전기식 틸팅차량(TTX)의 구성 및 기술사양

한성호*

Technical specification of Electric Multiple Unit with Tilting Express

Seong-ho Han

Abstract

This paper suggested that the technical specification of tilting train EMU for speed up on existing lines. High speed strategy of existing lines are the modification of railway system which are made on cant, lengths of transition curves, the catenary system and train system. Tilting technology is more useful a strategy for speed increases on existing lines with low investment needed. We performed a feasibility study which is considered out real track conditions and designed propulsion and braking system of tilting EMU system.

Key Words: Tilting EMU(Electric Multiple Unkt)

1. 서 론

철도교통의 경쟁력 확보를 위하여 무엇보다도 중요한 것은 열차의 고속화 달성이며 이를 위한 기본적인 형태는 최고속도, 곡선통과속도, 분기기 속도, 가감속도의 향상이 궁극적으로 중요하다. 즉 차량, 선로, 전력, 신호등 각 철도분야의 기반요소가 상호 유기적으로 연계되어 경제성을 고려한 최적 설계를 기반으로 해야만이 달성할 수 있다.

속도향상기술에는 크게 새로운 선로를 건설하여 고속열차 차량을 투입하는 고속철도 기술과 기존선의 일부 개량과 틸팅차량을 투입하는 기존선 고속화 기술로 나누어 볼 수 있다. 국내 2004년 개통을 앞두고 있는 KTX차량이 전자에 해당하고 후자는 비수혜지역의 균등한 서비스를 지원하기위해 추진하고 있는 기존선 고속화 사업을 들 수 있다.

기존선의 고속화를 위하여는 선형개량, 전기신호개량, 틸팅차량시스템 개발 등 다각도에서의 속도향상을 고려해야 한다. 이 가운데 틸팅차량의 투입운영은 기존선의 인프라 개량비용을 최소화하면서 곡선부의 속도향상에 따른 기존선 고속화를 달성하는 방안으로 시설투자비용 최소화에 대한 장점이 있다.

이외에도 기존선, 개량된 재래선, 신설 고속선 등 모든 노선에서 시속 160[km/h]~250[km/h]의 속도로 차량이 운용될 수 있다. 또한 신설 노선을 건설하는 동안 그 공백을 매워줄 수 있으며 신설노선으로 대체할 수 없는 기존선의 운용 효율을 향상시킬 수 있다.

틸팅방식은 기존 노선에서 선로의 곡선부를 지날 때 차체를 기울여 승객이 받는 원심력을 최소화하고 승차감과 안전성을 확보하는 범위에서 속도를 향상하는 기술이다. 외국의 사례를 보면 틸팅방식 적용시 비틸팅차량에 비해 속도향상의 효과를 15[%]~30[%]를 얻을 수 있음이 입증되고 있다. 이탈리아의 경우 틸팅방식의 연구에 집중 투자한 결과 현재 자체기술로 프랑스 TGV나 독일 ICE에 못지 않은 시속 250[km/h]급의 고속철도를 운행하고 있다. 산악지대가 많은 지역의 경우 신선 건설비용이 높은 고속철도 보다 기존선을 이용하는 틸팅차량의 투입 효과가 상대적으로 크다.

본 연구는 기존선 고속화를 위한 최고운행속도 180[km/h]급 한국형 고유모델 틸팅차량시스템의 추진, 제동성능해석과 틸팅시스템 사양을 제시하였다.

2. 해외틸팅차량시스템 기술사양

틸팅방식은 곡선주행 시 차체를 일정 경사각으로 강제제어하는 강제틸팅제어식과 곡선 주행시 발생하는 경사각에 의거 자연적으로 제어되는 자연틸팅제어식으로 구분된다. 현재 틸팅방식은 대부분이 강제식이 많이 사용되고 있으며 주요 해외 국가의 대표적인 틸팅시스템 사양을 표 1에 비교 분석하였다.

