

# 철도차량용 (반)능동 조향대차 시스템의 기술현황

## Recent Development Of (Semi)-Active Steering Bogie Systems For Railway Vehicles

유원희† · 박준혁\* · 허현무\*

Wonhee You, Joonhyuk Park, Hyunmoo Hur

**Key Words** : Railway(철도), Railway Vehicle(철도차량), 조향대차(Steering Bogie), 능동조향대차(Active Steering Bogie).

### ABSTRACT

This paper presents recent development of (semi)-active steering bogies for railway vehicles and introduce the state-of-art of related technologies. Steering bogies have been studied in various researchers since they can offer high ride quality for passengers and reduce the maintenance costs of wheel and rail wear. Especially, they are considered to be a fundamental solution to dramatically reduce the squeal noise on tight curves. However, passive steering bogies such as self-steering bogies and forced steering bogies have shown their limits to cope with the various running conditions. Therefore, (Semi)-active steering bogies have been studied to overcome the drawbacks of the passive steering bogies. As a result, an active steering bogie, so called mechatronic bogie, is developed successfully in Europe and it has shown remarkable performance in test line.

### 1. 서 론

철도차량은 일반적으로 답면구배(conicity)를 가진 좌우 차륜이 하나의 축으로 연결된 윤축(wheelset)으로 구성되어 레일위를 주행하는 구조로 이루어져 있다. 이러한 방식은 여러 장점을 지니고 있어 지난 100여년 동안 철도 차량에 이용되어 오고 있다. 특히 윤축은 답면구배가 있어 좌우 횡방향에 복원력이 주어지는데, 이러한 답면구배는 윤축이 저속으로 주행할 때는 충분한 복원력을 제공하나 고속에서는 윤축이 불안정하게 되기 때문에 강한 강성의 일차원가장치를 이용하여 윤축을 대차에 고정시킴으로써 철도차량은 레일위를 안정적으로 주행하게 된다.

또한 철도차량의 차륜이 가지고 있는 답면구배는 철도차량이 곡선을 주행할 때 좌우차륜의 반경차를 가능하게 하여 철도차량이 원활히 곡선주행을 할 수 있도록 도와주게 된다. 그러나 윤축을 대차와 연결하는 일차원가장치는 강한 강성을 지니고 있어 차륜의 답면구배에 의한 자연스

러운 조향성능을 저해하는 요소로 작용하게 된다. 따라서 철도차량의 주행안정성과 조향성능을 동시에 만족시킬 수 있도록 현가장치의 특성을 설계하여야 하는데, 이를 동시에 만족시키기는 매우 어렵다 [1]. 따라서 일차원가장치의 특성을 충분한 주행안정성을 확보할 수 있도록 설계를 하되, 대차시스템에 별도의 조향장치를 두어 조향성능을 확보할 수 있는 조향대차시스템이 상용화되어 활용되고 있다. 그러나 현재까지 상용화된 조향대차시스템은 기계요소만으로 이루어진 수동형 조향대차로서 최적의 성능을 발휘하기에 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 최근에는 주행안정성과 곡선주행성능을 극대화 할 수 있는 능동조향대차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근에 그 가시적인 성과가 해외연구사례를 통해 발표되고 있다.

본 논문은 철도차량의 주행안정성능과 곡선주행성능을 동시에 달성할 수 있는 조향대차시스템의 국내외 연구현황을 파악하고 철도 선진국의 미래 대차시스템 기술에 대한 연구방향을 분석하고자 한다. 특히 최근에 각광받고 있는 능동조향대차의 기술현황 분석을 통해 국내연구의 필요성을 제시하고자 한다.

### 2. 수동형 조향대차 시스템의 기술현황

#### 2.1 자기조향 대차(Self Steering Bogie)

자기조향대차는 곡선구간에서 좌우차륜 구름반경차를 이용하게 되는 철도차량의 조향을 다소 보조하는 장치가 구

† 교신저자; 한국철도기술연구원, 철도시스템연구본부

E-mail : whyou@krri.re.kr

Tel : (031)4600-5670, Fax : (031) 460-5279

\* 한국철도기술연구원

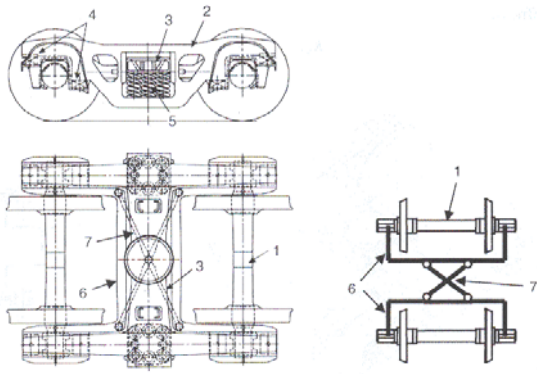


Fig. 1 Schematic diagram of Scheffel self-steering bogie

비된 대차로 링크를 이용하는 방법과 1차 현가장치의 전후축 강성을 다르게 하는 방법이 상용화 되었다. Fig. 1은 'Cross-anchor'와 같은 링크 등을 이용하여 주행안정성과 조향성능 모두를 개선한 대차이다. 이런 종류의 대차로서 실용화된 대표적인 대차는 남아프리카 공화국의 Sheffel 대차이다 [2]. Sheffel 대차는 남아프리카 공화국에서 시험된 후 1970년대에 실용화 되었다. 'Cross-anchor'의 기능은 2개의 윤축의 상대변위 모드를 고려하여, 등가전단 모드를 구속하고 등가굽힘모드를 허용하여 곡선주행 시 2개의 윤축은 곡선에 따라 선회하는 것을 가능하게 하여 조향성능을 높이고 기타의 운동은 구속하여 주행성능을 향상시키는 방법이다. 그 이후에 'Cross-anchor'가 여러형태로 변경되어 점차 개선된 성능의 대차로 발전되었다. 그러나 이와 같은 방식은 링크가 조향성능을 향상시키기 위하여 적극적인 역할을 수행하는 것은 아니다.

