



# 철도차량 능동 현가기술 동향

박준혁, 허현무, 김남포, 유원희\*  
(한국철도기술연구원)

## 1. 머리말

철도차량은 환경친화적인 녹색수송교통시스템으로서 전 세계적으로 고속화 추세와 더불어 그 수요가 매우 증가되고 있는 추세이다. 이에 따라 승객의 요구는 점차 고급화 될 것이며 고급화 중에서도 가장 중요한 핵심요소인 양질의 승차감에 대한 요구는 필연적인 것으로서 향후 철도차량 산업의 핵심적인 경쟁요소가 될 수 있다.

한편, 동력학 및 진동소음 측면에서 바라보는 미래의 철도차량 기술은 능동 제어기술을 응용하여 기존 철도차량의 주행성능의 한계를 극복하기 위한 차량기술로서 능동 현가기술, 능동 조향기술, 능동 판토틀라프, 능동 틸팅기술 등이 각광받을 것으로 보인다. 이 중에서 능동 현가기술은 능동 틸팅기술과 더불어 승차감을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 핵심기술이다.

철도선진국이라 할 수 있는 일본이나 유럽의 여러 나라는 이미 고속열차에 능동형 현가기술을 적용하고 있으며, 우리나라와 유사한 기술수준을 보유하고 있는 중국 또한 능동형 현가기술 개발에 전력을 다하고 있다. 이는 기술 개발 성공 시 기존 차량과의 차별성 부각을 통하여 성능 향상과 경제적 부가가치를 높일 수 있는 철도차량의 미래 핵심기술로서 철도차량시장의 경쟁력 제고와 함께 미래 기술을 선점할 수 있기 때문이다.

## 2. 국외 철도차량 능동 현가기술 동향

### 2.1 일본

곡선부에서의 횡방향 승차감 향상을 위한 능동형 현가장치 기술은 일본 및 유럽의 선진 철도국에서는 이미 오래 전에 개발된 기술로서, 일본의 경우에는 10여 년 전부터 신간선 철도차량에 적용하여 실용화 된 기술이다.

철도차량의 고속화와 더불어 기존의 곡선반경을 가진 곡선부에서 철도차량의 속도를 향상시킬 경우 틸팅시스템에 의해 제어되는 준정적 가속도 성분 이외에 승차감에 영향을 주는 동적 가속도 성분이 증가됨으로써 필연적으로 승차감에 저하를 가져오게 된다. 따라서 철도차량의 속도를 향상시키는 동시에 양질의 횡방향 승차감을 확보하기 위해서는 능동형 현가장치의 도입이 필수적이다.

이에 따라 일본에서는 1995년 고속철도차량용 진동제어기술로 반능동 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 중 횡방향으로 허용기준을 어긋나

\* E-mail : whyou@krii.re.kr / (031) 460-5670

는 차량들만을 대상으로 선택적으로 능동형 현가장치를 적용하고 있다. 그러나 2002년 이후에는 전 신간선 차량에 능동형 현가장치를 채택하고 있다. 능동형 현가장치를 채택한 일본의 신간

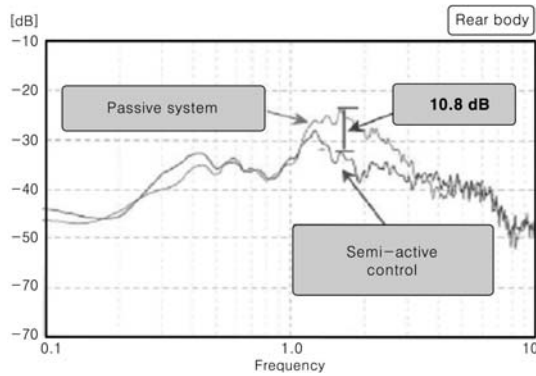


그림 1 반능동 현가장치의 진동제어효과



그림 2 가와사키 중공업의 메카트로닉스 대차

선 열차는 표 1과 같으며, 그림 1은 반능동 현가장치의 진동제어효과를 보여주고 있다.