표 1. 각국 틸팅차량 시스템 비교

대차	제작사	속도 Km/h	틸팅방식	엑츄에이터	경사각도	축거 m	적용차종	상용연도
ETR 460	Fiat	250	강제링크	유압식	8	2.7	ETR, ICT, S220	1995
X2000	ABB	210	강제링크	유압식	8	2.9	X2000	1990
Acela	Bombardie	240	강제링크	유압식	8	3.0	Asela, LRC	2000
VT611	Adtranz	160	강제링크	전기식	8	2.45	VT611, VT612	1997
ICT-VT	Siemens	200	강제링크	전기식	8	2.6	ICT-VT	2000
TGV-Pendu.	Alsthom	220/320	강제링크	전기식	8	3.0	TGV-Pendular	2002
ICN	Fiat-SIG	200	강제롤러	전기식	8	2.6	ICN, Virgin Rail	2001
Series283	Fuzi	130	강제베어링	공압식	6	2.15	Series 283	1997

3. 국내기존선 틸팅차량시스템 설계사양

3.1 최고운행속도 목표사양

현재 국내에서 추진 중인 기존철도 주요 개량사업으로는 중앙선, 장항선의 선로설계속도 120[km/h]~180[km/h] 향상, 호남선 송정리-목포구간 200[km/h]로 개량 사업을 들 수 있다. 이는 인프라 성능향상을 위한 시설투자로서 향후 개량선로의 최고운행속도를 고려해 볼 때 틸팅차량의 목표속도는 이를 반영해야 한다. 또한 해외 대부분의 틸팅시스템 운행속도를 살펴보더라도 180[km/h]~230[km/h]대로 운행하고 있어 향후 기술 추세를 고려해 볼 때 운행속도를 180[km/h]로 설정하는 것이 가장 적절한 것으로 검토되었다.

이는 철도청 연구개발사업 1단계 기획보고서에서 제시하는 2004년까지의 160[km/h] 보다 상향 설정한 것으로 선진기술의 국내기술 보유 및 기술발전 추세를 고려한 기술향상 증진을 위한 것이다.

표 2. 국내 틸팅차량 시스템 주요 사양

주요항목	한국형 고속틸팅열차 (TTX)	비고
설계최고속도	200km/h	국내최초 중고속용
열차편성	6량1편성 (4M2T)	국내최초 분산식
차체	Hybrid(복합재+스테인레스)	국내 최초
전두부	한국형 색감과 미려한 형상	독자설계
실내내장	실내 쾌적화 및 불연성 소재	독자제작
차체 틸팅 기구	스윙링크방식(유지보수성 우수)	독자개발
조향장치	Damperless 방식	세계최초 무보수형
틸팅 제어장치	차상-지상 혼합 검지방식	세계최초
틸팅 판토그라프	고집전 성능 경량 구조	국내최초
추진제어장치	200km/h급 전력변환장치 및 견인전동기 개발	국내최초

- 국내 간선용 중고속 (200Km/h)급 EMU (Electric Multiple System) 표준화 모델 개발 제시
- 국내 독자 틸팅시스템 매카니즘 개발 : 대차, 팬터그라프, 대차, 틸팅 운행제어기술
- 초경량 차체 개발
  추세 : 강재 -> 스테인레스 -> 알루미늄 -> 복합차체
- 세계 최초 중고속용 복합차체개발 실용화연구
- 차량분야 핵심 장치 국산화 개발
  감속기, 유도전동기, 전력변환장치, 열차제어장치, 제동장치

차상신호시스템 개발(차상열차제어방식: ATP)

3.2 열차 편성

열차편성은 승객수요에 효과적으로 대처 할 수 있도록 하고, 시스템 운영 효율성과 편성의 유연성을 위하여 3량 1유니트(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 운영되고, 성능이 발휘되도록 2유니트 6량으로 구성하였으며, 이는 중앙선 및 장항선 등에서 즉시 투입이 가능하도록 고려한 열차편성이다.

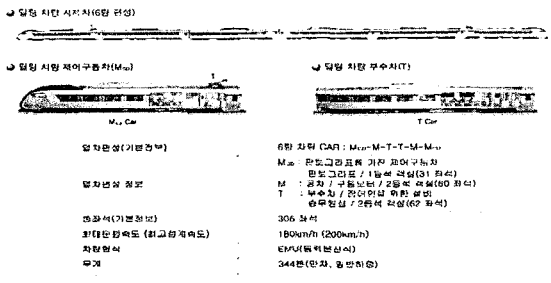

그림 1. 틸팅열차 편성 제원

이러한 구성은 각 유니트 단위로 독립 시스템을 구성하여 3 유니트 9량, 4 유니트 12량 등으로 편성을 확대할 수 있는 장점을 갖게되어 노선별 교통수요에 따라 편성을 자유롭게 할 수 있어 편성의 유연성을 가질 수 있다.

