

고속철도 차량시스템의 설계기술 체계화

A Systematic of Design Process of High Speed Train System

최용훈*** 윤세균** 정경렬*
Choi, Yong-Hoon Yoon, Se-Kyun Chung, Kyung-Ryul

ABSTRACT

High Speed railway market is changing rapidly around the world. Advanced nations of high speed railway which have many technologies and know-how are developing new technologies to adjust to changing market. Though Korea High Speed Train has been developed, domestic high speed train technology has limit to compete with advanced nations of high speed railway. In this paper, design process of high speed train system was introduced and consists of train system engineering, design process of subsystems/parts and train system engineering management. It shows that user(passenger, operator) centered design system is very important.

1. 서 론

국내·외적으로 고속철도 시장환경이 매우 빠르게 변화하고 있다. 유럽은 2010년까지 신선과 기존선 개량을 통한 고속철도 노선 확충을 계획하고 있고, 중국은 베이징~상하이 노선 건설을 통해서 고속철도 도입을 추진하는 등 고속철도 수요의 지속적인 증가가 예상되고 있다. 이러한 전세계의 다양한 고속철도 수요는 각 지역의 지리적, 기후/환경적, 사회/문화적, 정치/경제적, 산업적 측면 등에 비추어 각각의 운행환경 특성에 맞는 고속철도 시스템이 요구됨을 의미한다. 독일, 일본, 프랑스를 중심으로 한 고속철도 선진국들은 다양한 상용화 실적 및 기술개발 경험을 바탕으로, 이와 같은 시장변화에 적극적으로 대처하고 있다. 국내의 경우, 한국형 고속전철 기술개발을 완료하였으나, 고속철도 선진국에 비하여 여전히 부족한 기술수준 및 노하우, 상용화 실적, 정부차원의 정책적/제도적 지원 등은 급속한 시장환경변화에 적절히 대응해 나아가는 데 걸림돌이 아닐 수 없다. 다행히 한국형 고속전철의 국내 상용화가 가시화 되고 있는 상황이나, 전세계의 고속철도 운행환경 및 시장환경이 국내의 여건과 같지 않음을 명심해야 한다.

현 시점에서 기술수준의 한계를 극복하기 위해서는 지속적인 기술개발과 더불어 종합적인 차량 시스템 구성 능력이 절실하다. 즉, 기술 유연성을 확보할 수 있는 보다 확고한 기술개발 기반과 사용자 요구 또는 시장환경에 적합한 차량시스템을 구성할 수 있는 분석능력이 요구된다. 이 점이 본 논문에서 제시하는 고속철도 차량시스템 설계체계의 핵심으로써, 사용자 중심의 차량시스템 설

* 한국생산기술연구원, 융합기술개발단, 수석연구원, 정회원
** 한국생산기술연구원, 융합기술개발단, 연구원, 정회원
*** 한국생산기술연구원, 융합기술개발단, 연구원, 비회원

계체계로 요약할 수 있다.

본 논문에서 사용자 중심의 차량시스템 설계내용은 요구조건 분석 및 개념설계 부분에서 강조되며 이를 중심으로 인터페이스, 시험/평가를 포함한 차량시스템 수준의 설계과정을 최대한 일반화/정형화하여 소개하고자 하였다. 서브시스템 및 부품의 구체적인 설계과정은 한국형 고속전철 기술개발내용에 기초하여 사례형태로 정리하였다. 기술 분야와 더불어 업무분석, 기술자료 관리, 일정 수립 등 고속철도 차량시스템 기술개발에 필요한 관리 분야의 내용을 추가하여 종합적인 고속철도 차량시스템 설계체계를 완성하고자 하였다.