한편, 2008년 독일의 베를린에서 열린 INNOTRANS 전시회에서 일본의 가와사키 중공업은 독자적으로 개발한 능동 현가장치와 틸팅시스템이 적용된 시제 대차를 출품하여 많은 관심을 받았다(그림 2). 이 현가장치는 기존선의 속도향상을 위한 틸팅열차의 횡방향 승차감에 영향을 미치는 차체의 횡진동을 저감할 목적으로 개발된 것으로서 기존 신간선 차량에서 사용되는 공압 및 유압 액추에이터를 대체할 목적으로 응답성과 내구성이 우수한 선형모터 형태의 솔레노이드 액추에이터를 적용함으로써 신뢰성이 향상된 것이 특징이다. 신간선 차량에 적용 시험결과 차체진동이 약 10 dB 저감되었다.

## 2.2 독일

독일의 경우에도 산악지형이 많은 관계로 철도의 곡선반경이 짧기 때문에 일본과 마찬가지로 횡방향 승차감 향상을 위한 능동 현가장치의 개발에 많은 노력을 기울이고 있으며 최근 들어 더욱 활발히 연구를 하고 있다. ICE-1 및 ICE-3의 경우 독일철도청(DB)에서 요구하는 승차감 기준을 초과하고 있으나, 능동 현가장치를 적용하여 개발한 시제열차의 경우 DB에서 요구하는 승차감 수준을 충분히 만족하고 있다.

독일 철도차량의 능동 현가계에 사용되는 액추에이터는 hydro-pneumatic 액추에이터로서 기존

표 1 일본의 능동 현가시스템 적용 차량

신간선 열차	반능동 현가장치 장착 차량	능동 현가장치 장착 차량	생산 차량 수
JR 토카이 700계	선두차량, 특실, 판토품자프 장착차량 등 7량		1998년 이후 378량
JR 서일본 500계	선두차량, 특실, 판토품자프 장착차량 등 7량		1995년 이후 63량
JR 서일본 700E계	선두차량, 특실, 판토품자프 장착차량 등 4량		1999년 이후 32량
JR 동일본 E2계	선두차량과 특실을 제외한 전 차량	선두차량, 특실	2002년 이후 147량
JR 동일본 E3계	선두차량을 제외한 전 차량	선두차량	2002년 이후 28량
JR 구주	전 차량		30량

의 철도차량이 가지고 있는 기계식 브레이크용 컴프레서에서 발생되는 공기를 이용하여 유압 피스톤을 밀어주는 독특한 방식으로 제작되었다. 이것의 장점 중의 하나는 공압이 작용하지 않는 상태에서는 2차 현가장치의 스프링과 함께 수동댐퍼로서 역할을 수행한다는 것이다. 또한, 횡방향 승차감의 경우 최대 1 Hz 까지, 수직 승차감의 경우 6~10 Hz 범위에서 동시에 제어할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 액추에이터 구조가 복

잡해질 가능성이 있으며, 공압과 유압을 동시에 제어해야 하는 고난도의 제어기술이 필요하고, 유압과 공압 모두 추가적인 유지보수를 해야 하는 단점이 있으며, 차체 하부에 공압 및 유압을 위한 부품들이 부가된다는 단점도 있다. 그림 3은 독일의 hydro-pneumatic 액추에이터 작동원리를 보여주고 있으며, 그림 4는 이 액추에이터에

