

틸팅차량개발 시스템엔지니어링체계 기본모델연구

한성호, 이수길, 신광복, 유원희, 김진훈
한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단, SE-tech*

Design of Basic model of system engineering for developing Tilting Train

Seong-Ho Han, Su-Gil Lee, Gwang-Bok Shin, Won-Hee You, Gin-Hun Kim
Korea Railroad Research Institute, SE-tech.

Abstract - In order to speed up basic concept is to enhance high speed, curve limit speed, cross limit speed, acceleration/deceleration speed. It is important to optimal interface fundamental technology of vehicle, rail, electrical power, and signal system.

Tilting train has advantage minimizing investment cost of infra railway system for increasing train limit speed in curve. the developed tilting train should be operated to commercial service speed 180Km/h of 200Km/h at KNR upgrade railroad. This paper proposed the basic model of system engineering for developing of tilting EMU(maximum operation speed : 180km/h) with speed-up of conventional railway system.

1. 서 론

현재 국내 기존선의 수송용량은 1986년 이래 속도향상이 멈춘 이후 한계에 도달했으며 대부분 주요간선의 표정속도가 100km/h 전후로 저속운행하고 있다. 이러한 현상은 국내뿐만 아니라 해외 선진국에서도 있어서, 이들은 이미 기존선의 고속화를 위하여 선형개량, 전기신호개량, 틸팅차량시스템 개발 등 다각도로 속도향상을 위한 투자를 지속적으로 추진해 오고 있다.

열차의 고속화를 달성하기 위한 가장 기본적인 형태는 최고속도, 곡선통과속도, 분기기속도, 가감속도의 향상이 궁극적으로 이루어져야 하며 이것은 차량, 선로, 전력, 신호등 각 철도분야의 기반요소가 상호유기적으로 결합되어 달성할 수 있다. 이 가운데 틸팅차량의 투입운영은 기존선의 인프라 개량비용을 최소화하면서 곡선부의 속도향상에 따른 기존선 고속화를 달성하는 방안으로 시설 투자비용 최소화에 대한 장점이 있다.

본 연구는 기존선 고속화를 위한 최고속도 180km/h급 틸팅차량시스템 개발을 성공적으로 수행하기 위한 시스템공학적인 기술 적용을 통한 체계구축 기본설계(안)을 연구하여 제시하였다. 특히 선진국에서 우수항공, 방위산업, 자동차 등에서 사용중인 시스템 엔지니어링 관리기법(System Engineering Management)을 도입하여 차량의 설계, 제작 및 시험단계를 효율적으로 관리하고자 기본모델(안)을 제시하였다. 즉, 기존선 고속화를 위한 틸팅차량개발을 위한 시스템엔지니어링의 기본모델인 관리계획모델, 프로세스 모델, 위험관리모델, 형상관리모델을 기본구조를 구축하였다. 이는 시스템 엔지니어링 기법을 활용하여 시스템의 정의 및 분석을 통해 시스템 최적화를 구현해 내는 기술을 활용함으로써 경제적인 차량 및 신뢰성이 높은 차량을 개발할 수 있는 능력을 확보할 수 있다.

2. 기존선고속화 틸팅차량기술 개념

2.1 기존선 고속화기술 개념

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 신설 노선으로 대체할 수 없는 기존선의 운용 효율을 향상시킬 수 있다.

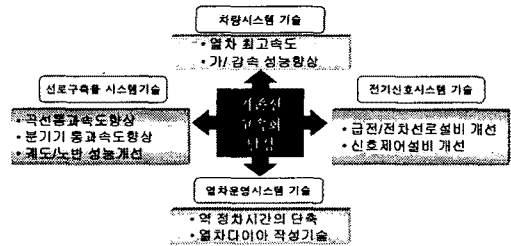


그림 1. 기존선고속화 기술개념

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 신설 건설비용이 높은 고속철도 보다 기존선을 이용하는 틸팅차량의 투입 효과가 상대적으로 크다.