2. 차량시스템 및 부품 설계체계

2.1 차량시스템 엔지니어링 기술

차량시스템 엔지니어링 기술은 차량시스템 및 부품 설계체계에서 가장 핵심적인 내용으로 시스템엔지니어링 기술이 목적하는 바에 따른다. 즉 목적하는 차량시스템의 성능요건을 만족하도록 차량시스템의 기능과 각각에 해당되는 장치를 분리/구성하고 유기적으로 결합하여 최종 목적에 부합하는 차량시스템을 완성하는 기술이라고 할 수 있다.

차량시스템 엔지니어링 기술은 시스템 구성, 설계(개념설계, 기본설계, 상세설계), 시험평가, 완성의 일반적인 시스템엔지니어링의 단계를 구체화 하여 아래와 같이 구성하였다.

표 1. 차량시스템 엔지니어링 기술체계

구 분		주요내용
요구조건 분석	요구조건 구성 및 분류	- 차량시스템 요구조건의 분류 및 구성에 대한 상세
	요구조건 체계화	- 분류된 요구조건 항목에 대한 문장 분석 및 타당성 검증
	요구조건 기술적 분석	- 체계화된 요구조건에 대한 기술적 해결방안의 모색
차량시스템 개념설계	핵심 설계목표 인식	- 요구조건 목록 요약을 통한 차량시스템 개발 핵심 설계목표의 도출 및 우선순위 결정
	기능 대안 및 편성안 기본모델 제시	- 차량의 길이, 추진방식, 대차방식 등 편성안 결정 인자의 도출 및 각각에 대한 대안 분석 - 기능별 대안의 조합을 통한 편성안 기본모델의 제시
	설계변수 검토 및 해석	- 주행성능, 제동성능, 차량시스템 중량, 승객당 열차중량, 승객수, 무계당 승객수, 에너지 소모율, 승객당 에너지 소모량, 축하중, unsprung mass, 점착계수 등 주요 설계변수에 대한 기본모델의 성능 검토 및 해석에 대한 상세
	편성안 기본모델의 평가	- 기본모델들에 대한 기술적/경제적 평가를 통한 최종 편성안 결정에 대한 상세 - 기본모델 평가방법 사례 제시
	최종 편성안 결정	- 최종 편성안 결정시 도출되어야 하는 항목에 대한 상세
차량시스템 설계 및 검토		- 서브시스템 사양 결정 및 성능 최적화를 위한 검토항목 및 방법에 대한 상세 (예, 주요 기기의 배치, 공기소모량 계산, 운전실/객실 유동, 냉난방 용량 등)
인터페이스		- 차량시스템 설계통합을 위한 구성장치 및 부품들간의 검토 항목에 대한 상세
차량시스템 및 부품의	시험평가 체계	- 시험평가 관리조직 및 역할, 관리체계 및 업처리절차, 계획서/절차서/보고서 작성 등에 대한 상세 - 시험평가의 분류 및 범위에 대한 개요

시험평가	시험평가 항목의 분류	- 시험평가의 분류 및 범위에 따른 세부시험항목에 대한 상세
	항목별 시험평가 절차	- 세부시험항목별 시험수행 절차 및 방법에 대한 상세

