

# 체계적인 고속전철 차량설계 기술과 응용

## Systematic design technology and its application to High Speed Rolling Stock

정경렬\*                      이병석\*\*  
Chung, Kyung-Ryul      Lee, Byung-Seok

---

### ABSTRACT

This paper shows the systematic design technology for development of new high speed rolling stock and the important item by the instance of G7 R&D project titled "Development of High Speed Railway Technology". This paper also describes core technology and concrete examples of its application during the development of high speed rolling stock.

---

#### 1. 서론

본 고에서는 지난 6년간 G7 고속전철기술개발사업으로 수행된 "차량시스템 엔지니어링기술 개발" 과제의 연구내용을 중심으로 한국형 고속전철 개발과정의 설계 체계화 내용과 그 사례를 정리하였다. 차량 개발을 위한 요구조건 분석, 개념설계, 기본설계, 상세설계, 제작, 시험·평가의 고속전철 각 개발 단계별로 핵심기술과 주요 항목에 대한 연구 검토가 수행되었으며 이 과정에서 국내 기반기술이 취약한 분야를 중심으로 설계검토, 제작성 점검 및 시험평가 기술을 습득하기 위해 독일, 스위스, 덴마크, 영국 등 유럽국가와 일본과의 해외기술협력을 추진하였다.

#### 2. 고속전철 설계체계

일반적인 고속전철의 개발과정은 요구조건분석, 설계, 제작, 시험/평가 및 최적화의 과정으로 이루어지며 차량의 설계과정은 다시 개념설계, 기본설계, 상세설계 등으로 나뉘어 진행된다. 그림 1은 고속전철 개발과정을 도식화한 것이다.

##### 2.1 요구조건 검토

차량개발의 가장 초기인 설계 이전의 단계로서 주요 요구사항의 목록인 설계사양서가 작성되어 개념설계단계로 넘어지게 된다. 주요 요구조건 검토 항목은 운용조건, 기능조건, 설계기준, 환경조건, 규격 및 사양 등으로 이러한 항목들의 분석을 통하여 요구사항들의 목록인 설계사양서가 작성된다. 이러한 요건검토 과정에는 이미 개발되었던 이전의 차량과 관련된 시험/평가 결과, 차량운용시 발견된 문제점 및 개선 요구사항 등이 적절히 반영되어야만 한다.

