

해외 궤간가변 시스템의 기술적 특성 비교 연구

A Comparative Study of the Technical Characteristics of Variable-Gauge Systems

나희승*

장승호**

한준식***

ABSTRACT

For the connection of trans-continental railway network, it is critical to conquer the break-of-gauge problem at the borders in different countries. Up to now, the best solution seems to be the employ of the auto-changable gauge equipment. Countries, such as Russia, Japan are developing and commercializing auto-changable gauge equipment to maximize transport efficiency for the trans-continental network. The efforts to search a suitable logistical service are also underway. In this paper, technology and development trend of this equipment in several countries is indicated through inspecting and analyzing the historical and current situation of development, operating mechanism and technical problems. As the basic technology of auto-changeable gauge is not well developed in our country, the purpose of this study is to search an approach to fix the research direction, and find practical ways to international cooperation.

1. 서론

궤간가변 열차(Gauge Changeable Train)는 서로 상이한 궤간을 가지는 선로를 대차교환이나 환적 없이 신속하고 안전하게 직결 운행 할 수 있는 자동 궤간 변환장치를 장착한 열차를 말한다. 우리나라가 대륙철도와 연계하기 위해서는 국경통과 시 상이한 궤간을 통과하여야 하는 문제점을 가지고 있으며 현재까지 가장 적절한 해결방법은 자동 궤간 변경 장치를 이용하는 것이다. 궤간 가변 장치 기술은 대륙철도의 통합연계 운행에 필요한 핵심적인 기술로서 시간·비용 면에서 경제적인 뿐만 아니라 친환경적인 시스템이다. 유럽을 중심으로 스페인, 독일, 폴란드, 러시아, 일본 등 세계 각 국은 대륙철도의 수송효율을 극대화하고, 자국의 물류수송체계에 적합한 대륙철도 네트워크의 확보를 위해 장기적으로 궤간 가변장치를 개발·상용화 중에 있다. 우리나라의 경우도 남북철도를 연결하고 더 나아가 철의 실크로드를 연계하여 21세기 교통 물류 중심지로 도약하고자 하는 상황이므로 궤간가변 기술이 범국가적 차원에서 시급히 요청된다고 할 수 있다. 그러나 우리나라의 경우 기본적인 조사만이 이루어졌을 뿐, 해당 기술 개발에 대한 국내 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 각국 궤간가변 장치의 개발 역사와 현황, 작동 원리 및 특징, 기술적 문제점 등을 수집·조사하고 분석함으로써 해당 장치의 기술 동향 및 개발 방향을 파악하고자 하였다.

2. 궤간가변시스템에 대한 해외선진기술 동향

2.1 스페인

1) 개발역사 및 현황

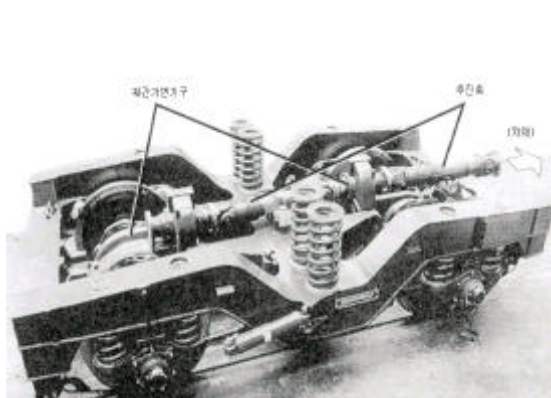
* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

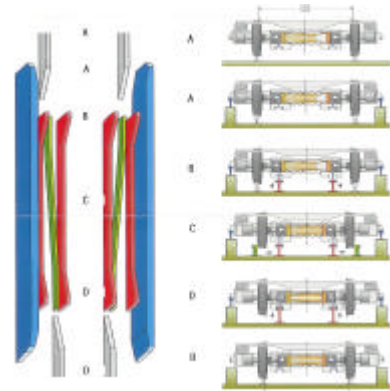
*** 한국철도기술연구원 연구원

스페인 Talgo사에서는 1960년대에 궤간 가변 여객열차 (Talgo RD)를 개발하여 1969년부터 상업운전 중에 있다. 운전속도는 220 km/h이며, 마찰에 의한 차량 하중 지지 방식과 윤축은 독립 회전 방식으로 되어 있다. 특히, 현재 세계적으로 유일하게 상업 운전을 하고 있으며 신뢰성을 보장받아서 200만회 이상 무사고 궤간가변 운행을 기록하고 있다. 또한 최근 시베리아 화물수송을 위한 궤간 가변 기관차 및 화차를 개발하고 있다.

