

特輯

“철도분야에서의 신소재 복합재 응용 기술”(총 7편) 중 - 제1편

200km/h급의 한국형 고속틸팅열차(TTX) 개발사업 소개

한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단
신광복*, 구동희**, 한성호***

1. 서론

기존선 속도향상, 안전성 확보, 수송서비스 개선을 목표로 하는 철도기술연구개발사업은 고객에게 고품질의 서비스를 제공하고 타 교통시스템과의 경쟁력을 확보하기 위하여 주관행정부처인 철도청과 전문기관인 한국철도기술연구원에서 추진하고 있다.

이 사업은 1999년 12월 철도기술연구개발사업 기본계획을 수립하여 2001년 8월 한국철도기술연구원을 사업자로 선정하고 총 400억의 정부지원예산을 투입하여 2006년 7월까지 5차년도에 걸쳐 기존선 속도향상을 위한 실용화 기술개발을 목표로 하고 있다.

주요 사업내용으로는 기존선 속도향상(140km/h→160, 200km/h)에 필요한 차량, 선로구축물, 전기신호시스템 기술 및 제품개발, 유지보수 과학화 및 체계화기술(maintenance free화 지향) 개발을 들 수 있다. 특히, 초기 시설투자비용을 최소화하면서 속도향상에 따른 운행시간 단축 효과를 최대화하기 위하여 선진외국에서 이미 성공적으로 적용하고 있는 틸팅차량시스템의 실용기술개발을 추진하고 있다.

이 기술은 궤도 곡선부의 캔트부족량을 차체 틸팅제어를 통해 보상해 줌으로써 곡선구간에서의 열차주행속도를 향상시킬 수 있기 때문에 기존 운행되는 열차보다 20%~30% 정도의 속도향상 효과를 얻을 수 있다.

국내에서 본격적으로 틸팅기술개발이 추진되는 것은 이번이 처음이며 틸팅메커니즘(대차, 판토틀라프)과 틸팅제어기술에 대한 고도의 신뢰성과 안전성, 횡가속도 증가에 따른 승객의 승차감 향상 등 최신 제어기술을 바탕으로 한 시스템엔지니어링기술의 확보가 주요 관건이다.

특히 틸팅차량시스템은 차체 경량화를 위하여 신개념의 하이브리드 복합재 차체(hybrid carbody structure) 개발을 목표로하여 국내최초로 연구개발 하고 있다.

이 사업이 종료되는 2006년 이후에는 연구결과를 토대로 제작된 최고설계속도 200km/h급 틸팅열차가 실제 영업선로에 투입될 것이며 차량수급계획에 따라 2010년까지 단계적으로 추가 운영될 전망이다. 따라서, 300km/h급 고속철도차량(KTX) 개통과 함께 200km/h급의 고속틸팅열차 운영으로 고속철도와 기존철도와의 속도차이를 줄이고 지역간 균형적인 발전 등 철도전반의 수송효율성 향상이 가능하게 될 것이다.

2. 기존선 고속화 실용화 사업추진현황

2.1 사업 개요

- 사업기간 : 2001년도~2006년도
- 총사업비 : 470억원(정부 : 400억원, 민간 : 70억원)
- 과제체계 : 주관과제 1개, 세부과제 14개로 구성
- 지원형태 : 정부출연금(지원조건 : Matching Fund)
- 사업수행주체 : 한국철도기술연구원
- 지원근거
 - 과학기술기본법 제7조(과학기술기본계획)
 - 국유철도의 운영에 관한 특별법 제32조(철도기술의 진흥)

2.2 사업 목적

기존선 속도향상을 위한 실용화에 필요한 차량/선로 구축물/전기신호 시스템 등의 상호 인터페이스를 최적으로 유지하여 최고운행(설계)속도 180(200)km/h의 기존선 고속틸팅열차 개발을 목적으로 하고 있다.

2.3 사업 추진계획 및 내용

* 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 시스템엔지니어링팀, 교신전자(shin955@krti.re.kr)

** 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단장

*** 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 시스템엔지니어링팀장

2.3.1 사업추진계획

Fig. 1에서 보듯이 개념설계(1차년도), 기본설계(2차년도)가 완료되어 현재 상세설계 및 proto제작(3차년도)이 진행되고 있으며 2004년도 8월 이후부터는 4차년도 사업이 수행되어 틸팅열차 1편성 제작을 시작할 계획이다. 2004년도 12월경에는 구조시험용 하이브리드 복합재 차체 시제차가 제작되어 실제 차량 제작에 앞서 설계 검증을 수행할 예정이다.

