



마이크로폰 카트리지의 단면도
(공기흐름경로가 화살표로 표시되어 있다.)

All Pass Function 무한 대역 통과 함수

이 함수는 복소 평면의 허수축을 대칭으로 영점과 극점이 위치한 형태의 함수로서 크기는 1이고, 이 함수의 역함수는 원래 함수와 동일하다. 예를 들면, 임의의 유리 함수로 표현되는 안정한 인과계(causal system)의 계함수(system function)를 최소 위상 함수(minimum phase function)와 무한 대역 통과 함수로 표현할 때 얻을 수 있다.

참고 최소 위상함수(minimum phase function)