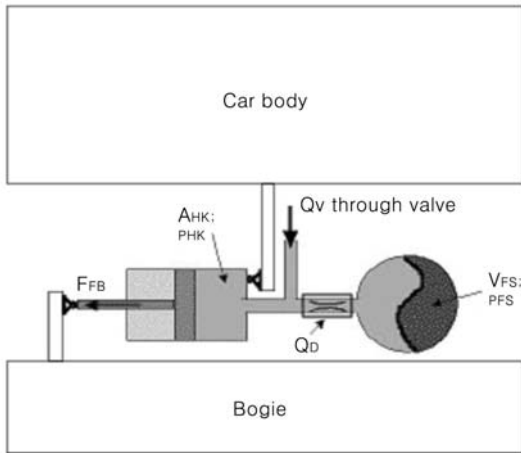


그림 3 독일 hydro-pneumatic 액추에이터

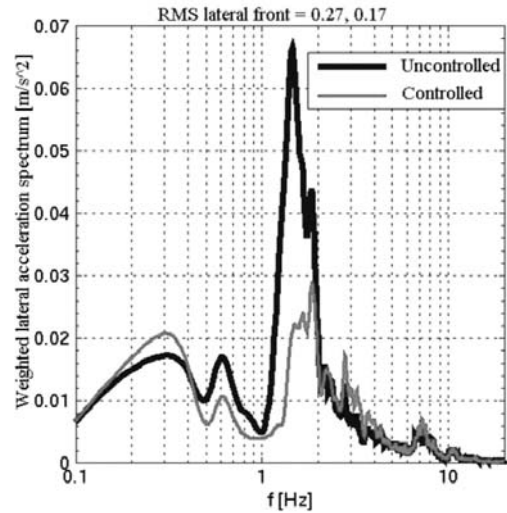


그림 4 횡방향 승차감 제어효과

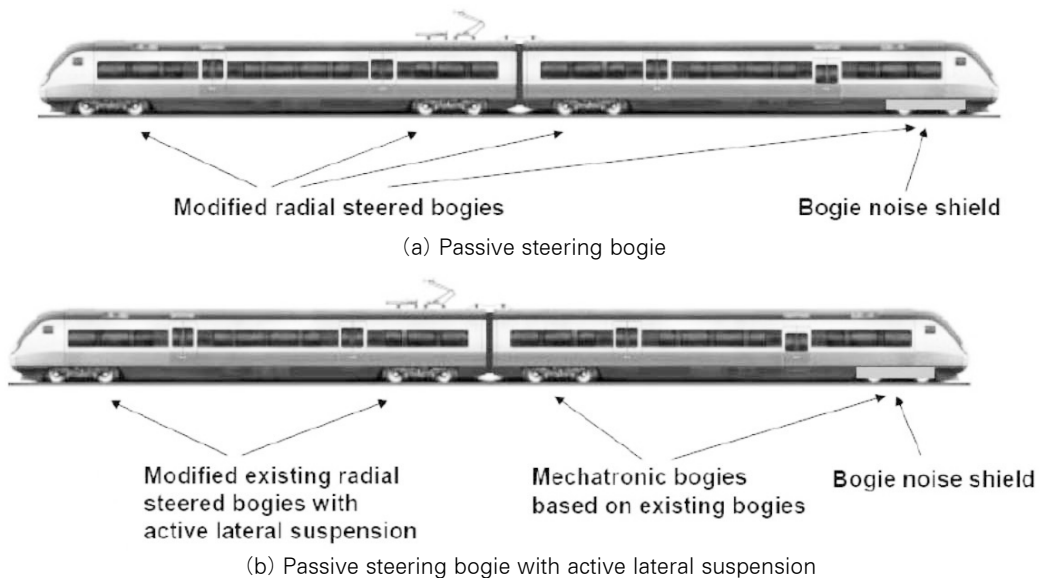


그림 5 Regina250 시제열차(틸팅열차)

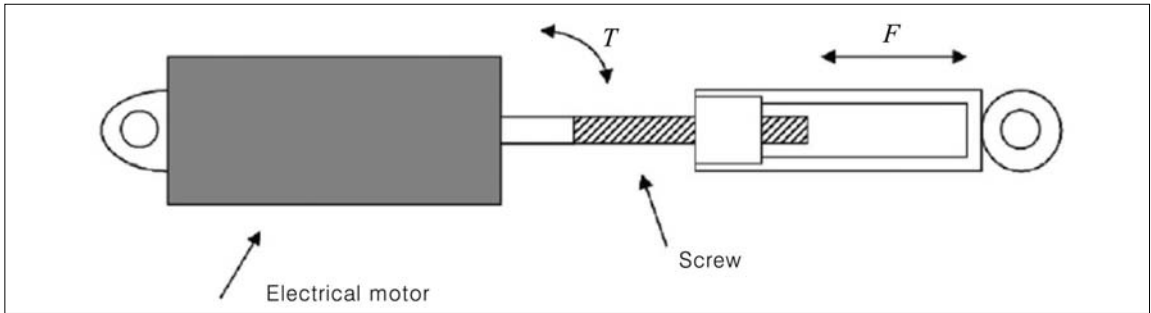


그림 6 스웨덴 전기기계식 액추에이터

의한 능동 현가장치의 승차감 제어효과를 보여주고 있다.