---

\* 한국생산기술연구원, 정회원

\*\* (주)로템, 정회원

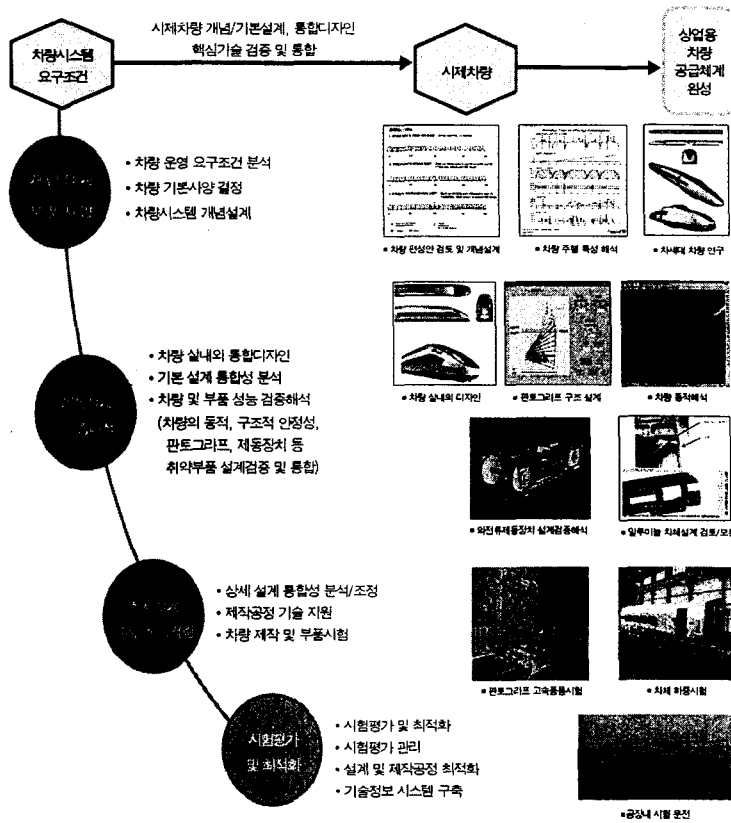


Fig. 1 고속전철 차량시스템 개발과정

### 2.1.1 고속전철 운영 및 요구조건 분석

한국형 고속전철의 개발과정에서 속도향상의 요인, 효율제고, 수송력 증대, 여행시간의 단축, 유지보수 비용의 절감에 대한 검토 및 분석이 이루어졌으며 그 결과는 개념설계에 반영되었다.

## 2.2 개념설계

개념설계 단계에서는 설계명세서에 수록된 요구사항 목록을 요약하여 핵심적 목표사항을 인식하고 열차의 구성 기본안을 도출한 후 목표달성을 위한 다양한 설계변수 검토 및 해석을 수행하고 이에 대한 기술적 및 경제적 평가를 시행하여 열차구성 기본모형을 설정하는 과정이다.

### 2.2.1 차량편성안 검토 및 결정

설계명세서에 주어진 사항들을 만족시키는 차량시스템 편성안을 결정하기 위해 차량편성 대안을 도출하고 요구조건 및 목표에 대해 편성대안별로 성능에 대한 정성적, 정량적 평가를 수행하였다. 한국형 고속전철 편성안으로는 경부선 이전기술을 충분히 활용할 수 있는 동력 집중식 편성안과 새롭게 개발·완료되어 운행예정인 독일의 ICE3 차량기술과의 접목이 가능한 분산식 편성안, 그리고 미래를 지향한 차세대 차량 편성안 등 3가지 편성안을 검토하였으며 주요 비교·검토 항목으로는 각

차량시스템 편성대안 별로 차량시스템 중량, 승객수, 에너지 소모율, 궤도수명에 직접적인 영향을 미치는 축중과 unsprung mass, 점착계수 활용도 등이 있었다. 3가지 편성대안을 비교·검토하여 우선 KTX 차량시스템의 구성을 기본으로 하며, 고속전철 요구조건을 만족시킬 수 있도록 하는 상업용 20량 편성의 주요 구성내용과 시제차량 편성을 확정하였다.

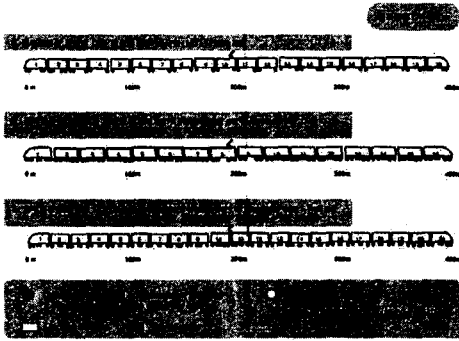


Fig. 2 고속전철 기본편성 검토안

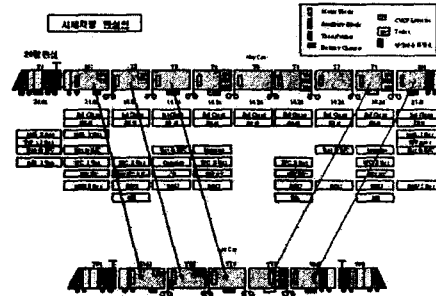


Fig. 3 상업용 편성(상), 시제차량 편성(하)