1차 현가장치의 전후축 강성을 다르게 하여 조향성능을 개선한 대표적인 대차는 일본에서 실용화된 전후축 비대칭 강성 조향대차이다 [3]. 기존의 대차는 직선선로에서 주행안정성 향상에 초점을 두고 윤축을 지지하는 축스프링의 전

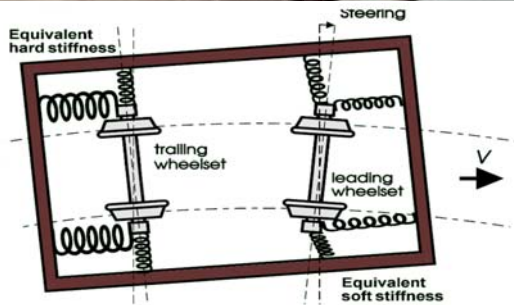


Fig. 2 Longitudinally unsymmetric stiffness bogie

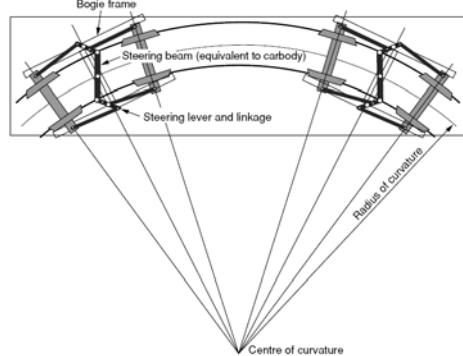
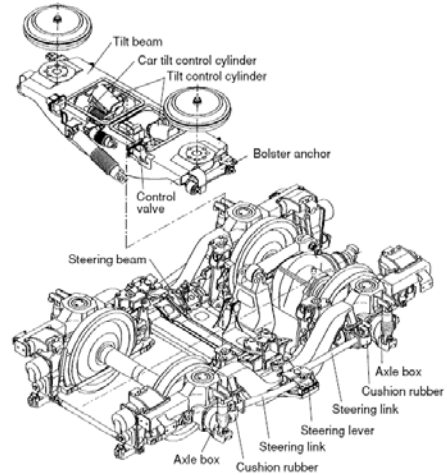


Fig. 3 'z-link' type Forced steering bogie

후강성을 강하게 함으로써 곡선구간에서의 윤축의 조향성능이 취약하고 이는 횡압증가의 원인이 되었다. 이에 비해 전후축 비대칭강성 조향대차는 전위윤축을 지지하는 전후축강성은 유연하게 설계하여 자기조향성능을 강화하고 후위윤축의 전후강성은 강하게 설계하여 직선선로에서의 주행안정성을 담당하는 방법이다.

전후축 비대칭강성 조향대차는 JR 토카이 특급 차량에 실용화되어 1995년까지 사용되었다. 구조가 간단하여 적용성 및 유지보수성은 양호하나 횡압저감에는 한계가 있으며 기존대차보다 강성이 약한 관계로 중저속 차량에 적합하다. 또한 볼스타리스 대차이외의 대차에는 진행방향의 교환이 필요한 단점이 있다.

## 2.2 강제형 조향대차(Forced Steering Bogie)

강제형 조향대차는 차체와 대차간의 상대변위나 윤축과 대차간의 상대변위 등을 윤축에 전달하여 조향을 보조하는 방법으로 윤축에 외력이 가해지는 측면이 있어 자기조향대차와 구별하기 위하여 강제형 조향대차로 구분한다. 그러나 별도의 제어알고리즘 없이 기계요소만으로 이루어져 있기 때문에 능동 또는 반능동형 조향대차와는 구분된다.

강제형 조향대차는 차체와 대차의 상대변위나 윤축과 대차의 상대변위 등을 링크와 같은 기구학적 장치를 통한

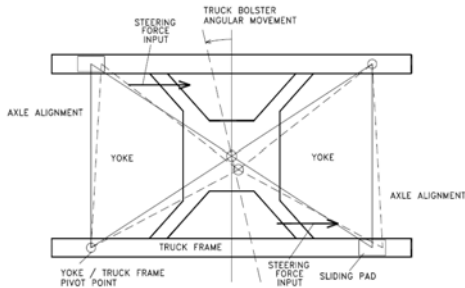
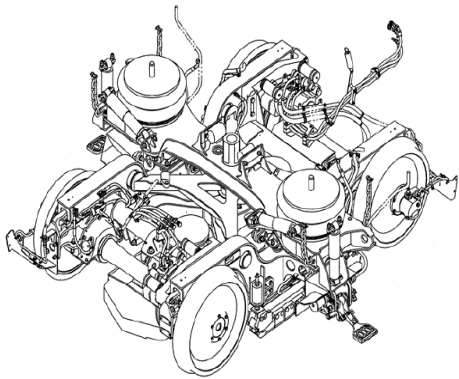


Fig. 4 Guided steering bogie (MK II of Canada Bombardier)

기계적인 방법으로 증폭하고 이를 이용하여 윤축에 조향에 필요한 힘을 가하는 방법이다. 설계에 따라 공격각을 '0'으로 만들 수 있으며 구조가 다소 간단하여 실용화가 용이한 점이 있다. 일본에서는 1984년 당시 시험대차 DT953을 제작하여 각 조향방식을 적용하였고 이에 대한 곡선주행 시험을 수행한 것이 강제형 조향대차의 큰 출발점이 되었다 [4]. 강제형 조향대차의 대표적인 방식으로 JR 홋카이도에서 톨팅 시스템과 병행하여 사용된 소위 'z-link' 방식이 있다. 이 방법은 반경이 작은 곡선이 많고 궤도조건이 취약하여 큰 횡압이 발생하던 노선에 투입되어 횡압을 본래 대차의 30~50% 정도로 절감시켰다. Fig. 3은 'z-link' 방식의 대표적인 대차시스템인 JR 홋카이도 시리즈 283 DMU 대차시스템을 나타내고 있다.