요구조건 분석에서는 시장분석, 환경분석, 기술분석 결과에 따라 도출 가능한 차량시스템의 일반적인 요구조건항목을 구분하고 개별요구조건 및 항목들간의 논리성/타당성 확보를 위한 방안을 제시하였다. 또한 주요 항목에 대한 기술적 검토 내용을 포함하도록 구성하였다. 차량시스템 개념 설계는 논리적/기술적으로 분석된 요구조건과 이로부터 도출된 핵심 설계목표에서 시작된다. 편성안 결정에 영향을 줄 수 있는 설계요소를 도출하고 각각의 다양한 기술적 대안으로부터 조합 가능한 기본모델을 제시한다. 제시된 기본모델을 요구조건 및 설계목표에 따라 기술적/경제적 측면에서 평가하여 최종 차량시스템 편성안을 결정할 수 있다. 최종 차량시스템 편성안 결정과정을 통해서 마련된 주요 서브시스템의 사양 및 성능목표는 각각에 대한 설계 검토 및 해석과정을 통해서 최적화 된다. 이러한 과정을 차량시스템 설계 및 검토과정에서 정리하였으며 개념설계과정에서 차량시스템 기본모델에 대한 시스템 수준의 성능예측 및 평가를 위한 설계변수 검토 및 해석단계와는 구분된다. 인터페이스는 차량간의 연결, 차체와 대차 등 차량시스템 구성장치 및 부품들간의 상호관계에 대한 규명과 기술적 검토를 주요 내용으로 한다. 차량시스템 및 부품의 시험평가 항목에서는 한국형 고속열차의 개발과정에서 수행된 단계별 시험평가내용을 중심으로 이를 정비하여 단품시험에서 본선시운전시험에 이르는 고속철도 차량시스템 및 부품의 시험평가 체계, 항목 및 범위, 수행절차에 대한 내용을 종합적으로 제시하였다.

한국형 고속전철의 경우, 최고운행속도 시속 350km, 1000명 정도의 수송능력, 경부고속선로에서 운행가능 등의 요구조건으로부터 차량의 길이, 추진방식, 대차방식이 편성안 결정요소로 결정되었다. 편성안 결정요소들에 대한 기술적 대안의 조사와 이들의 조합으로부터 집중식/관절형, 분산식/비관절형(또는 독립식), 분산식/관절형의 기본모델이 제시되었다. 제시된 기본모델들에 대한 주행 성능, 제동성능, 에너지 소모율 등 기술적 분석결과와 기술개발가능성(경부고속전철 이전기술 활용 측면) 등을 고려하여 최종 집중식/관절형 차량시스템이 결정되었다.

2.2 서브시스템 및 부품의 설계

그림 1에서와 같이, 서브시스템 및 부품의 설계에서는 한국형 고속전철의 기술개발결과에 따라, 집중식/관절형 차량시스템을 구성하는 서브시스템 및 부품들에 대하여 각각의 기능과 기본구성,