Talgo 사는 Adtranz 사와 궤간가변기구를 장착한 전기기관차도 개발하였으며 Talgo XXI는 다양한 동력방식(교류25kv 직류3kv, 디젤)에 대응 가능하도록 되어있다.



<그림 2> 스페인 Talgo XXI 기관차용 궤간가변 동력대차



<그림 3> 스페인 Talgo사 궤간가변 장치 작동 과정

2) 궤간 변환 과정

궤간 변환은 지상의 궤간 변환장치 위로 10~15km/h의 속도로 주행하면서 수행되고 걸리는 시간은 12량 편성의 경우 15~20분 정도가 된다. 길이 13.14m의 차량 궤간 변환에 요구되는 시간은 차량 당 1분 미만이다. 단, 현재의 Talgo차는 기관차 견인열차이기 때문에 궤간 변환 시에 한 쪽 궤간의 기관차로 열차를 궤간 변환장치에 밀어넣고 열차의 반정도의 궤간이 변경된 시점에서 추진 운전용 기관차를 떼어내어 다른 쪽의 궤간 기관차를 열차의 선두에 연결하여 견인하는 작업이 필요하다. <그림 3>은 궤간 변환 과정을 보여주고 있으며 순서는 다음과 같다.

- 대차가 궤간 변환구간에 들어서면 궤간 변환장치의 양측에 설치된 차체 지지 레일이 대차의 축 하부의 하중 지지대를 받치고, 차축이 지지하고 있던 차체중량을 제거함
- 축박스의 쇄정핀을 지상의 궤간 해제레일로 끌어내려 잠금을 해제
- 좌우의 차륜이 궤간 변환장치의 차륜안내 레일에 안내되어 궤간 변경
- 축박스의 핀을 지상의 궤간 쇄정레일로 올려 다시 잠금을 고정

3) 궤간변환장치의 특징

Talgo 궤간가변 방식의 특징은 잠금핀을 상하로 움직이게 하기 위한 핀 헤드부를 이용하여 횡방향의 차륜의 움직임을 구속·해제 한다. 이때 잠금핀을 잠그고 해제하기 위하여 상하로 핀을 움직이기 위한 부분은 윤활이 없는 마찰을 이용한다. 여기에는 플라스틱 재료가 이용된다. 또한 차량의 하중을 지지하기 위하여 지지레일이 이용되는데 지지레일과 대차와의 마찰부위에는 윤활을 위하여 물을 이용하는데, 물을 이용한 윤활은 충분한 성능을 제공한다고 한다. 일본 RTRI의 경우와 비교할 때 스페인 Talgo사의 궤간가변 원리는 유사한 점이 많은 것을 알 수 있는데, 특히 차량중량의 궤간가변 시 하중 지지방식과 잠금장치의 잠금 핀을 이용하는 방식에 있어서 그러하다.



<그림 1>스페인 Talgo사의 궤간가변 차량 Talgo XXI

4) 기술적 문제점

유지보수의 문제로서 러시아 화차에 적용시 추위로 인한 어려움이 있다. 이를 극복하기 위하여 온수(hot water)를 이용하는데, 잠금 기구의 결빙을 방지하기 위하여 안내레일에 온수를 붓는다. 따라서 궤간변경 지상설비가 비교적 복잡하다. 또한 궤간가변 대차의 경우에도 다른 국가 시스템에 비하여 매우 복잡하여 유지보수에 노력이 더 소요될 것으로 생각된다.