강제형 조향대차의 다른 형태로 실용화되어 있는 방식은 대차각연동 조향대차로서 캐나다의 Sky train에 적용되었으며 MK I, MK II, 용인경전철에 사용되고 있다 [5]. 조향의 기본원리는 Fig. 4와 같이 차체와 대차프레임의 상대각을 조향링크로 윤축에 전달하는 방법을 사용하며 전위 대차의 경우, 대차는 차체에 대하여 좌로 회전한다면 전위 윤축과 결합된 링크와 차체와의 결합점은 뒤로 향해 이동하게 되고 윤축을 조향시키게 된다. 마찬가지로 후위윤축과 결합된 링크도 후방으로 이동하여 윤축을 조향하게 된다.

강제형 조향대차시스템은 링크의 적절한 구성을 통해 여러 방법으로 응용이 되는데, Resco사는 2003년 강제형 조향대차시스템을 적용한 화차를 선보였다. 이 시스템은 차체와 대차의 상대변위를 이용하는 방법으로 차체와 하나의

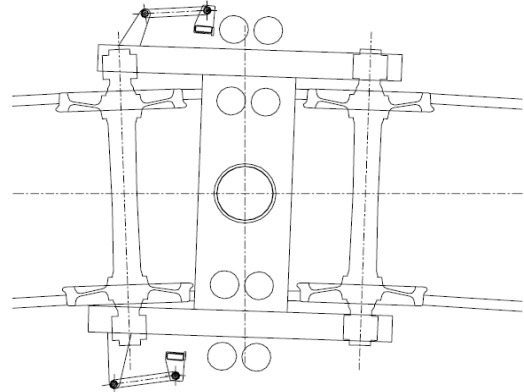
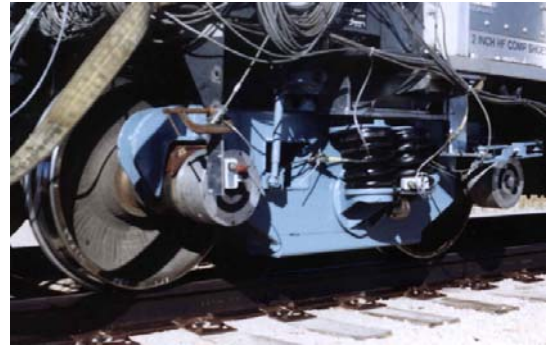


Fig. 5 Forced steering bogie of Resco Engineering Co.

윤축을 링크를 통하여 직접 연결하여 곡선주행시에 발생하는 차체의 상대운동을 링크를 통해 윤축에 직접 전달하는 방식이다. Resco사는 강제형 조향대차를 시험선로상에서의 시험을 통해 곡선주행성능의 향상을 확인하였다. Fig. 5는 Resco사의 강제형 조향대차 시스템을 나타내고 있다 [6].

### 2.3 기타 수동형 조향대차

2002년 스위스 봄바르디(Bombardier)사는 관절대차용 단일 윤축 조향대차시스템을 제안하였다. 이 조향대차는 단일 윤축을 가지고 있는 대차와 대차사이를 링크로 연결한 관절대차시스템으로 노르웨이의 근거리 도시용 열차인 72 클래스에 적용하여 실차시험을 성공적으로 수행하였다 [7]. Fig. 6은 노르웨이 72 클래스에 탑재된 단일 윤축 조향대차시스템을 나타내고 있다.

이외에도 자동차의 차동기어 방식을 응용하여 직선주행 중에는 좌우차륜을 구속하고 곡선주행할 때에는 차동기어를 이용하여 좌우차륜의 회전속도를 달리하여 곡선주행성능을 향상시키는 방법도 제안되고 있다 [8].

## 3. (반)능동 조향대차 시스템의 기술현황

### 3.1 (반)능동 조향대차의 개요

(반)능동 조향대차는 강제형 조향대차와는 달리 액추에이터를 통해 윤축에 힘을 전달하여 윤축의 원활한 조향을



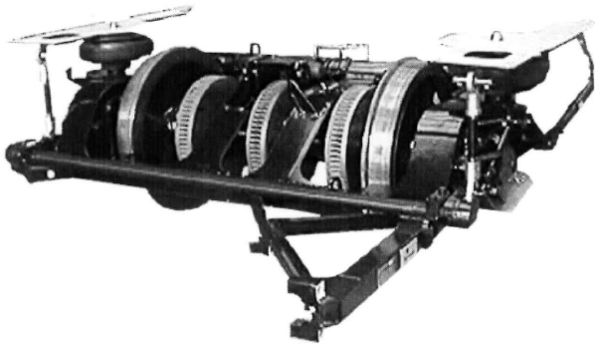


Fig. 6 Single-axle bogie for NSB Class 72

도모하는 방법으로 별도의 제어기가 장착되어 곡선반경, 주행속도, 차륜/레일 마모 등 다양한 환경에서 최적의 곡선주행성능을 발휘할 수 있도록 고안된 조향대차 시스템이다.