3.3 틸팅 시스템 사양

틸팅시스템은 대차와 판토그라프 프레임과 관련된 틸팅메커니즘과 열차제어진단장치와 관련된 틸팅제어기로 크게 구분된다. 틸팅 링크 메커니즘은 차상 내 곡선검지장치를 통해 액튜에이터가 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 검지하고, 연산을 통해 강제적으로 차체를 경사 시키는 강제제어방식으로 하며, 전기-기계식 틸팅제어방식으로 선정하였다.

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

그림 2는 선두차에 탑재된 편성틸팅제어기의 구성(안)을 보여준 것이다. 판토그라프는 집전판은 차체의 틸팅과 연동되어 항상 전차선 중심에 위치하도록 제어되어야 하며, 주행 중 틸팅 시스템이 작동불능 시에는 차량의 중심으로 복원되도록 설계하여 일반차량과 같이 편위 및 접촉율의 이상 없이 정상상태로 주행할 수 있도록 고안하였다.

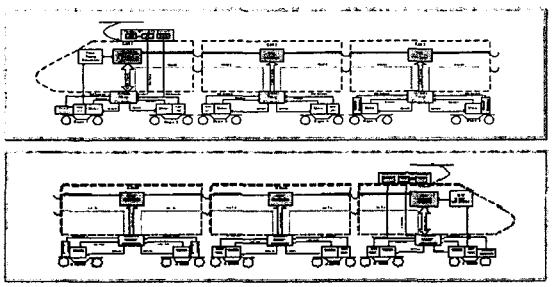

그림 2. 틸팅제어시스템 편성구성도

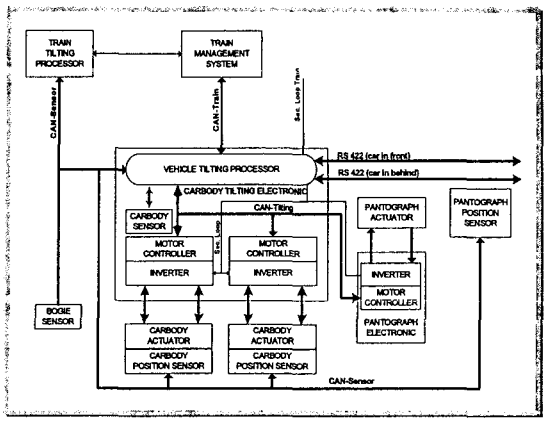

그림 3. 틸팅제어시스템 구성품 연계

- Z 링크 방식의 조향장치 적용
- Pendulum 방식의 틸팅 메커니즘
- 견인링크 방식
- 차륜디스크 제동장치 대차 양단부에 설치(구동대차)
- 차축디스크 제동장치 설치(부수대차)

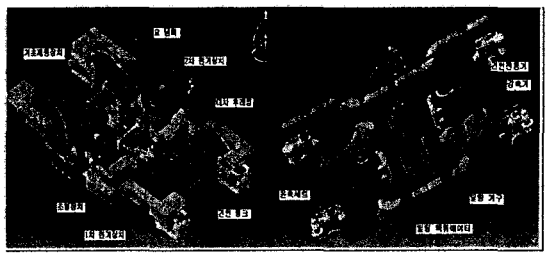

그림 4. 틸팅대치시스템 설계도

차체의 틸팅운동 방향에 대하여 역방향으로 판토그라프 틸팅수행
- 차체의 틸팅에도 불구하고 판토그라프의 전차선 추종성확보
- 벨트형 강제 틸팅방식 채용

차량경량화 와 틸팅차량 주행 안정성 확보를 위한경량 판토그라프 개발
- 공기흐름에 의한 판토그라프의 압상력 조절을 위하여 공력해석을 통한 에어포일 형상 설계
- 전차선의 마모와 파손을 방지하기 위한 자동하강장치 적용
- 전차선 추종성을 향상시키기 위한 독립 팬헤드 균형장치 적용