### 2.2.2. 차량 개념설계 검증용 해석 소프트웨어

차량시스템엔지니어링 차원에서 편성을 결정짓는 직접적인 설계 변수들의 영향 및 시스템 성능을 컴퓨터를 통해 신속히 파악할 수 있도록 개념설계 검증용 해석 소프트웨어를 제작·활용하였다. 현재 구축되어 있는 모듈은 열차 주행성능 해석 모듈, 차량 축중 해석 모듈, 판토품자 기구학적 해석 모듈 등이다. 향후 제동성능 및 차량 한계 해석 모듈을 추가하여 차량 개념설계 통합 검증 소프트웨어를 작성할 예정이며 개념설계 해석 소프트웨어내 사용된 차량설계 참조 데이터 값의 신뢰성 확보, 사용된 공식들 최적화 등 지속적인 보안을 통해 프로그램의 완성도를 높여 보다 다양한 요구에 신속히 대처할 수 있는 현실적인 개념설계 도구로 활용할 계획이다.

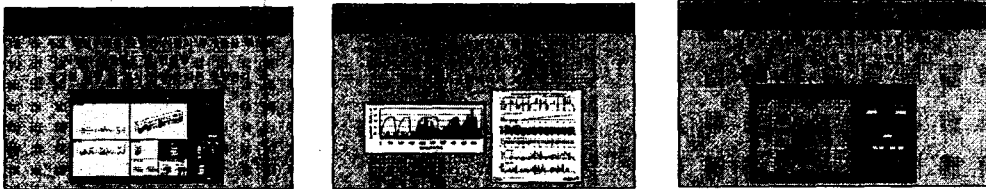


Fig. 4 차량시스템 개념설계 프로그램 (축중(좌), 주행성능(중), 판토품자 기구해석(우))

## 2.3 기본설계

기본설계 단계 초기에는 각 모듈별로 주요 치수가 포함된 구조 형상이 개발되고 초기 배치도가 도출된다. 이를 통하여 구체적인 자료에 근거한 값까지 해석과 기초 실험이 이루어지면서 제작을 위한 재료와 더 상세한 형상과 치수가 결정되고 최종적으로 기술성 및 경제성에 근거한 기준에 따라 평가된 열차구성의 최종 배치도가 도출되게 된다.

### 2.3.1 기본설계 검증 및 해석

고속전철 기본설계 확정 이전 단계에서 차체설계 각 분야별 문제점 파악 및 보완설계 방안을 제시하였고 향후 상세설계시 적용할 수 있는 적절한 설계 기준을 확보하였다. 차체설계와 관련하여 검토되었던 분야는 차체 설계 및 해석, 충돌 설계 및 해석, 공기조화-여압 및 환기 시스템, 제동 시스템,

대차설계, 소음예측 및 분석, 동역학 시뮬레이션 의 모두 7개 분야였으며 아래 그림 5는 해외기술협력을 통해 보완 및 개선된 설계내용의 예로서 차체 언더프레임과 차량단부 연결부의 설계 개선내용이다.

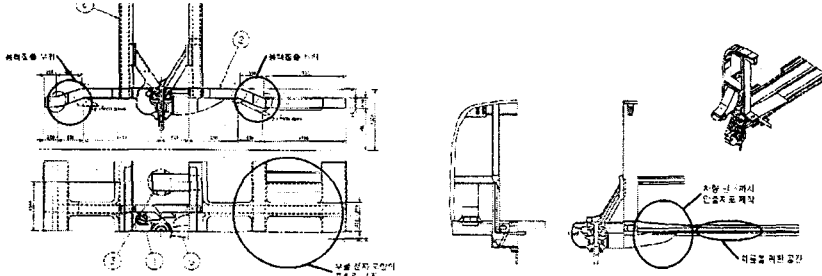


Fig. 5 검토·개선된 차량설계안의 예 (차량 단부 연결부: 변경전(좌), 변경후(우))

### 2.3.2 차량 실내의 디자인 통합

고속전철의 객실공간과 그 내장품에서부터 운전실과 고속전철 외형 형상의 통합으로 이루어지는 고속전철 디자인 통합시스템을 구축하기 위하여 고속전철 설계 초기단계부터 차량제작단계까지의 개발과정상의 다양한 문제로 발생하는 지속적인 세부형상변화에 대응하여, 고속전철 차량이 생산되어 출하될 때까지 지속적인 수정보완을 지원·수행하였다. 시제차량 디자인 통합을 위한 검증 및 개선은 크게 차량 외형 형상 통합 디자인과 실내 형상 통합 디자인의 2개의 분야로 나뉘어 추진하였다.