기본적으로 강제형 조향대차시스템은 링크를 통해 차체와 윤축 또는 대차와 윤축사이의 상대각을 윤축에 전달하여 윤축의 조향을 발생시키는 방법으로 링크 설계에 따라 성능이 좌우되며, 링크 설계 조건과 주행환경이 상이할 경우 높은 조향효과를 기대하기 힘들다. 특히 링크를 이용한 강제형 조향대차는 윤축을 곡선선로의 법선 방향으로 위치시켜 공격각이 '0' 이 되게 하는데 초점이 맞추어져 있으므로 차량의 주행속도에 따른 원심력의 변화에 적절히 대응하지 못하는 단점이 있으며, 차륜의 마모정도에도 큰 영향을 받게 된다 [9].

이러한 이유로 인해 강제형 조향대차가 상용화되어 있음에도 불구하고 여러 연구가들은 다양한 곡선반경, 다양한 주행속도에 대한 원심력, 차륜/레일 마모정도, 축하중 변화에 적절히 대응하며 주행안정성과 곡선주행성능을 동시에 만족시킬 수 있는 (반)능동 조향대차시스템에 주목하고 있으며 그 관심이 고조되고 있다.

철도차량을 위한 (반)능동 조향대차시스템은 아직까지 상용화되지 못한 첨단 철도차량기술이지만 해외 철도선진국에서 집중적인 연구투자를 통해 최근에 가시적인 성과를 거두고 있으며 2008년 후반이나 2009년쯤에 상용화될 예정이다.

전술한 바와 같이 (반)능동 조향대차시스템은 상용화된 사례가 없기 때문에 본 연구에서는 철도차량용 (반)능동 조향대차시스템 개발기술이 가장 앞서 있는 일본과 유럽을 중심으로 아이디어 차원이 아닌 실용화를 목적으로 연구 중인 (반)능동 조향대차시스템의 개발현황을 분석하도록 한다.

### 3.2 일본의 (반)능동 조향대차시스템 기술현황

일본은 남북으로 길게 늘어서 있는 지형적 특성으로 인해 아시아권에서 철도기술이 가장 발달되어 있는 나라에 걸맞게 세계적 수준의 철도차량기술을 보유하고 있으며 조향대차 시스템에 대한 다양한 연구도 진행되고 있다. 특히 전

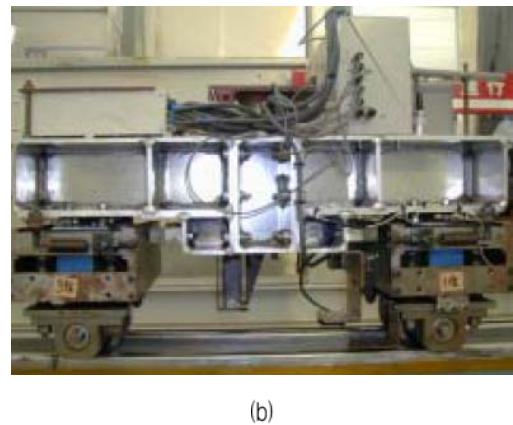
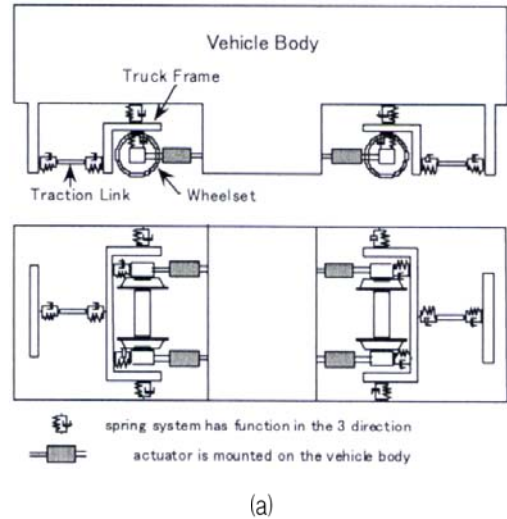


Fig. 7 Active steering bogie of Suda: (a) concept design, (b) 1/10 scaled model

술한 전후축 비대칭강성 조향대차는 일본에서 처음 제안되었고, 일본에서 상용화된 방식이며 전후축 비대칭강성 조향대차가 가지고 있는 급곡선에서의 조향성능 저하에 대한 문제점을 해결하고 차량의 주행성능 향상을 위하여 (반)능동 조향대차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일본 철도차량 기술은 RTRI와 같은 철도전문 연구소뿐만 아니라 대학연구소에서도 철도차량 기술에 대한 연구가 활발하여 첨단철도차량 개발을 위한 창의적 아이디어가 지속적으로 제시되고 있으며 제반 인프라가 훌륭하게 갖추어져 있다.

Fig. 7은 일본 동경대학의 Suda가 전후축 비대칭강성 조향대차의 문제점을 해결하고 철도차량의 주행성능을 향상시키기 위하여 제안한 (반)능동 조향대차시스템이다 [10]. Suda는 1/10로 축소된 조향대차시스템을 제작하여 차륜/레일의 횡변위 계측정보를 이용한 윤축의 조향제어 알고리즘의 우수성을 입증하였으며 우수한 곡선주행성능을 확인하였다. 특히 Suda는 철도차량의 곡선주행성능을 향상시키기 위한 다양한 연구를 수행하기 위하여 철도차량을 축소시킨 모



Fig. 8 scaled curved track of Suda

델과 이를 시험할 수 있는 시험환경을 구축하였으며 이러한 시험환경을 통해 (반)능동 조향대차 시스템의 다양한 기법을 제안하고 있다. Fig. 8는 축소모델을 시험하기 위하여 Suda가 구축한 축소형 곡선트랙을 나타내고 있다.