### 2.3 스웨덴

스웨덴의 경우 현재 200 km/h의 기관차 견인 탈팅열차(X-2000)를 동일한 노선에서 250 km/h의 EMU(electrical multiple unit)형 탈팅열차(REGINA250)로 대체하기 위한 국가 프로젝트를 수행하고 있다. 이를 위하여 2차 현가장치를 능동적으로 제어하기 위한 연구개발을 집중 수행하여 현재 시제열차에 대한 시험운행을 실시하고 있으며, 2012년 공식 영업운전을 시작할 것으로 보인다.

이 열차에 사용된 액추에이터는 전기기계식 액추에이터로서 전기모터가 볼스크류를 회전시켜서 가진력을 발생시킨다. 이 방식의 액추에이터는 추가적인 모터의 도입으로 인하여 대차와 차체 사이에 공간확보의 어려움이 존재할 가능성이 있다. 여기에 사용되는 액추에이터는 평균 추력 13 kN, 피크 추력 37 kN 정도이다.

### 2.4 기타

프랑스의 경우 기존의 TGV를 개량한 AGV를 대서양선에 투입하기 위해 횡방향 능동 현가장치를 개발하여 시험운행까지 마친 사례가 있다. 실제 영업운전에는 투입하지 않았으나 속도를 향상시킬 경우 이를 실제 적용할 것으로 예측되고 있다.

## 3. 국내 철도차량 능동 현가기술 동향

국내에서는 그동안 능동형 현가장치에 대한 연구가 미미하였다. 2008년 한국철도기술연구원에서 G7-고속전철기술개발사업으로 개발된 한국형 고속열차(HSR 350x)에 신간선에서 사용되고 있는 반능동형 댐퍼를 적용하여 승차감 향상에 대한 시험이 시도된 바 있으나 그 효과는 미미하였다. 이는 철도차량의 동특성을 충분히 이해하고, 제어방식이나 동역학 제어시스템 등에 대한 전반적인 검토가 이루어진 후 충분한 시험을 통해 최적화과정을 거쳐야 했으나 일회성 시도에 한정되어 체계적인 연구가 추진되지 못했기 때문이라 할 수 있다.

최근에 이르러 2010년 4월 지식경제부의 산업원천기술개발사업의 일환으로 '철도차량용 능동 현가장치 기술개발' 과제가 철도기술연구원의 주관으로 착수되었다. 이 과제의 목표는 중·고속 철도차량의 횡방향 진동승차감을 향상시키기 위한 능동형 현가기술을 개발하는 것이다. 이를 위하여 반능동 현가기술과 전능동 현가기술이 개발되는데, 반능동 현가기술개발에 사용될 대용량 MR(magneto-rheology)댐퍼와 전능동 현가기술개발에 사용될 대용량 전자기식 선형 액추에이터가 동시에 개발되고 있다. MR댐퍼를 이용한 반능동 현가기술을 전능동 현가기술에 비해 승차감제어 성능이 떨어지지만 상대적으로 저렴하고 용이하게 실차에 적용할 수 있다는