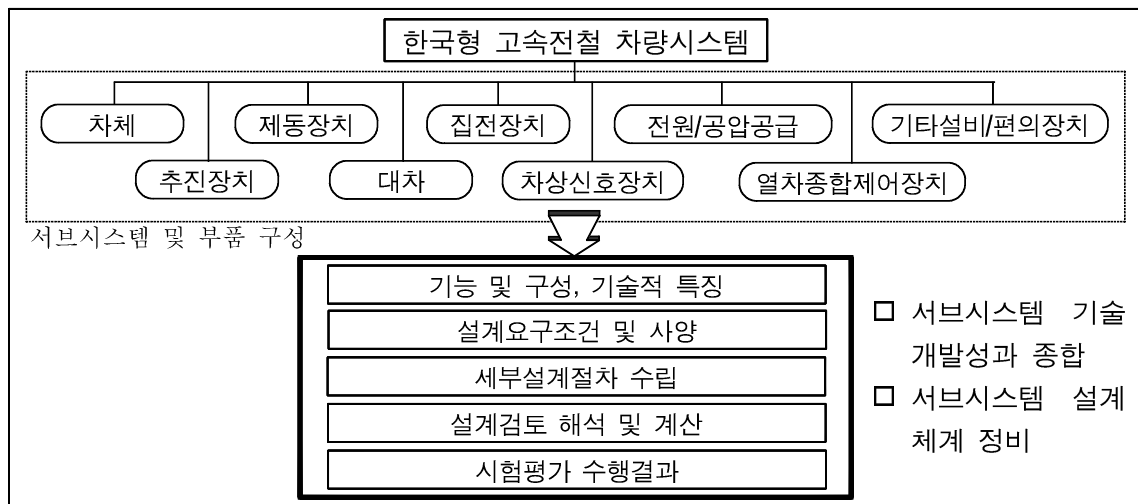


그림 1 서브시스템 및 부품의 설계체계

주요 기술적 특징, 설계절차, 설계검증을 위한 계산 및 해석, 시험평가결과를 체계적으로 정비하였다. 차량시스템을 구성하는 주요 서브시스템 및 부품은 일반적인 철도차량시스템 구성과 한국형 고속전철 기술개발에서의 시스템 분류에 따라 구분되었다. 서브시스템 및 부품 설계체계화에 따라 정비된 판토품의 주요 내용을 표 2와 그림 2, 3에 나타내었다. 그림 2는 판토품 설계과정에서 수행된 해석내용 중 각 질점의 변위 확인 및 각 부재의 길이 결정을 위한 기구해석 용이며 그림 3은 판토품 시작품에 대한 추중성능시험 모습을 나타내고 있다. 이와 같이 한국형 고속전철을 구성하는 서브시스템 및 부품에 대한 설계과정을 정리하였다.

표 2. 서브시스템 및 부품의 설계기술체계화 사례(판토품)

구분	내용
기능 및 구성	- 가선으로부터 차량으로의 안정적 전력공급 - 상/하부 프레임, 절연애자, 상/하부 로드, 팬헤드, 주플런저, 크로스바, 보우, 집전판 등
설계요구조건 및 목표	- KNR가선계에서 350km/h 주행시 안정적인 전력공급 (내구성, 강건성, 안전성, 호환성, 유지보수성, 경제성, 환경친화성 확보) - 평균압상력 200N이하, 이선율 1%이하
기술적 특징	- 싱글암형(Single-Arm type) - Air bellow/Spring 작동방식
설계검토 및 해석	- 기구해석 : 각 부재의 길이 및 설치각도, 각 질점의 변위, 팬헤드 높이, 각 부재의 모멘트 확인 - 구조해석 : 각 부재의 3차원 치수, 응력선도 확인 - 동특성해석 : 1,2차 현가계의 스프링 상수, 주축 및 1차 현가계의 감쇠계수 확인
시험평가 결과 (350km/h 운행시)	- 평균접촉력 : 198.9N - 이선특성(Fmean-3σ) : 154.7N

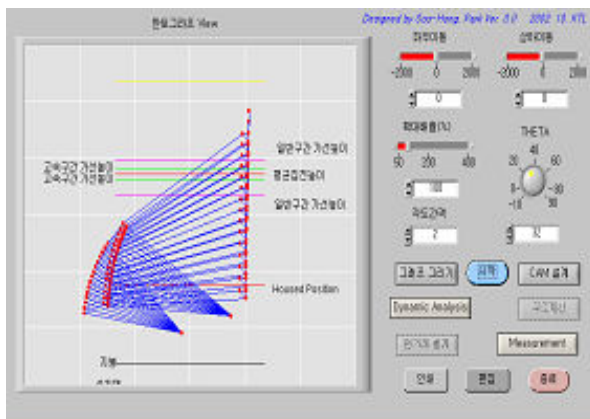


그림 2 판토품 기구해석



그림 3 판토품 추중성능시험

2.3 차량시스템 및 부품 개발관리체계

고속철도 차량의 시스템 특성상 프로젝트 수행 이전부터 차량시스템 및 부품개발을 위한 계획과 관리가 철저히 이루어져야만 한다. 본 논문에서 소개하는 차량시스템 설계체계에서는 원활한 프로젝트 수행을 위한 계획 및 관리/조정 업무내용을 포함한다. 차량시스템 및 부품 개발에 필요한 프로젝트 관리영역을 표 3과 같이 구분하였다.