동경대학교와 일본 교통시스템부, 스이토모 금속 테크놀로지사는 공동연구를 통하여 대차각 능동조향대차(Active-bogie steering truck)를 제안하였다 [11]. 이 방법은 급곡선 주행시 과도하게 발생하는 차륜/레일의 마모를 저감하기 위하여 과도한 횡압 및 공격각을 줄이는 것을 목표로 대차 자체를 곡선 반경에 대하여 조향시키는 방법이다. 따라서 대차는 기존대차를 그대로 활용할 수 있으며 다만 차체와 대차사이의 이차현가장치 중 요댐퍼(yaw damper)를 액추에이터로 대체하여 대차를 차체에 대하여 조향을 하게 된다. 이 방법은 간단한 메커니즘으로 능동조향효과를 발생시킬 수 있다라는 장점이 있으나 횡압저감효과는 높은 반면, 공격각은 좌우차륜의 답면구배가 크지 않으면 저감효과가 크지 않은 단점이 있어 차륜의 답면구배조정이 필요하다. 대차각 능동조향대차는 현재 반차체(half-body) 모델을 이용한 주행시험기상의 시험을 통해 그 성능을 확인하였으며 실용화를 위한 연구가 진행되고 있다. Fig. 9는 주행시험기에서 시험 중인 대차각 능동조향대차를 나타내고 있다.

이상으로 현재 일본에서 가시적인 성과를 거두고 있는 (반)능동 조향대차시스템의 연구현황에 대하여 분석하였다. 일본의 (반)능동 조향대차시스템은 중저속으로 주행하며 급곡선 구간이 많은 도심형 철도차량용으로 연구가 되고 있는 추세이며 일본내 여러 기관의 공동연구를 통해 윤축을 직접적으로 제어하는 방식보다는 이차현가장치의 능동제어를 통한 조향제어 방식에 주안점을 두어 연구가 진행되고 있는 것으로 분석된다.

### 3.3 유럽의 (반)능동 조향대차시스템 기술현황

유럽은 최고수준의 철도차량기술을 보유한 지역으로서 유럽 여러 국가에서 (반)능동 조향대차시스템에 대한 연구



Fig. 9 Active-bogie steering truck of Japan

가 진행 중에 있으며 특히, 독일, 이탈리아, 영국, 스웨덴 등에서 관련기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 유럽은 철도차량에 신기술을 도입하는데 보수적인 타지역과 달리 철도차량에 능동제어기술을 도입하는데 적극적이다. 이는 유럽의 지역 특성에 관련이 깊다. 즉 유럽은 각 나라가 서로 국경을 맞대고 있는 경우가 매우 많은데 철도 인프라가 각 나라마다 상이하여 철도가 국경을 넘기 위해서는 철도 인프라를 일치시켜야 할 필요성이 있다. 그러나 이미 부설된 인프라를 정비하는 것보다 철도차량이 상이한 환경에 능동적으로 대응하며 주행하는 것이 경제적으로 더 효과적이기 때문에 이를 가능하게 하는 능동 판토프레프 시스템 등 능동제어기술에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며 승객의 편의성을 향상시키기 위한 틸팅시스템 등과 같은 능동 일차 현가장치에 대한 기술도 발달하였다.

최근에는 능동 일차현가장치 기술에 대한 관심이 집중되고 있는데, 이는 승객에게는 보다 쾌적한 환경을 제공하고 곡선구간에서 발생하는 차륜/레일 마모를 저감하여 철도 시스템의 경제성을 높이기 위한 기술로 능동 조향대차 시스템을 주목하고 있기 때문이다. 유럽에서는 2000년대 초반부터 관련기술에 대한 연구가 시작되었다.

Fig. 10은 이탈리아 밀라노 폴리텍(Politecnico di Milano)에서 개발한 능동조향대차이다 [12]. 이 대차는 일본의 대차각 능동조향대차와 마찬가지로 이차현가장치의 요댐퍼 대신 전기-기계 액추에이터를 이용하여 대차의 거동을 제어하는 방법이다. 일본과 다른 부분은 이탈리아의 ‘능동 요댐퍼’는 중곡속선을 주행하기 위한 틸팅열차용으로 개발되었으며 철도차량의 임계속도 향상과 곡선주행성능을 동시에 만족시키기 위한 제어알고리즘을 사용하였다. 능동 요댐퍼가 탑재된 대차는 이탈리아의 ETR470 차량을 이용하여 고속선에서의 직선구간과 일반선로의 곡선구간에서 시험주행을 하여 그 성능을 확인하였고 액추에이터의 최적 위치를 찾기 위한 연구와 이와는 별도로 능동 횡댐퍼(lateral damper)를 추가로 탑재하는 연구가 진행되고 있다.

독일 봄바르디사는 기존의 전통적인 대차에 능동요소를 탑재하는 방식으로는 기존 대차가 가지고 있는 문제를 근원





Fig. 10 Active yaw damper of Politecnico di Milano



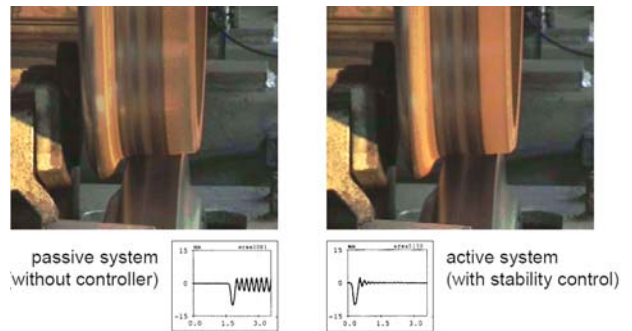
Fig. 11 Mechatronic bogie of Bombardier, Germany