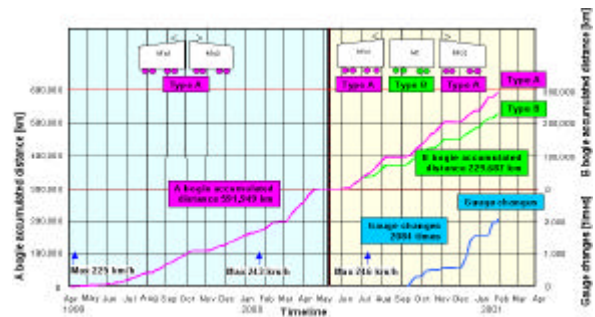
2.2 일본

1) 개발역사 및 현황

일본의 궤간가변 열차는 일본철도건설공단이 국토교통성 (Ministry of Transport)으로부터 전액 국고 조성사업으로 개발계획을 책정·관리하여 구체적인 기술개발에 있어서 RTRI (일본철도기술연구소)에 위탁하여 공동으로 개발하고 있다. 1994년부터 1996년까지 3년간 궤간가변 열차의 핵심기술들 즉, 모터, 궤간변환 장치들이 개발되었고 현재에는 주행시험으로 안전성과 신뢰성을 확인하는 실증시험의 단계에 있다. 실증시험은 크게 나누어 국내 예비시험, 미국 푸에블로 시험선 시험, 국내 확인시험의 세 가지로 나누었다.



<그림 4> 일본 RTRI의 궤간가변 열차 및 지상설비



<그림 5> 일본 궤간가변 차량의 푸에블로 시험 일정

2) 궤간변환 과정

● A방식 대차의 궤간변환 과정

차륜의 위치를 결정하는 잠금 부분은 주행 중에 지상설비를 통과 시 차륜에 예상되는 하중으로부터 자동적으로 작동되는 구조로 되어있다. 표준궤로부터 협궤로 궤간 변경되는 작동 순서는 다음과 같다.

- 대차는 궤간변환 궤도로 진입.
- 차륜에 작용하고있는 차량하중은 축상체 및 축상 지지레일에 작용함.
- 차륜의 박탈레일의 높이를 낮추기 위하여 차륜 또한 자중을 이용하여 하향으로 되도록 축상체의 중간에 로크 다보를 해제함.
- 차륜의 양측에 설치된 가이드레일을 따라 주행하는 도중에 차륜의 위치가 표준궤로부터 협궤로 변경됨.
- 차륜의 위치가 협궤의 위치로 오르는 경우 레일의 높이를 높이고 차륜도 함께 올려서 축상체의 중간에 로크 다보가 꼭 맞도록 궤간이 고정됨.
- 축상 지지레일을 해제하여 차륜에 차량질량이 작용함.

● B방식 대차의 궤간변환 과정

B방식 대차의 궤간변환을 행하는 부분은 슬라이드 스톱퍼와 세 종류의 암으로 구성되어있다. 각각의 암은 쇠정용 암, 작동 암, 해제용 암이라 부르며, 이러한 암은 1세트의 축으로 결합된 3개의 암이 일체로 되어 축을 중심으로 회전한다. 이러한 축은 축상 대들보 하부의 관통구멍에 붙어

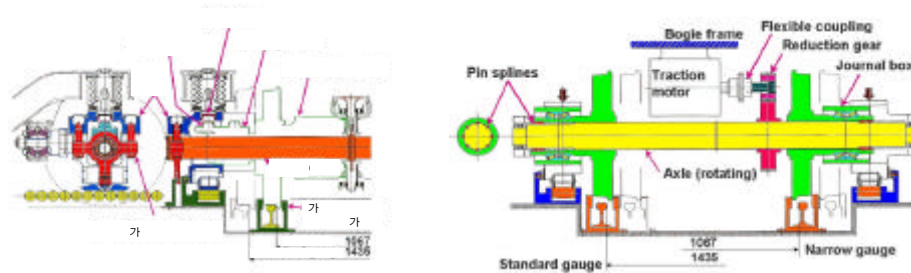
있다. 슬라이드 스톱퍼를 상하로 움직이도록 작동 압이 회전하게 되며, 그러한 회전은 쇠정용 압과 해정용 압이 회전하여 발생된다.