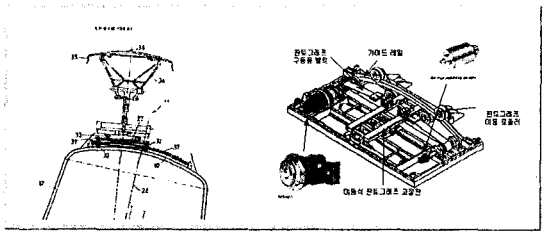

그림 5. 틸팅판토그라프 설계도

3.4 틸팅주행시뮬레이터

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

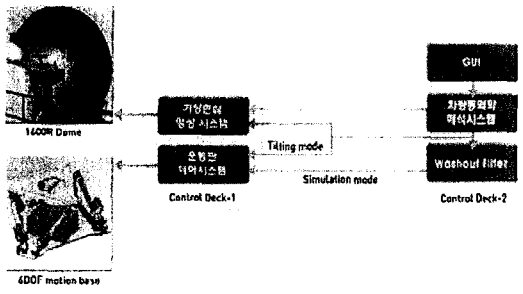

그림 5. 틸팅시뮬레이터 기능구성도

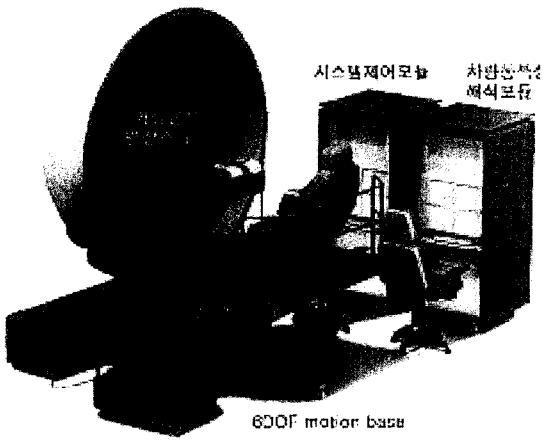

그림 5. 틸팅주행시뮬레이터 개념도

주요 평가 및 활용내용을 요약하면 다음과 같다.
1. 틸팅제어장치 설계 검증 및 성능 평가
- 틸팅제어장치 통신인터페이스 검증
- 틸팅제어 알고리즘 설계검증
- 틸팅제어장치의 조합 시험

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

4. 결 론

본 연구는 기존선 속도향상을 위한 방안으로 틸팅차량의 운행에 대한 필요성과 국내 기존선에 적합한 차량시스템기술사양을 소개하였다. 특히 틸팅차량의 성능을 나타내는 차량의 최고운행속도, 편성개념, 틸팅시스템과 틸팅주행성능평가를 위한 주행시뮬레이터에 대하여 제시하였다. 본 연구에서 제시된 기술사양(안)은 현재 상세설계를 추진하고 있으며 향후 제작 및 조립을 통해 국내 주요간선에서 운행될 중고속용 전기식 틸팅열차의 표준모델로 제시될 것이다. 따라서 국내외 최고의 기술진이 참여하고 있으며 무엇보다도 궤도의 부담력을 최소화할 수 있도록 차량의 경량화 연구를 중점적으로 추진하고 있다. 앞으로 지속적으로 기존선 속도향상을 위한 핵심기술인 시스템 엔지니어링기술, 차량 및 부품 설계/제작, 시험평가, 선로개량, 전기신호 성능개선 등의 연구개발을 통하여 국내 기존선의 속도향상에 관한 연구를 집중적으로 수행할 계획이다.

참고문헌

[1] 한국철도기술연구원, 철도청 기존선 고속화 실용기술개발사업, "시스템 엔지니어링 및 시스템 통합과제", 1차년도 연차보고서, 2002, 4

[2] 한국철도기술연구원, 철도기술정보지 논문집, 1997. 4

[3] 한국철도청, "21세기 철도기술의 비전", 1999. 9. 16

[4] 한국철도청, 팽정광, 1990. 10. 7, "한국 철도차량 수여전망과 철도산업 육성 전략"

[6] 한국철도기술연구원, 철도기술정보지 논문집, 2000. 6,

[7] 한국철도기술연구원, 철도기술정보지: 21호(1999. 11), 23호(2000. 4)

[8] 철도학회, 춘계논문발표집, "기존선 고속전철 연계운용으로 고속화 방안", 2001. 5

[9] 철도차량공학, 박광복 著, 삼성종합출판, 2판, 2000. 8