적으로 해결할 수 없다고 판단하고 대차설계 때부터 능동요소와 통합된 설계를 수행하는 ‘메카트로닉적 접근 (mechatronical approach)’ 을 통한 신개념의 대차를 개발하기 위한 과제를 2002년에 착수하였다 [13]. 봄바르디사는 세계최고수준의 철도차량 제작기술을 가지고 있는 다국적 기업으로서 신개념의 대차를 개발하기 위한 집중적인 투자와 우수한 연구기관과의 공동연구를 통해 단시일내에 가시적인 성과를 거둘 수 있었다. 2003년에 ‘메카트로닉 보기’ 라는 신개념 대차 개발에 성공하여 주행시험기상에서 주행안정성 시험을 통해 능동제어를 이용하여 시속 400km 까지 안정적인 주행이 가능하다는 것을 확인하였다. 2004년에는 시험선로에서 곡선주행성능평가에 초점을 맞추어 실차시험이 수행되었으며 2005년에는 능동조향대차 시리즈 개발에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다. 2006년부터 현재까지 ‘메카트로닉 보기’ 를 실용화하기 위한 시험이 진행되고 있다.

이와 같이 독일 봄바르디사가 빠른 시일내에 가시적인 성과를 낼 수 있었던 것은 봄바르디사 자체가 가지고 있는 철도차량 제작기술과 전문연구인력 뿐만 아니라, 영국의 Loughborough 대학과 같이 관련기술이 축적된 연구기관과 유기적인 협력체계를 구축하였기 때문으로 분석된다. 즉, 앞서 언급한 대로 유럽은 철도차량 기초기술이 매우 탄탄하고 능동제어기술을 도입하는데 적극적이기 때문에 관련기술에 대한 연구가 다수의 연구기관에서 수행되었으며 기술개발을 위한 저변이 충분하였기에 단시일내에 개발이 가능하였다.



(a)



(b)

Fig. 12 Roller rig test of prototype: (a) test setup and (b) test results

Fig. 11은 독일 봄바르디사에서 개발한 ‘메카트로닉 보기’ 를 나타내고 있다. 전술한 바와 같이 주행시험기 상에서 능동제어를 통한 주행안정성 향상에 대한 시험을 수행하였는데, 주행시험기는 독일 뮌헨의 DB이 보유한 주행시험기를 이용하였으며 Fig. 12는 이에 대한 시험 장면을 보여준다. Fig. 12(a)는 주행시험기상에 위치한 ‘메카트로닉 보기’ 이며 Fig. 12(b)는 시험결과의 일부이다.

메카트로닉 보기는 스웨덴의 티팅열차인 X2000을 대체하기 위한 250km/h 열차를 개발하는 것을 목적으로 하는 ‘GreenTrain’ 과제에 Regina250을 위한 대차시스템으로 실용화될 것으로 예측된다. ‘GreenTrain’ 과제는 스웨덴의 KTH(Royal Institute of Technology)가 과제를 총괄하고 Banverket, 스웨덴 봄바르디사, SJ AB, Transitio AB가 참여하고 있는 과제로 또한 스웨덴의 교통연구원 및 대학이 포함되어 있으며 2004년에 시작되어 2015에 종료되는데, 특히 2005년부터 2008년까지는 ‘Track-friendly bogies’ 라는 주제로 곡선주행성능이 개선된 기존대차와 메카트로닉 보기의 조합으로 고속에서 주행안정성을 향상시키고 곡선주행시에 발생하는 소음 및 차륜/레일의 마모를 저감시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 또한 능동 이차원장치를 통해 시속 250km로 주행할 때에도 시속 200km의 승차감을 유지할 수 있도록 하는 연구도 동시에 진행 중에

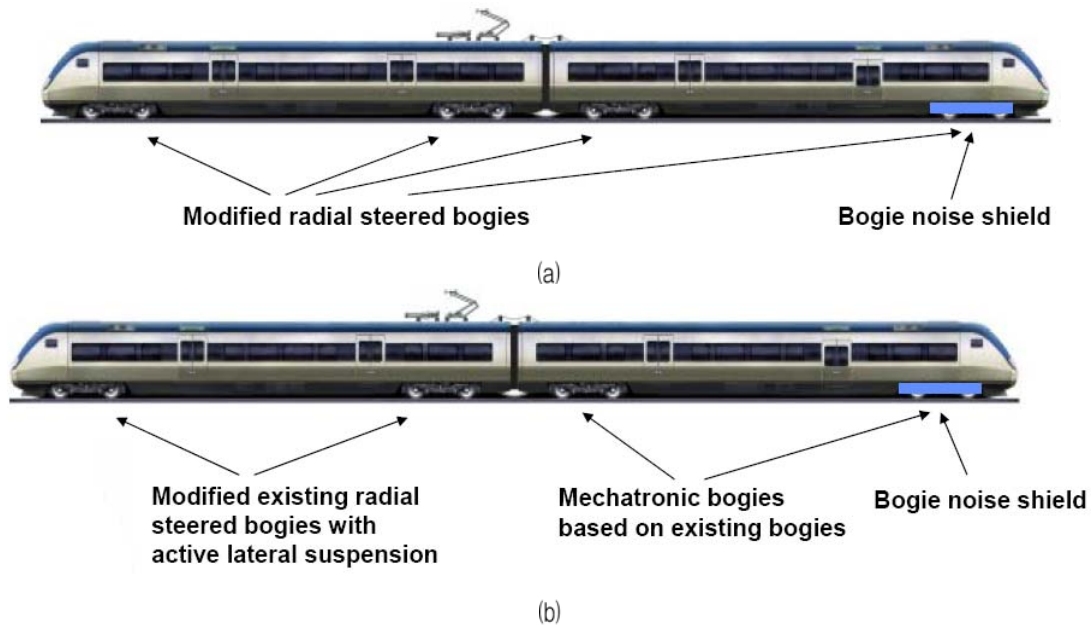


Fig. 13 Test train of Regina250: (a) with passive steering bogie and (b) with mechatronic bogie

있다.