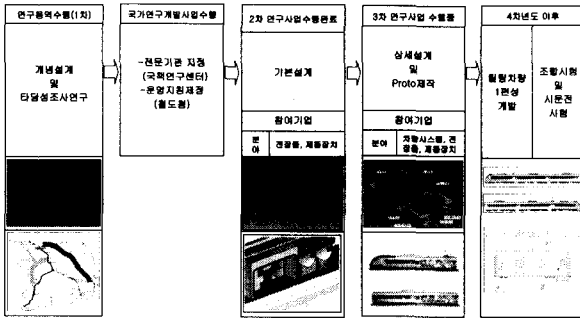


Fig. 1 사업추진 일정 흐름도.

2.3.2 사업주요내용

한국형 고속틸팅열차(TTX) 개발사업의 주요내용은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 틸팅차량시스템 개발 분야와 인프라 시스템개발 분야로 크게 나눌 수 있다. 틸팅차량시스템 개발 분야에서는 하이브리드 복합재 차체 개발 뿐만 아니라 틸팅대차, 제동장치, 추진제어 장치 등과 같이 차량개발에 필요한 기술 확보에 초점을 두어 수행하고 있으며 인프라 시스템 개발 분야에서는 틸팅차량이 개발된 후 기존선 속도향상을 위한 기존선의 교량, 전기/신호, 선로 개선 등의 연구를 수행하고 있다.

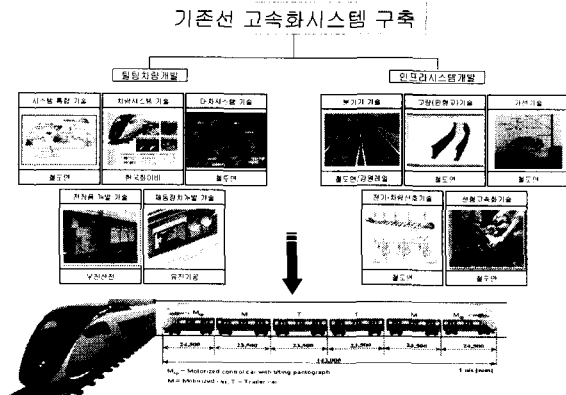


Fig. 2 기존선 고속화시스템 구축 체계도.

3. 한국형 틸팅열차의 시스템 구성 및 기술사양

3.1 틸팅차량시스템 설계사양

한국형 고속틸팅열차는 Fig. 3과 같이 공기저항을 최소화하기 위한 유선형 전두부, 실내공간 최적화를 위한 항공기식 실내설비, 틸팅대차/판토그래프 개발, 에너지 절감을 위한 경량 하이브리드 복합재 차체 개발 등과 같은 설계 방향을 가지고 개발을 수행하고 있으며 이에 따른 주요 설계 사양은 Table 1에 나타났다.



Fig. 3 틸팅차량시스템 설계 방향.

Table 1 틸팅차량시스템 주요 설계 사양

주요항목	한국형 고속틸팅열차(TTX)	비교
설계최고속도	200km/h	국내최초 중고속용
열차편성	6량1편성(4M2T)	국내최초 분산식
차체	하이브리드 (복합재+금속재)	국내최초
전두부	유선형과 한국형 색감	독자설계
실내내장	실내패적화/난연성	독자제작
차체 틸팅기구	스윙링크방식	독자개발
조향장치	Damperless 방식	세계최초 무보수형
틸팅 제어장치	차상-지상 혼합검지 방식	세계최초
틸팅판토그래프	고집전 성능경량 구조	국내최초

3.2 하이브리드 복합재 차체 개발

틸팅열차는 곡선주행 시 차체를 기울여야 하므로 이로 인한 무리한 축중 하중은 선로의 손상을 초래하여 탈선의 위험 및 유지보수비용의 증가를 초래할 수 있으므로 틸팅열차의 차체 경량화는 매우 중요한 탈선 목표이다. 따라서, 한국형 고속틸팅열차(TTX)의 차체는 해외 복합재 차

체 개발 방향에 대한 사례 분석, 다양한 재료와 설계 방안을 고려한 타당성 분석 그리고 국내 제작 기술 등을 종합적으로 분석한 결과 다음과 같이 개발방향을 선정하여 연구개발을 추진하고 있다.