- 궤간변환 제어 시스템

일본의 궤간변경 시 차량의 하중이 지지레일에 옮겨질 때 차륜에 작용하던 회전력에 의해서 차륜이 공회전을 하게 되고 급하게 회전속도가 상승하게 된다. 이를 피하기 위하여 일본의 궤간가변 동력대차에는 궤간변환 과정에서 모터를 적절하게 제어하기 위한 제어 시스템을 탑재하고 있다.

3) 특징

일본에서 개발 중인 궤간가변 차량은 동력 분산식 전기차량이기 때문에 차량은 자유롭게 자기동력으로 두 궤간의 궤도를 주행할 수 있다. 또한 궤간 변경 동안에 스페인 Talgo사의 시스템과는 달리 열차를 정지시킬 필요도 없다. Talgo사와 유사한 점 중의 하나는 궤간을 변환하는 동안 차량의 중량을 지지하는 방식이라는 것이다. 다만, Talgo사는 마찰을 이용하며 RTRI는 로울러를 이용한다.



<그림 6> 일본의 A 및 B방식 대차의 단면도

4) 기술적 문제점

각 대차 당 8개의 인버터가 필요하고 구동모터가 축에 직접 연결된 형식의 경우 대차하중의 증가에 따른 질량의 비평형 문제가 있다. 또한 제작비가 많이 들고 유지보수에 비용이 많이 들 수 있다.

5) 기타 정보

일본에서는 궤간가변 시험열차 및 궤간변환 지상설비를 제작, 건설하기 위하여 15억엔 (약 150억원)의 비용이 소요되었으며, 이 비용에는 연구비는 제외되어 있으며 순전히 차량 및 궤간변환 지상설비를 건설하기 위한 것이다. 해당 연구에는 RTRI의 전담연구원 6명과 분야별 전문인력이 비 전담으로 약 30-40명이 참여하였다.

2.3 독일

1) 개발역사 및 현황

표준 궤간의 동유럽 국가와 광궤의 구 소련간의 철도운송을 추진하기 위해, 구 동독 국철은 1940년대부터 각종 궤간 가변 운착을 연구하여 1960년경에는 그들의 성과를 발전시킨 DBAG/RAFIL-III형 운착을 개발하여 30수량의 화차와 일부의 여객차에 채용하여 시험운용을 한 바 있다. 그 후 DBAG/RAIL-III 모델을 한층 더 개량한 것이 DBAG/RAFIL-IV형 운착으로 1970년경까지 개발하였다. 독일 철도 화물회사에서는 전술한 DBAG/RAFIL-IV형 운착을 개량한 V형 궤간 가변 운착을 4량의 화차와 영업열차에 장착하여 약 1000 km마다 궤간 변환을 행하면서 시험을 하고있다. 이 V형 궤간가변 운착은 독일철도 민덴 연구소와 Radsatzfabrik Ilsenburg사가 공동으로 개발한 것이다.

2) 변환 과정

DBAG/RAFIL V형 운착의 궤간은 아래와 같은 단계를 거쳐서 변환된다.

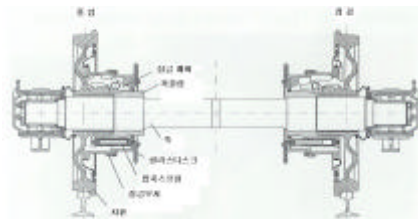
- 궤간 가변장치에 들어서면 운착 내부의 릴리스 디스크가 궤간 가변장치의 안내레일 형성 부분으로 움직인다. 이 두 레일사이의 공간이 증가하여 잠금 부시들이 외곽으로 밀려나게 된다.

이 과정은 압축 스프링의 저항을 극복하면서 이루어진다. 잠금 레버들은 부싱 안에 위치한 캠에 의하여 최초의 설치로부터 회전하여 축 방향으로 차륜을 풀면서 이루어진다.