곡선주행성능을 향상시키기 위하여 일차현가장치의 강성을 연하게 하고 여기에 차체와 대차사이의 요댐퍼를 통해 주행안정성을 향상시킨 대차를 Regina250에 적용하여 2006년부터 2007년에 걸쳐 그 성능을 시험하였으며 여기에 능동 이차 횡댐퍼를 탑재한 Regina250을 2007년부터 2008년까지 시험하여 그 성능을 평가하고 있다. 이와 동시에 메카트로닉 보기를 적용한 Regina250의 성능평가도 2007년부터 수행되고 있으며 2007년 8월 8일에는 능동 이차 횡댐퍼가 탑재된 메카트로닉 보기 두 대가 적용된 Regina250이 251km/h까지 성공적으로 시험선로를 주행함으로써 메카트로닉 보기의 성능을 확인하였으며, 특히 승차감에 있어 매우 괄목할만한 성능을 나타내었다 [14].

Fig. 13은 Regina250의 시험차량을 나타낸 것으로 Fig. 13(a)는 조향성능이 개선된 대차로 이루어진 차량으로 2006~2007년에 걸쳐 시험한 차량이며 Fig. 13(b)는 메카트로닉 보기가 적용된 시험차량이다. Fig. 13(b)와 같이 시험차량은 두 량으로 되어 있어 수동형 조향대차가 적용된 차량과 메카트로닉 보기가 적용된 차량의 주행성능을 직접 비교할 수 있도록 하였다. Fig. 14는 Regina250의 시험차량에 적용된 대차를 보여주고 있다.

'GrainTrain' 과제는 메카트로닉 보기를 적용한 시험차량의 다양한 성능시험을 통해 문제점을 파악하여 이를 개선하고 향후 300km/h까지 증속시험을 수행할 예정에 있으며 2007년부터 2008년까지는 틸팅 시스템에 대한 성능시험 및 시장수요, 요구성능, 차량구성, 경제성 분석이 수행될 예정이며 또한 차량내부 인테리어에 대한 과제도 수행될 예정이다.

이상으로 유럽의 (반)능동 조향대차에 대한 기술현황을

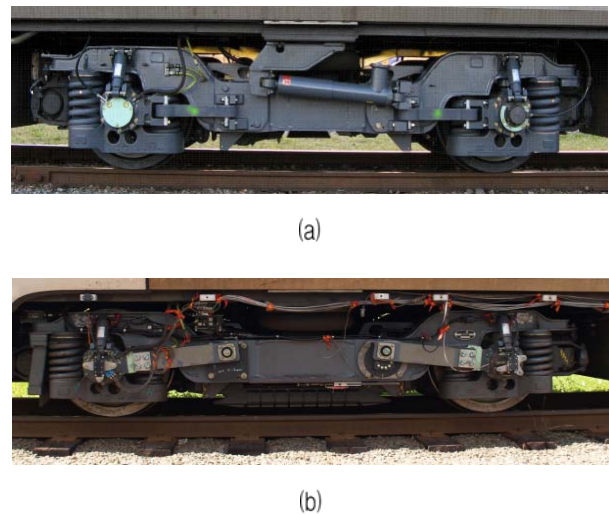


Fig. 14 Test bogie for Regina250: (a) passive bogie and (b) mechatronic bogie

분석하였다. 전술한 바와 같이 유럽은 미래철도기술로서 메카트로닉스 개념이 도입된 철도기술을 주목하고 관련기술을 개발하기 위한 집중적인 투자를 진행하고 있다. 특히 유럽의 (반)능동 조향대차 기술은 모두 시험선로를 통한 성능평가가 수행되었으며 괄목할만한 연구결과를 획득하였다. 특히 메카트로닉 보기는 상용화를 목전에 두고 있는 것으로 파악된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 철도차량용 (반)능동 조향대차 시스템의 기술현황을 분석하고 이를 통하여 미래철도기술

선점을 위한 해외선진국의 기술동향을 파악하였다. 이를 위하여 본 논문에서는 상용화된 수동형 조향대차의 특징을 분석하고 수동형 조향대차의 한계를 분석하였다. 수동형 조향대차는 주행안정성과 곡선주행성능을 모두 만족시킬 수 있는 일차현가계를 설계하고 개발하는 방법과 링크 등과 같은 기계요소만으로 이루어진 조향장치를 통해 윤축을 조향하는 방법으로 분류될 수 있다. 두 방법 모두 상용화되었으나 각각 그 성능에 한계가 있다. 전술한 방법은 주행안정성과 곡선주행성능을 동시에 만족시킬 수 있는 일차현가장치를 설계한다는 것은 매우 어렵기 때문에 일정부분의 성능저하를 감수하여야 하며 특히 곡선주행성능을 높이기 위해서는 연한 강성의 일차현가장치가 사용되어야 하므로 고속열차에서는 이와 같은 방법을 사용하기가 어렵다. 후자의 방법은 차량의 주행속도의 변화, 축하중의 변화, 차륜의 마모 등 주변 환경의 변화에 따라 조향성능이 저하될 수 있는 한계가 있다.