Fig. 6 한국 고유형 고속전철 외형 디자인

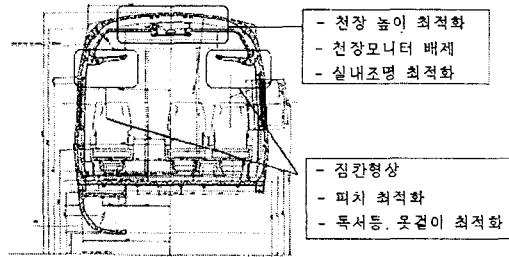


Fig. 7 객실공간 유연성 확보를 위한 실내공간

## 2.4 상세설계

기본 설계 내용이 상세화 되고 해석을 통한 성능 검증과 다른 장치와의 인터페이스 등에 대한 검토가 병행되며 생산, 조립, 품질관리, 각종 지침이 마련되고 문서화되는 과정이다. 또한 차량에 사용되는 부품들은 구매 또는 개발/주문제작 된다.

### 2.4.1 상세설계에 대한 분야별 인터페이스 검토

고속전철 상세설계 분석 및 통합성 확보를 위하여 우선 차량분야, 대차분야, 제동분야, 차량외형 및 실내 디자인 분야와 시제차량 및 시험차의 layout에 대한 설계검증을 수행하였고, 이후 상세설계 결과에 대한 각 분야별 인터페이스 검토내역을 중심으로 도면과 차량 제작성을 검토하였다. 검토 및 조정되었던 주요 설계 인터페이스 현황들 중 핵심적인 분야는 아래와 같다.

- 차량제작분야(기계) : 동력차, 동력객차, 객차, 대차, AI 형강재, HVAC
- 대차분야 : 대차, 감속기, 전동기, 동력차, 동력객차, 객차
- 제동분야 : 제동, 대차, 동력차, 동력객차, 객차, 전기S/E

### 2.4.2 상세설계 검증 및 해석

차량 상세설계가 완료됨에 따라 차량제작을 위한 설계검증 및 제작성을 확보하기 위하여 국내 기반 기술이 취약한 분야를 중심으로 독일, 스위스, 덴마크, 영국 등 유럽국가와 일본과의 해외기술협력을 추진하였다. 주요 연구분야는 차체 분야, 대차분야(와전류 제동분야 포함), 소음분야 등이었다.

#### □ 차체 설계 검토, 차체 구조해석 검토, 생산설계 검토

한국형 고속전철의 시제차량은 차체의 경량화를 위하여 동력객차와 객차에 AI차체를 채용하였다. 국내 기반 기술이 취약한 AI 차체를 구성하는 압출재 설계 내용의 검토/보완을 위하여 차량의 설계사양 및 차체 상세설계 도면을 활용하여 차량 강도, 생산 가능성 및 효율성, 제작 가능성, 용접성 및 조립성, 완성차의 승차감 등 다양한 관점에서 설계 내용의 검토를 차체 구조해석 검토와 병행하여 수행하였다. 차체 구조해석을 통한 차체 안전성 검토에서는 해석을 위한 차량 모델에 대한 평가, 구조 강도와 관련된 평가, 그리고 고유진동수와 관련된 평가 등을 수행되었다.

#### □ 차량 소음도 해석

차량이 정차중인 경우와 최고 속도인 350 km/h로 주행시의 차량 실내의 소음해석을 통한 소음도 예측결과를 활용하여 해석당시의 차량설계 자료를 바탕으로 수정이 필요한 부위를 규명하고, 수정을 요하는 부위에 대하여는 소음 저감방안을 제시하였다. 또한 소음요구량을 만족시키기 위한 각 전장품별 소음사양을 제시하였다.