- 윤축의 차륜 플랜지는 grooved 레일 안에서 구른다. 이 차륜들은 grooved 레일에 의하여 다른 궤간으로 안내된다.
- 일단 다른 궤간이 얻어지면, 안내레일들 사이의 공간이 감소하고 압축스프링이 자동적으로 locking 부시를 원래의 위치로 밀어낸다. 이 과정에서 잠금 레버들은 차륜내의 적당 채널로 잠금 부시상의 면에 걸치면서 안내된다. 즉 차륜은 다시 한번 축상으로 움직이지 못하도록 구속된다.

3) 특징

독일형 궤간가변 윤축은 모듈형으로 개발하였기 때문에 기존의 표준형 대차에 호환하는 윤축이므로 표준형 대차라면 단면도 치수를 참조하여 즉시 적용할 수 있다. 또한 스페인 Talgo사와는 다르게 차륜이 정상하중을 받는 상태에서 궤간이 변경된다는 것이다. 특히, 독일형 RAFIL의 궤간가변 윤축은 3개의 레버와 3개의 압축 스프링에 의한 잠금장치를 포함하여 단순하며, 또한 지상설비도 단순하다. 또한 직경 920 mm의 solid 차륜을 적용하였으며 Y-25 표준대차와 폴란드 PKP의 궤간 변환장치와 호환성을 유지한다. RAFIL 윤축의 장점으로는 값이 싸고 부가적인 질량이 크게 증가하지 않는다는 것이다. 그러나 윤축에 의하여 윤축의 실링이 된 내부에 수분이 생길 수 있다.



<그림 7> 독일 궤간가변 윤축의 단면



<그림 8> 폴란드 궤간가변 시스템

4) 기타정보

RAFIL사에서 제작한 궤간가변 윤축은 핀란드에서 혹한기에 실시한 제동시스템 시험을 수행한 결과 문제가 없었으며 (시베리아의 영하 60도 조건에 대한 적용가능성에 대한 정보는 없음), 기관차에 적용하기 위해서는 많은 수정이 필요하다.

2.4 러시아

러시아 철도종합연구소 (RRRI, VNIIZhT)는 궤간가변 윤축 개발에 대한 경험과 자체적인 설계 모델이 있다고 하며 독일 및 폴란드와 유사한 방식이라고 한다. 그러나 공개된 자료는 없으며, 러시아 측에서도 자료 공개를 꺼리고 있어서 상세한 내용을 알 수 없다.

2.5 폴란드

1) 현황

폴란드는 화차, 객차 및 동력차량용 궤간가변 윤축 SUW2000을 개발하였다. 폴란드 철도는 표준궤간이지만 구 소련의 리투아니아 (1542mm)와 직통운행을 하기 위하여 SUW2000형 궤간가변 대차를 개발하였다. 여객차용 대차는 최고시속 160km/h이며, 화차용은 최고시속 120km/h(축중 20~22.5톤)이다. 특히 스페인의 1668 mm의 궤간에도 대응 가능하게 되어 있으며, 2000년 10월부터 리투아니아의 사이에 여객차 및 화차로 영업운전에 사용되고 있다.

2) 변환방식 및 과정

궤간 변환 과정은 <그림 9>와 같다.

- 윤축이 1,435mm 궤간축에서 궤간변환 장치에 진입하고 차륜은 차륜 rim에 의해 홈레일에 고정되어 안내된다.
- 좌측 플랜지가 제한레일에 접촉되어 주행됨에 따라 확장부위에 대해 잠금장치가 해제되어 좌측 차륜의 축방향으로 이동한다. 이 때 완전히 고정된 우측 차륜이 전체 윤축 셋트를 안내한다
- 좌측의 해방된 차륜은 rim과 홈레일 간의 힘에 의해 1,520mm 궤간의 중간까지 이동한다. 이 운동동안 확장 부위는 차축의 2차 홈으로 이동하여 고정된다. 완전히 고정된 우측 차륜은 여전히 전체 윤축을 안내한다
- 좌측 플랜지가 제한레일로부터 벗어남에 따라 고정 부위가 본래 위치로 복귀되면서 확장 부위를 쇄정하고 좌측 차륜을 1,520mm의 절반 위치에서 쇄정한다. 이 때 차륜은 전체 윤축을 안내하기 시작한다. 위의 공정이 우측차륜에도 반복되고 결국에 윤축 전체가 1,520mm 구간으로 주행하게 된다