- 모듈화 설계 기법 도입
- 내장재의 복합재 사용
- 샌드위치 차체 외각(bodyshell)과 금속재 언더프레임의 결합 구조를 갖는 하이브리드 차체 구조
- 접착제와 기계적 결합을 동시에 적용하는 하이브리드 체결방법
- 오토클레이브에 의한 성형 기법

Fig. 4와 5는 TTX 하이브리드 차체에 대한 제작 개념도와 조립도를 나타내고 있다.

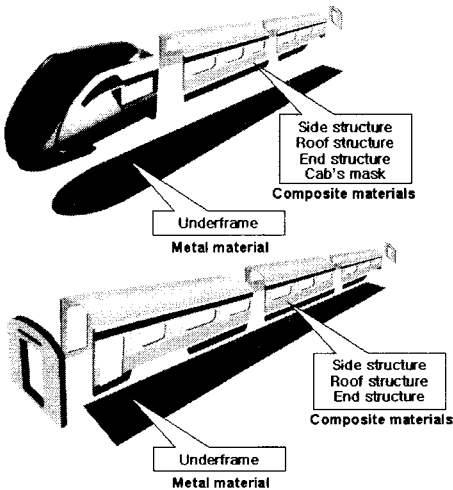


Fig. 4 TTX 하이브리드 차체 제작 개념도.

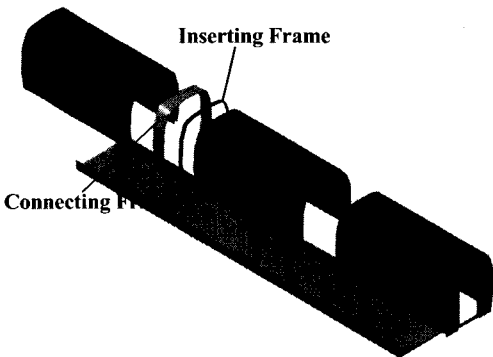


Fig. 5 TTX 하이브리드 차체 조립도.

3.3 TTX 열차편성

열차편성은 승객수요에 효과적으로 대처 할 수 있도록 하고, 시스템 운영 효율성과 편성의 유연성을 위하여 Fig. 6과 같이 3량 1유닛(구동차 2량과 부수차 1량) 단위로 편성하였다. 이는 시스템 운영의 효율성과 Fail-Safe 기능 향상을 위한 구조로 검토되었다. 열차 편성의 기본(안)은 향후 양산시를 대비하여 시스템의 특성을 동일하게 운영 되고, 성능이 발휘되도록 2유닛 6량으로 구성하였으며, 이는 중앙선 및 장항선 등에서 즉시 투입이 가능하도록 고려한 열차편성이다.

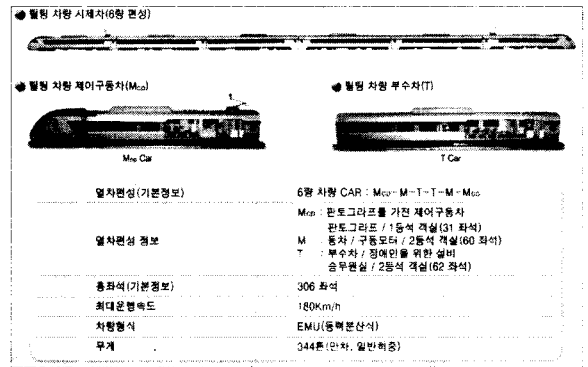


Fig. 6 틸팅열차 편성 제원.

3.4 틸팅시스템 사양

틸팅시스템은 대차와 판토그래프 프레임과 관련된 틸팅메커니즘과 열차제어진단장치와 관련된 틸팅제어기 크게 구분된다. 틸팅 링크 메커니즘은 차상 내 곡선감지 장치를 통해 액츄에이터가 작동되는 강제틸팅방식을 선정하였으며 틸팅을 위한 최대 각도는 국외 수준에 맞추어 8°이하로 설정하였다. 또한 틸팅 시스템은 제어 불능 시를 대비한 Fail-Safe 기능을 갖도록 하여 승객의 안전성과 시스템의 신뢰성을 확보하도록 하였다.

틸팅방식은 차상 내에서 곡선을 감지하고, 연산을 통해 강제적으로 차체를 경사 시키는 강제제어방식으로 하며, 전기-기계식 틸팅제어방식으로 선정하였다.