표 3. 프로젝트 관리영역 구분

관리영역	내 용
프로젝트 계획 수립	- 사업 초기 비용과 자원을 고려한 프로젝트 계획의 수립
진도관리 및 통제	- 사업이 진행됨에 따라 계획 대비 달성 수준을 감시하고 통제하기 위한 방법의 수립 및 기록
조직 관리	- 업무구조에 따른 업무조직의 수립 - 사업계획에 따른 공급자 관리계획 및 방법의 수립
기술자료 및 문서 관리	- 조직의 일반적 업무수행 과정에서 도출 가능 한 문서의 관리 - 사양서, 설계소요 데이터 등 기술자료에 대한 관리
리스크 관리	- 사업 계획에 정의된 활동 중 결과물 획득에 있어서의 위험요소 식별 - 위험수준 및 해결방안의 정의(리스크 관리 계획 수립) - 사업 진행동안 리스크 관리 계획에 따른 리스크 수준의 평가 및 기록
정량적인 프로젝트 관리	- 프로젝트의 계획 및 이에 대한 달성 수준의 정량적 관리방법

표 3에서 구분된 프로젝트 관리활동 영역에 따라 차량시스템 및 부품 개발관리체계(안)을 표 4와 같이 구성하였다.

표 4. 차량시스템 및 부품 개발관리체계(안)

1. 개요	4. 프로젝트 기술자료 및 문서
2. 조직	4.1 업무문서 구조
2.1 프로젝트 조직구조	4.2 사양서 구조
2.2 조직의 책임과 권한	4.3 기타 기술자료
2.3 공급자 관계 및 조정	5. 조정 및 통제
3. 프로젝트 계획	6. 위험요소 관리계획
3.1 시스템 기능 및 업무정의	6.1 위험요소 확인
3.2 WBS 개발	6.2 위험요소의 평가
3.3 프로젝트 일정계획 수립	6.3 위험요소의 저감 및 제거

3. 결 론

고속철도 차량시스템 및 부품 설계체계화의 궁극적인 목표는 다양하게 급변하는 시장환경변화에 대응하기 위한 사용자 중심의 설계체계 완성으로 요약할 수 있다. 이를 위해 체계적인 설계기술 기반과 사용자 요구분석을 통한 차량시스템 구성능력을 강조하였다. 본 논문에서 제시하는 차량시스템 및 부품 설계체계화의 전반적인 내용은 한국형 고속전철 기술개발과정에 따라 이를 정비한 내용으로 ‘차량시스템 엔지니어링기술’과 ‘서브시스템 및 부품의 설계’의 기술적 측면과 ‘차량시스템 및 부품 개발관리체계’의 관리적 측면으로 구분하였다. 그 가운데 사용자 중심설계의 핵심을 차량시스템 엔지니어링기술에 두었으며 요구조건 분석과 개념설계과정을 비중 있게 다루었다. 서브시스템 및 부품의 설계내용에서는 한국형 고속전철의 서브시스템 및 부품별 기술개발 성과를 종합하고 세부 설계기술을 확인할 수 있도록 하였다. 최종적으로 사용자 중심의 설계체계는 승객의 안전성 및 편의성, 운영자의 운영효율성 측면에서 관련된 요구조건의 수집 및 분석과 이에 대한 개념설계 단계에서의 기술적 해결방안을 모색하는 과정이 매우 중요하다고 할 수 있겠다.

후 기

본 연구는 고속철도기술개발사업 중 “고속철도 차량시스템 설계체계 기술개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김경택, 정경렬(1999), “한국형 고속전철 차량시스템의 개념설계”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 172~180.
2. 최용훈, 김경택, 윤세균, 정경렬(2005). “고속전철 차량시스템의 개념설계”, 한국철도학회 춘계학술대회, pp.94
3. 정경렬 외(1997~1998), “차량시스템 개념설계 및 평가기술 개발 보고서”, 한국생산기술연구원
4. 정경렬 외(2003~2005), “고속철도 차량시스템 설계체계 기술개발 보고서”, 한국생산기술연구원
5. Benfamin S. Blanchard(1998), "System Engineering Management", John Wiley & Sons, Inc