그림 2. 기존선고속화 사업관련 내용

2.2 틸팅차량기술 개념

열차 틸팅기술은 차량이 곡선 주행시 차체를 곡선 안쪽방향으로 기울게 하는 것으로서 원심가속도($a = V^2 / R$) 방향의 횡가속도($a \times \cos(\alpha + \gamma)$)를 중력(g) 방향의 횡가속도($g \times \sin(\alpha + \gamma)$)와 상쇄시켜 승객이 느끼는 원심력 방향의 횡가속도를 감소시켜 줌으로써 곡선 통과시 승차감과 곡선통과 속도를 향상시킬 수 있다.

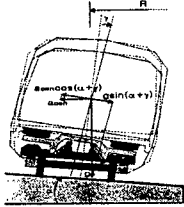


그림 3. 차량 틸팅 기술 기본 개념도

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 차체기술로 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.

3. 틸팅차량개발 SE 기본모델설계(안)

3.1 SE 관리계획 모델

본 사업을 성공적으로 수행하기 위하여 기존선 고속화를 위한 틸팅차량개발의 시스템엔지니어링 관리계획모델(SEMP)을 설계하였다. 관리계획모델의 개발은 시스템엔지니어링 관리계획서 작성지침을 따랐으며 크게 3개의 부분으로 구분된다. Part I에 해당되는 사업관리 계획 및 통제 부분에서는 시스템엔지니어링을 수행함에 있어 필요한 조직적 측면, 일정계획 측면 및 기술적 통제 활동에 대해서 기술하였다. Part II에 해당되는 시스템엔지니어링 설계 프로세스 부분에서는 시스템 요구사항과 시스템 기본사양을 개발하는 계획을 기술한 부분이다.

Part III에 해당되는 전문기술분야 통합 계획은 시스템의 신뢰성 등 여러 전문기술 분야의 고려를 통하여 설계성숙도를 높이기 위한 계획을 기술하는 부분이다. 그림 4는 관리계획모델의 구조도를 나타낸 것이다.

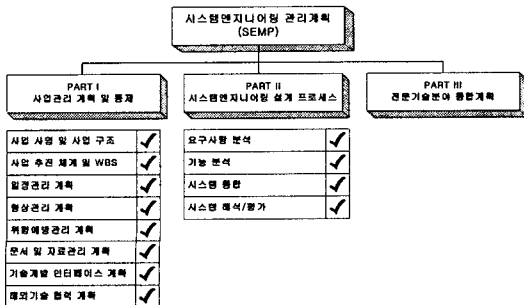


그림 4. SE 관리계획(SEMP)의 구조도

3.2 틸팅차량개발 위한 SE 프로세스

시스템엔지니어링 프로세스는 시스템엔지니어링 관리, 시스템엔지니어링 설계, 그리고 시스템 통합 및 검증으로 크게 세 분류로 구성되어 있으며, 시스템엔지니어링 관리의 핵심은 시스템엔지니어링 관리계획서인 SEMP와 지속적인 과제 통제 및 관리이고, 시스템 설계에서는 요구사항분석, 기능분석, 그리고 시스템 아키텍처의 프로세스를 반복적으로 수행하여, 시스템기본사양서를 확정하는 것이다. 그리고 시스템 통합 및 검증 단계에서는 시스템의 적합성을 평가하게 된다.

그림 5는 상향식, 하향식 접근법에 대한 개념을 나타낸 것이다. 차체, 추진제어, 열차제어, 제동분야의 설계전문가에 의한 기술사양개발은 Bottom-up에 의한 상향식 기술사양개발과 시스템요구사항 개발을 통한 하부과제의 체계적관리를 Top-Down에 의한 하향식 시스템관리를 상호 연계함으로써 시스템요구사항과 설계전문가에 의한 기술사양들이 일관성을 유지하도록 한다.