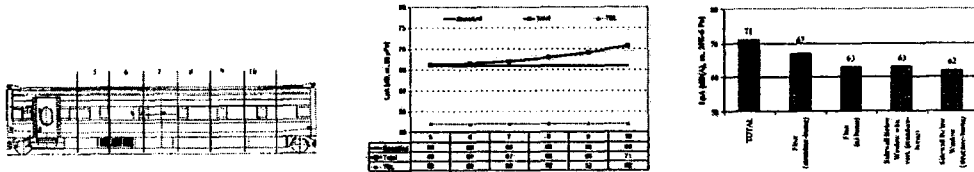


Fig. 8 소음 해석결과의 예 (객차)

#### □ 주행안정성 해석

고속전철의 속도향상을 위해서는 레일-차륜-대차-차체로 구성되는 고속전철 차량시스템의 차량 동역학적 현상을 해석하여 차량시스템의 설계변수와 속도, 동적성능 그리고 안전도 기준의 상관관계를 규명하여야 한다. 이를 위해 차량 동특성 해석을 통한 개발차량의 주행안전성 및 승차감 수준의 예측을 수행하였다.

#### □ 와전류제동장치 설계검토 및 동특성 해석

국내 기술로 독자 개발되는 비접촉 제동장치인 와전류제동장치(ECB)의 설계 기술자료의 검토를 통한 설계 타당성 검토, 동역학 해석을 통한 ECB 경계조건 평가, ECB 구조체 강도해석, ECB 구조물을 포함한 대차 동특성 해석 평가를 통한 안전성 검토 및 최적화를 수행하였다.

### 2.5 차체 및 차량 제작

차량제작 단계는 앞서 설계과정을 통하여 작성된 설계도를 토대로 차량 및 부품이 생산/조립되는 단계로 구체, 의장, 대차, 중전기 분야로 나뉘어 제작 및 조립이 수행된다. 일반적으로 차체의 경우 크게 용접을 통하여 차체를 제작하는 차체제작공정과 제작된 차체에 각종 부품을 취부, 조립하는 조립공정으로 나눌 수 있다.

□ 차체 생산성 검토 및 개선안 제안

해외 전문가의 국내 차량생산업체 방문 워크숍(workshop)을 통한 차체 생산성 검토 및 개선안 제안이 수행되었다. AI차체 제작을 위한 용접방안 및 조립시의 공차 관리 방안, 생산설비와 관련된 지그(jig) 및 수작업 도구(tool)에 대한 정보, 생산설계시 국내에서 미처 고려하지 못하였던 배수(drain) 관련 사항과 이종금속간의 전위차에 의한 부식방지 방법, 조립작업 효율성을 높일수 있는 설계 기법 등 차량제작의 전반적인 분야에 있어 다양한 주제에 대한 검토가 이루어졌다.



Fig. 9 해외 전문가 방문 워크숍 장면

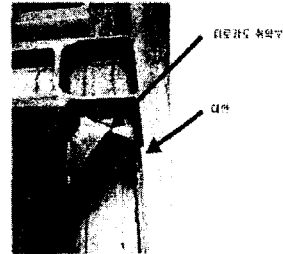


Fig. 10 피로강도 취약부의 보완 설계 개선안

□ 아웃소싱(Outsourcing) 지원

상용차량이 아닌 시제차량의 개발에 있어 필요한 특정 부품의 경우 소요량이 많지 않아 별도 개발 시 경제성이 떨어지거나 국내의 기술수준으로는 부품의 목표성능을 만족하는 제품의 공급이 곤란한 경우가 발생하며 이러한 부품에 있어서는 해외의 전문 생산업체를 통해 필요한 부품의 아웃소싱을 추진하는 것이 바람직하다. 한국형 고속전철의 경우 한국생산기술연구원에서 차량제작사로부터 이러한 아웃소싱 대상 부품의 목록을 제공받아 유럽의 전문 제작기관을 파악하여 아웃소싱이 추진될 수 있도록 지원하였으며 주요 대상 품목은 동력차 전면차, 와이퍼, 객차의 출입문, 차량 단부 링 구조품 등이다.