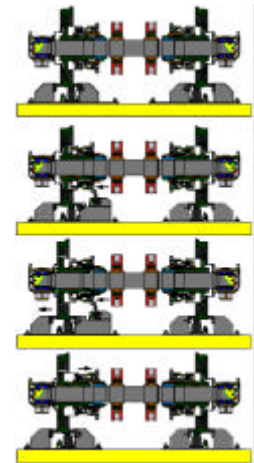
3) 특징

차륜들은 측상에서 자유회전을 할 수 없도록 하여 self-alignment가 가능하도록 하고 있다. SUW2000의 특징으로 기존의 윤축을 대차의 공간만 확보된다면 수정 없이 이용할 수 있다는 것이다.

2.6 각국 궤간가변 시스템 특징 비교

<표 2> 각 국가들의 궤간가변 시스템 비교

국가 비교항목	스페인(Talgo)	독일(RAFIL)	일본(RTRI)	폴란드(PKP)
일반특징	여객차량에 서비스 중	모듈형 궤간가변 윤축	동력분산식 동력대차	모듈형 궤간가변 윤축
용도	객차/ 화차/동력차	화차/객차의 표준 대차용 윤축	여객차용	화차/객차/동력차의 표준 대차용 윤축
개발정도	60년대 후반부터 여객차량에 서비스 중	2002년말 시제차 시험완료 예정	시제차 시험 중 (10년 이내 서비스 예정)	상업용 시험운행
차륜구동형식	구동/비구동 (기관차용 대차 개발 시험 중)	구동 없음	차륜직접 구동(A type), 구동기어에 의한 구동 (B type)	구동/비구동
운행속도	200-220km/h	120km/h	개래선 100km/h 고속선 246km/h	100-200km/h
차륜형식	독립/일체	일체 회전	독립/일체	일체 회전
궤간변환속도	10-15km/h	10km/h	15km/h	최고 30km/h
변환시 차량하중 지지여부	마찰에 의한 지지	지지 없음	롤러에 의한 지지	지지 없음
변환장치 특징	복잡	단순	복잡	단순



<그림 9> 폴란드
궤간가변 시스템
SUW2000의 작동 과정

3. 맺음말

본 논문을 통하여 현재 각 국에서 진행중인 궤간 가변 장치 기술의 현황 및 국가별 특징 등을 살펴보았다. 현재 동북아 지역에서는 국경역에서 자국의 기관차로 상대화차를 견인하기 때문에 유지보수 측면이나 운영적 측면에서 대륙 연계 화차용 궤간가변 장치개발이 필요하며, 궤간가변 장치의 핵심기술은 기존 대차에 모듈형 가변 윤축을 교환할 수 있는 방식이 바람직 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업단의 일환으로 건설교통부의 연구지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 구정서, 송달호, 한형석(2001), "이중궤간 시스템의 효율적인 운영에 대한 개발 연구", 2001년도 공공기술연구회 정책연구사업 위탁계획서.
2. Talgo 브로셔
3. (1996), "Talgo track gauge change system application to conventional design two-axled wagons", Company Report.

4. "Wheelsets for rail vehicles", RAFIL brochure.
5. "The 21st century, The era of rail freight transportation", JR화물 brochure.
6. (1998), "Wagons: Variable-gauge running gear for 1435 mm/1520 mm and 1668 mm; recommendations for bilateral agreements", UIC 510-4 R.
7. (2000), "Gauge-adjustable wheelsets," Rail International.
8. Jose Luis SANCHEZ-GONZALEZ(2000), "Variable gauge axles", Bombardier Annual Report 2000, 31.
9. (2001), "New Rolling Stock for Intermodal Transport", web page.
10. "Research and development to create the railways and society of the future", RTRI Brochure.