(반)능동 조향대차 시스템은 수동형 조향대차 시스템의 한계를 극복하고 주행안정성과 곡선추종성능을 모두 만족시킬 수 있으며 이로 인한 승차감을 향상시킬 수 있는 첨단철도차량 기술이다. 특히 (반)능동 조향대차는 곡선구간에서 발생하는 심한 소음 및 마모를 근본적으로 제거할 수 있어 차륜/레일의 유지보수비용을 획기적으로 줄일 수 있으며 어떠한 주변 환경에도 능동적인 대처가 가능하여 철도선진국에서 기술역량을 집중하고 있는 실정이다 [15]. 그 결과 유럽에서는 이미 (반)능동 조향대차를 적용한 250km/h 열차가 시험선로에서 시험운행 중에 있으며 조만간에 상용화 될 수 있을 것으로 예측된다.

(반)능동 조향대차 시스템의 관련기술은 현재 일본과 유럽이 가장 앞서있으나, 적용분야는 서로 다소 다른 점이 있다. 일본의 경우에는 급곡선구간을 저속으로 달리는 도심형 철도차량에 적용하기 위한 연구가 진행 중이며 유럽의 경우에는 고속열차에 적용하기 위한 연구가 주로 수행되고 있다. 특히 유럽은 틸팅열차의 조향기술로서 능동조향대차를 염두에 두고 있다.

일본과 유럽에서 철도차량을 위한 (반)능동 조향기술이 가장 발달한 근본적 이유는 철도차량에 대한 기초기술이 매우 탄탄하고 신기술을 철도차량에 적용하기 위한 도전정신이 매우 높기 때문이다. 또한 관련분야를 연구하고 있는 기관을 다수 보유하고 있는 관계로 여러 연구기관과의 공동연구를 통해 단시일내에 괄목할만한 성과를 내고 있다.

전술한 바와 같이 철도선진국에서는 미래철도의 핵심기술로서 메카트로닉 기술이 접목된 철도차량을 주목

하고 있으며 이에 대한 일환으로 (반)능동 조향대차를 개발하여 상용화단계에 있다. 그러므로 우리나라가 관련 기술에 대하여 적극적으로 대처하지 않으면 미래철도기술 또한 해외선진국에 선점당할 가능성이 매우 높다. 특히 우리나라는 철도차량의 기초기술이 취약하고 관련기술에 대한 연구 인프라가 미약하기 때문에 철도선진국의 기술을 추격하고 세계적 수준의 기술을 확보하기 위해서는 집중적인 투자와 연구역량의 결집이 매우 중요하다.

따라서 우리나라의 경우에는 철도전문연구기관을 중심으로 미래철도기술에 대한 집중적인 투자와 지원을 통해 (반)능동 조향대차 시스템에 대한 연구가 시급히 진행되어야 하며 연구 인프라 구축 및 대학 등과 같은 관련연구기관 보육에도 각별한 투자가 이루어져야 한다. 이를 통해야만 첨단철도기술에 대한 해외기술종속을 회피할 수 있으며 나아가 철도기술에 의한 또 다른 국부 창출의 기회를 획득할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- (1) T. X. Mei, R. M. Goodall, 2003, "Recent development in active steering of Railway Vehicles," *Vehicle System Dynamics*, vol. 39, no. 6, pp. 415-436.
- (2) S. Iwnicki, 2006, *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*, CRC Press, pp. 79-83.
- (3) Y. Suda, 1994, "High Speed Stability and Curving Performance of Longitudinally Unsymmetric Trucks with Semi-active Control," *Vehicle System Dynamics*, vol. 23 pp. 29-52.
- (4) T. Suga et al., 2001, *Japanese Railway Technology today*, EJRCF, pp. 32-34.
- (5) 서울특별시지하철건설본부, 2001, *도시형 경량전철 소개*, pp. 231-252.
- (6) Roy E. Smith, 2003, "Performance Testing of the Resco Steered Frame Freight Car Truck at the AAR Test Track, and Comparisons with Standard and Premium Three-Piece Trucks," *RESCO Engineering 기술보고서*.
- (7) O Polach, 2002, "Coupled single-axle running gears-a new radial steering design," *Journal of Rail & Rapid Transit* vol. 216, part F, pp. 197-206.
- (8) Tibor Gajdár, "Advanced Railway Bogie Solutions by using Active Wheelset Guidance Control and Differential Gearing Concept," *Int'l conference Transport towards 7th FP*.
- (9) 박준혁, 허현무, 고효인, 유원희, 2007, "도시형 전동차용



능동조향대차의 개념설계,” 한국철도학회논문집, 제10권, 제6호, pp. 709-716.

(10) Y. Suda, T. Miyamoto, N. Katoh, 2001, “Active Controlled Rail Vehicles for Improved Curving Performance and Response to Track Irregularity,” Vehicle System Dynamics Supplement, vol. 35, pp. 23-40.

(11) A. Matsumoto, et al., 2006, “Evaluation of Running Performance for Active-Bogie Steering Truck with Multi-body Dynamics Simulation and Experiment on Rolling Test Stand,” Proceedings of ACMD06, A00744.

(12) F. Braghin, S. Bruni, F. Resta, 2006, “Active yaw damper for the improve of railway vehicle stability and curving performances: simulations and experiment results,” Vehicle System Dynamics, vol. 44, no. 11, pp. 857-869.

(13) R. Schneider, G. Himmelstein, 2006, “Active Radial Steering Control with the Mechatronic Bogie,” WCRR 2006.

(14) <http://www.railwaygazette.com>

(15) S. Bruni, R Goodall, T. X. Mei, H. Tsunashima, 2007, “Control and monitoring for railway vehicle dynamics,” Vehicle System Dynamics, vol. 45, Nos. 7-8, pp. 743-779.