2.6 시험평가

개발품 성능의 목표달성 여부를 평가하는 과정으로 개발품의 목표기능 및 성능과 실제 시험결과와의 비교 검증이 가장 중요하다. 따라서 차량개발에 있어서 목표 기능 및 성능을 정의하는 것은 시험평가부문에 있어서 가장 중요한 부분으로서 기본 사양서의 명확한 목표 설정이 반드시 선행되어야 한다.

□ 차량시스템 및 부품의 시험평가체계 구축

고속전철의 차량시스템을 구성하는 단품 및 서브시스템과 차량의 품질 및 성능향상을 유도할 수 있는 시험평가기술의 기본체계를 구축하기 위하여 시험평가 계획수립, 시험평가를 위한 기관별 역할 정립 및 시험항목의 분류 등 시험평가 체계를 구축하였다.

□ 차량시스템 및 기계류 부품의 시험절차확립

부품, 조립품에 대한 개발시험과 완성차 시험을 위한 종합관리방안으로서 개발시험평가 종합계획과 상세일정을 수립하고, G7 고속전철 및 개발부품의 시험항목, 평가기준 및 시험절차를 확정하였으며 차량시스템 및 기계류 부품의 개발시험평가 통합 관리절차서를 작성하고 시험항목별 시험계획서 및 시험절차서를 작성하였다.

□ 개발부품 및 서브시스템의 개발시험 참여 및 평가관리

개발부품 단품 시험과 공장내 시험 수행시 직접 참여하여 시험의 공정성 및 객관성을 확보하였으며

시계차량의 체계적이고 효율적인 시험평가를 위하여 MS-Access 기반의 개발품 관리시스템을 구축하여 개발품에 대한 시험평가의 처리절차, 일정 및 결과와 개발품의 사양, 설계도면, 인증을 승인하고 관리하는 할 수 있도록 하였다.

□ 공장내 시험 및 본선 시험 기술지원

공장내 시험과 관련된 시험계획서 및 절차서의 검토를 수행하였으며 공장내 시험 및 본선시운전시 직접 참여하여 문제점을 점검하고 이에 대한 수정방안을 제안하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 국내기술로 제작되어 시험주행중인 한국형 고속전철의 개발과정의 고찰을 통하여 각 개발단계별로 수행된 추진 활동 및 개발단계별로 응용되어야 할 핵심기술의 내용과 그 응용사례를 소개하였다. 한정된 기간과 예산의 범위 안에서 시도된 개발사업이었고 국내에서 처음 시도되는 분야가 많았기에 발생한 많은 시행착오를 거치면서도 본 기술개발 사업을 통해 낙후된 차량시스템 엔지니어링 기술이 향상되었고 제작 및 시험과정을 통해 내실화 될 수 있었다. 한국형 고속전철기술개발사업의 추진 과정을 통해 얻은 경험과 결과를 체계적으로 분석/정리하여 향후 상용 차량 개발시에 이러한 문제점의 재발을 방지하고 경제적이고, 효율적인 차량개발 환경이 조성될 수 있는 체계적인 설계체계 기반을 조성하였다.

### 참고문헌

1. 정경렬 외, 1997, "차량시스템 엔지니어링기술개발, 연구보고서", Vol.1 ~6 한국생산기술연구원.
2. KITECH-DE-Consult(1999), Phase3: Basic Design of Test Train System
3. Bombrdier(1999), HSR21-Concept Design Study for high-speed Bogie
4. Algraup alusuisse R&R (2000), Design Recommendation.
5. Alcan MTS(2001), Fabrication Recommendation
6. LogoMotive(2001), Investigation of an eddy current brake frame (Structural Mechanics)
7. ODS(2001), KHST Conceptual Prediction of Internal and External Noise during Free-Field and Tunnel Driving Final report