틸팅 제어는 편성틸팅제어기와 차량틸팅제어기로 구성하여 선두열차에 설치된 편성틸팅제어기와 센서로부터 곡선을 감지하여 틸팅을 위한 제어명령을 편성 내 각 차량의 틸팅제어를 담당하는 차량틸팅제어기에 순차적으로 명령을 전달하는 일괄 집중제어식으로 시스템을 구성하도록 하였다.

Fig. 7은 선두차에 탑재된 편성틸팅제어기의 구성(안)을 보여준 것이다. 판토그래프는 집전관은 차체의 틸팅과 연동되어 항상 전차선 중심에 위치하도록 제어되어야 하며,

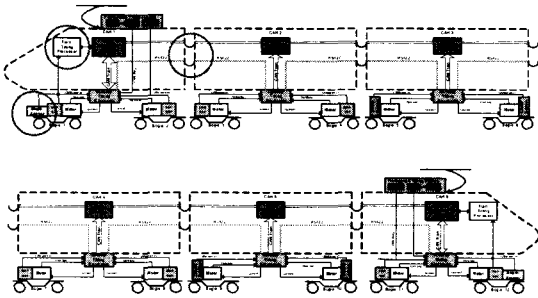


Fig. 7. 틸팅제어시스템 편성구성도.

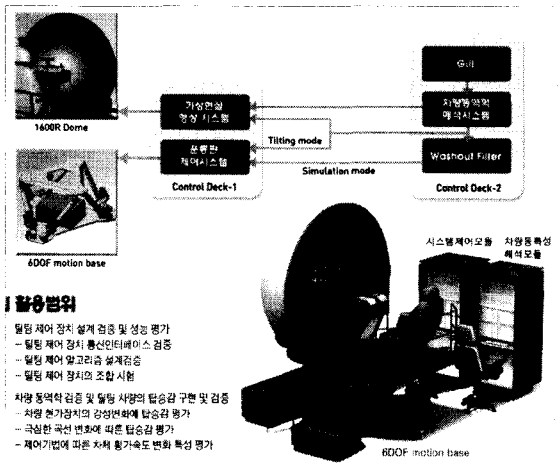


Fig. 8. 틸팅시뮬레이터 기능구성도.

주행 중 틸팅 시스템이 작동불능 시에는 차량의 중심으로 복원되도록 설계하여 일반차량과 같이 편위 및 접촉율의 이상 없이 정상상태로 주행할 수 있도록 고안하였다.

3.5 틸팅주행시뮬레이터

주행시뮬레이터의 제작목적은 틸팅차량에 설치될 틸팅 제어 장치의 성능평가, 차량동역학 검증 및 틸팅 차량의 탑승감 구현 및 검증이다. 구성은 Fig. 8과 같이 시스템 제어모듈 차량동역학해석 모듈 가상현실 영상시스템 및 6축 전동식 운동판으로 구성되어 있다.

주요 평가 및 활용내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 틸팅제어장치 설계 검증 및 성능 평가
 - 틸팅제어장치 통신인터페이스 검증
 - 틸팅제어 알고리즘 설계 검증
 - 틸팅제어장치의 조합 시험

- 2) 차량동역학 검증 및 틸팅 차량의 탑승감 구현 및 검증
 - 차량 현가장치의 강성변화에 따른 탑승감 평가
 - 극심한 곡선 변화에 따른 탑승감 평가
 - 제어기법에 따른 차체 횡가속도 변화 특성평가

4. 맺음 말

기존선 속도향상은 차량/선로/신호등 각 분야에서의 충분한 기술개발과 전체 시스템 측면에서의 인터페이스가 매우 중요하다. 따라서 경부고속철도 개통과 함께 기존선의 속도향상을 성공적으로 성취하기 위해서는 틸팅차량의 개발과 이와 아울러 선로 및 신호와 같은 인프라 분야의 성능개선 기술개발을 병행하여 추진하는 것이 바람직하다. 적은 시설투자비용을 가지고 기존선의 속도향상 효과를 올릴 수 있는 틸팅열차 개발사업은 곡선부의 속도제한을 극복하는 것이 핵심기술이며 본 철도기술 연구개발사업이 성공적으로 완료되는 시점에는 우리나라의 국가철도망의 속도는 크게 향상되어 국가물류비용의 절감 및 국가경쟁력 향상에 큰 이바지를 할 것으로 기대된다.