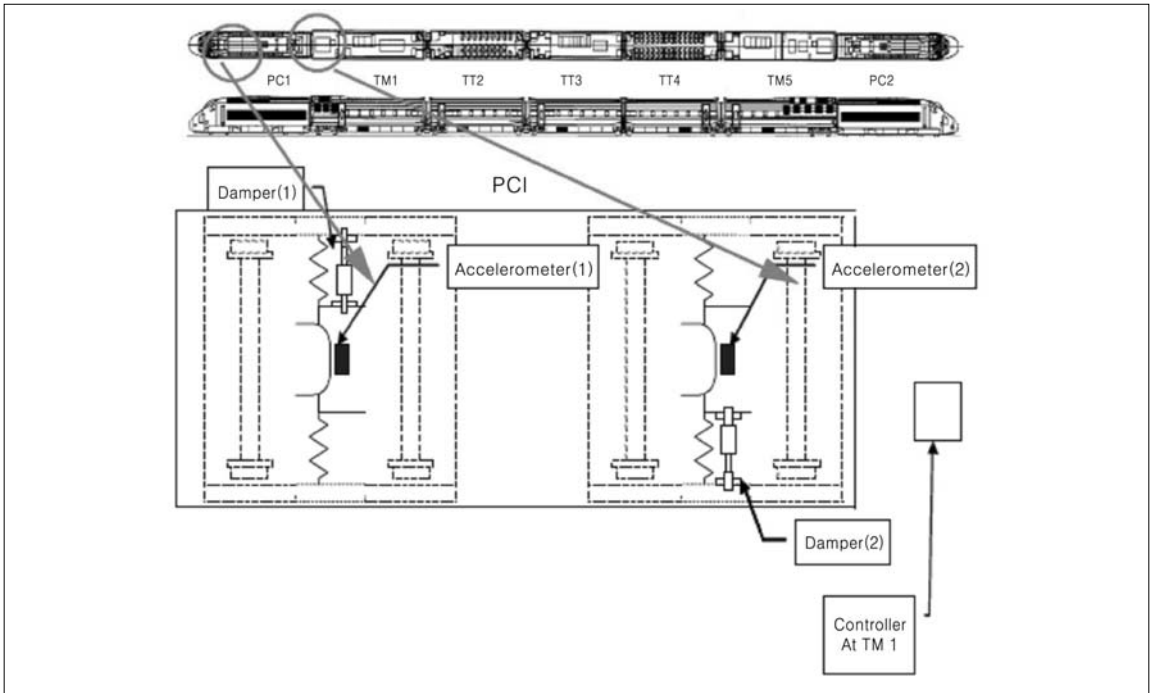


그림 7 G7-고속전철 능동형 댐퍼

장점이 있으며, 선형 액추에이터를 이용한 능동형 현가기술은 가격이 비싸지만 상대적으로 승차감제어 성능이 우수하다는 장점이 있다. 최종 개발된 철도차량용 능동형 현가기술은 중속 또는 고속열차를 대상으로 실차에 적용되어 그 효과가 검증될 예정이다.

이 철도차량용 능동형 현가기술이 개발되면 중·고속열차의 승차감 향상에 크게 기여할 것으로 예상되며, 아울러 속도향상의 효과도 볼 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 맺음말

외국의 경우 철도차량용 능동형 현가시스템의 성공적인 개발을 위해 장기간의 기초연구 및 축소모델 혹은 반차량(half-car) 모델 등을 이용한 실험 등을 거치면서 능동형 현가시스템이 전체 차량에 기여하는 성능을 사전에 검증하고 있다. 우리

나라의 경우 이미 텀팅열차와 고속열차를 단기간에 개발한 경험이 있으며, 이를 토대로 연구에 집중하여 개발할 경우 빠른 시일 내에 기술개발을 완료할 수 있을 것으로 기대된다.

철도차량에 있어서 원천기술개발의 성공은 시제품을 실차에 장착하여 성능시험을 통해 그 요구성을 만족하는 것을 말한다. 그러나 철도차량은 대중의 안전이 가장 우선과제이므로 요구성을 만족하더라도 내구성 및 fail-safe 기능 등 안전에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다. 이는 실차 적용시험을 하기 전에 반드시 수행해야 하는 필수적인 요소이다.

철도시스템의 고속화에 따라 철도차량의 동역학 및 진동소음 기술은 점차로 능동제어기술을 접목한 융합기술로 전개되고 있다. 이 연구를 통해 국내의 철도차량 핵심기술이 또 하나 확보됨으로서, 외국과의 경쟁에서 우위를 차지할 수 있을 것으로 기대된다. KSNVE