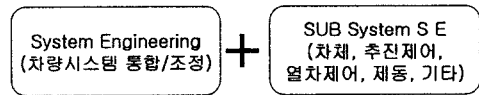


그림 5. Top-Down & Bottom-up 접근법

시스템엔지니어링 프로세스는 고객의 요구사항으로부터 시작하여, 기본설계, 상세설계, 제작 및 시운전을 어떻게 수행할 것인가를 정의하는 부분이다. 그림 6에서 보듯이 전체 프로세스는 시스템요구사항서를 기본으로 시스템기본사양, 상세사양 및 도면을 작성하고, 생산을 거쳐 시험평가를 수행하는 프로세스로 구성되어 있다. 주요 사양이 결정될 때에는 기술검토회의가 수행되며, 이 모든 프로세스 중에 시스템엔지니어링 관리 및 통제가 수행되어 전체 개발업무를 관리해 나가게 된다.

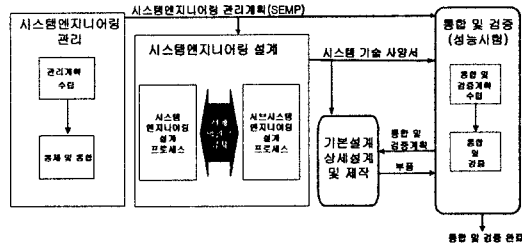


그림 6. 시스템엔지니어링 프로세스 흐름도

3.3 SE 위험예방관리 모델

위험은 시스템 개발 총주기(Total Life-Cycle)의 요구사항을 달성할 수 있도록 추적 관리된다. 본 연구에서 고려한 위험 경감을 위한 세부 목표로서 첫째, 개발하고자 하는 최종 결과물이나 엔지니어링 절차의 신뢰성에 대한 분석, 관리 및 개선을 도모한다. 둘째, 개발 시스템의 시기 적절한 납기, 타당한 가격 및 품질에 대한 고객 요구의 균형을 유지토록 한다. 셋째, 개발 시스템의 적절한 납기 시점을 정하고 과도한 시험, 시범 및 재작업을 피할 수 있도록 한다. 넷째, 위험 분석에 근거한 획득전략을 결정하도록 한다. 다섯째, 개발 프로그램에 대하여 발생할 수 있는 위험이나 미치는 영향이 큰 위험에 대하여 자원을 할당할 수 있도록 한다. 등이다.

이를 위해 위험예방관리 계획서를 작성하는 것이며 여기서 시스템적인 위험 경감을 위해 위험관리 범위, 위험 식별, 분석방법 및 평가기준, 위험 조치 사항에 대한 위험예방관리 절차를 규정한다. 본 연구에서는 이러한 계획서에 근거하여 열차의 중량을 관리해야할 위험 요인으로 선정하고 기술성능측정(TPM ; Technical Performance Measurement)을 수행하였다. 그림 7은 차량의 중량에 대한 TPM을 분석한 결과를 나타낸 것이다.

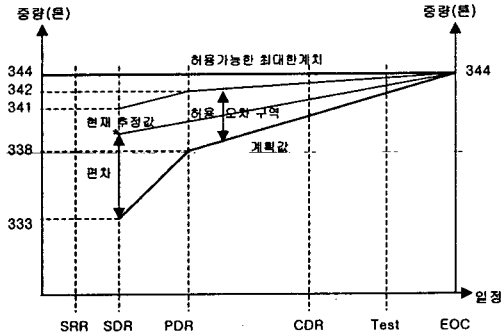


그림 7. 중량 기술성능측정(TPM) 프로파일 예

CORE 데이터베이스에 시스템요구사항모델과 시스템 기본사양 모델을 구축하여 이들간의 추적성을 확보하였다. 이러한 과정에서 시스템요구사항이 기본사양에 누락이나 오류 없이 반영되었음을 추적성을 통해 확인하고 상부시스템에 대한 기능분석을 통해, 최상위시스템의 운영개념에 대한 기능검증을 수행하였다. 또한 전문가적 경험을 통해 이미 알려진 시스템에 대해 물리적 모델을 구축하여 요구사항을 할당함으로써 추적성을 확보하게 된다. 그림 9는 기본설계(안)을 전문 툴을 이용하여 구현한 결과물들이다.

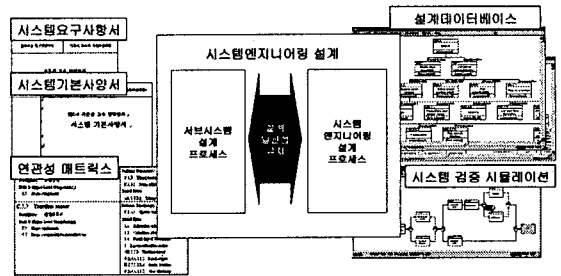


그림 9. 시스템엔지니어링 기본설계 결과물

3.4 SE 형상관리 모델

기존선 고속화 실용기술개발사업의 개발 진척도에 따라 특정 시점에서 다음 시점까지 개발활동이 일관되게 진행할 수 있는 토대가 되는 형상 베이스라인을 구축하여 이 형상 베이스라인의 변경을 관리하는 것을 형상관리라고 한다. 형상관리는 기존선 고속틸팅 열차시스템 개발이 성공적으로 수행될 수 있도록 형상 변경요청에 대해 체계적인 검토 및 평가 프로세스를 통해 형상의 확인 및 변경을 통제함으로써 사업목표를 성공적으로 달성하기 위함이다. 이러한 형상관리 활동이 베이스라인을 중심으로 이루어지기 때문에 형상관리를 베이스라인관리라고도 한다. 본 연구에서는 베이스라인 구분 기준을 개발단계에 따라 개념설계, 기본설계, 상세설계, 제작단계로 정의하였다. 각 개발단계의 종료시점에 베이스라인이 구축되며 다음 베이스라인이 구축될 때까지 구축된 베이스라인의 변경을 통제하게 되는데 이러한 개념을 그림 8에 도시하였다.

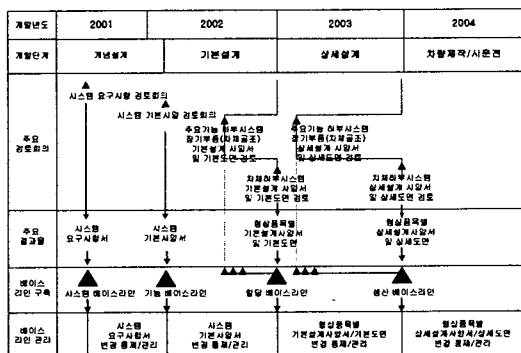


그림 8. 틸팅열차시스템 베이스라인 관리계획도

3.5 SE 전문 툴을 이용한 모델설계

시스템 요구사항서와 시스템기본사항서를 기본으로

4. 결 론

시스템엔지니어링을 접목함에 있어 가장 중요한 것은 시스템엔지니어링의 올바른 이해를 통해 현실에 적합한 프로세스와 모델을 구축하는 것이다. 이를 위해 기존선 고속화를 위한 틸팅차량개발을 위한 시스템엔지니어링의 기본모델인 관리계획모델, 프로세스 모델, 위험관리모델, 형상관리모델을 기본구조를 구축하였다. 특별히 전문가 설계 프로세스와 시스템엔지니어링 설계 프로세스의 연계성을 구축하여 설계의 일관성 있는 개발 기반을 마련하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 호남선 전철화 타당성 조사 및 기본 계획, 한국철도기술연구원, 2001
- [2] 기존선 고속 틸팅 열차 차량 시스템 요구사항, 한국철도기술연구원, WBS No : 2100-D001 Rev.A
- [3] 유원희 외, "기존선 틸팅차량 시스템 설계에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.317 - 329, 2002.
- [4] A.Gugliotta, A.Soma 외, "Simulation of Rail Dynamics at Politecnico of Torino", 12th European ADAMS User's Conference, Marburg 18-19 Nov. 1997.
- [5] "차량시스템 엔지니어링 기술개발 통합 및 총괄", 철도청 기존선 고속화 실용기술 개발사업 1차년도 연차보고서, 한국철도기술연구원, 2002.3.
- [6] "시스템 통합 및 총괄", 철도청 기존선 고속화 실용기술 개발사업 1차년도 연차보고서, 한국철도기술연구원, 2002.3.