

# 한국형 초고속 전철의 연구개발 추진전략

김용주 · 강도현 · 황돈하  
한국전기연구소 고속전철사업그룹

## The Development Strategies of Very High Speed Train in Korea

Yong-Joo Kim · Do-Hyun Kang · Don-Ha Hwang  
KERI High Speed Railways Project Group

**Abstract** - The development of very high speed train system is a complex series of interrelated tasks, many of which have some degree of uncertainty associated with the successful outcome. Successful projects recognize and provide for the major uncertainties and technical unknowns with specific development strategies.

The development strategies described in this paper incorporated the experiences of the advanced countries in high speed train technologies, the current technical status of Korean industries and the operating requirements of Korean High Speed Railway.

### 1. 서론

1995년 부터 진행된 1년이 넘는 기획작업 후 최고 운행속도가 350 km/h인 한국형 초고속 전철 시스템 개발 사업이 건설교통부와 통상산업부의 공동 주관, 그리고 과학기술처의 협조로 1996년 12월 1일 부터 추진되게 되었다. 하지만 한국형 초고속 전철 개발사업의 장래가 낙관적인 것만은 아니다. 6년의 짧은 연구기간, 2,874억원의 부족한 연구비, 그리고 아직은 결집되지 않은 국내 기술력 등 많은 부정적인 제약조건이 가로 놓여 있다. 이러한 제약은 정부 부처간의 이익을 초월한 정책과 예산의 뒷받침, 산업체간의 분업화된 생산과 시장공유, 그리고 학계와 국책 연구기관에 중사하는 관련 전문가의 장벽없는 기술·정보 교류와 연구결과의 공유로 극복될 수 있을 것이다.

운행속도 350 km/h급 초고속 전철의 개발시 선진국의 경우에는 적용노선, 여객 수송량, 교통망 연계 등 교통수요의 요구를 먼저 고려한다. 그러나 선도기술 개발사업(G7)으로 채택된 고속전철 연구개발 사업의 경우에는 상황이 조금 다르다. 중대되는 국내 교통수요에 대한 해결과 국내 철도기술을 선진화하여 세계 철도산업 및 기술의 중심지로 도약하겠다는 두가지 목표를 동시에 만족해야 한다는 것이다. 프랑스의 TGV도 자국의 교통수요를 만족시킨 후에 세계시장으로 진출하였으며, 독일의 ICE, 일본의 신칸센, 이태리의 ETR, 그리고 스웨덴의 X-2000도 자국의 철도 교통수요를 우선 만족시킨 후에 세계시장으로의 진출을 추진하고 있다. 본 초고속 전철 개발사업은 철도 선진국과의 국내외 고속전철 시장에서 기술우위의 경쟁력을 확보하기 위하여 세계 최고의 운행속도인 350

km/h의 최첨단 초고속 전철을 개발하기 위한 것이다.

본 논문에서는 선도기술 개발사업을 통해 개발하고자 하는 350 km/h급 한국형 초고속 전철의 기본사양 결정 및 추진전략 수립을 위해, 철도 선진국의 고속전철 기술개발 추진전략과 기술개발 동향을 분석하고, 국내 현실에 적합한 고속전철 시스템의 개발을 위한 연구개발 추진전략을 제시하고 한국형 초고속 전철의 Baseline Model을 제안한다.

### 2. 한국형 초고속 전철 시스템의 개념설계 추진절차

현재 한국 고속철도 건설 공단을 비롯하여 국내의 철도 관련 기술계는 초고속 전철의 기본사양을 결정하기 위하여 기술적 검토에 모든 노력을 집중하고 있다. 최고 운행속도 350 km/h, 1,000여명의 승객을 운송하는 초고속 전철 시스템의 기본사양은 보다 신중히 검토되어야 한다. 한국 고속철도 건설공단이 제시한 기본사양에 대한 기술적 검토는 TGV-Korea와의 호환성, GEC-Alstom으로부터의 기술이전 사항, 국내 기술환경, 그리고 각 연구주체들의 특별한 관심 등 당면한 문제에만 초점이 맞추어져 수행되고 있다. 그러나 보다 장기적인 측면에서 적용노선, 철도 승객 수송량, 타 교통망 구성과의 연계문제, 그리고 선진국의 고속철도 기술의 발전방향 등을 종합적으로 검토하여 교통문제 해결과 경쟁력있는 기술력 확보를 동시에 달성할 수 있는 초고속 전철의 기본사양이 다음과 같은 기술개발 추진절차를 통하여 결정되는 것이 바람직하다.

#### 가. 과제추진을 위해 선행되어야 할 항목

- 1) 차량운용 요구조건
  - ⇒ 교통수요, 운용속도, 운용형태, 승객 편의시설 등이 고려된 운용 요구조건을 고속전철 공단이 결정
- 2) 차량 성능사양
- 3) 기존 고속전철 시스템과의 연계
- 4) 사업 참여기관의 최종 목표

#### 나. 개발전략

- 1) 개발전략의 종류 :
  - ▶ 2개 기관에 연구비 지급에 의한 개발,
  - ▶ 경쟁 입찰구매
  - ▶ 정부, 운전자 및 산업체 협력에 의한 개발
  - ▶ 지정된 연구팀에 의한 개발
- 2) 핵심부품의 구매 및 위임 개발전략

3) 기술 소유권의 사용

다. 고려사항

- 1) 총괄 개념설계는 하부 시스템 개념설계와의 상호 보완에 의한 수정작업이 반복됨
- 2) 하부 시스템 개발과제를 가능한 독립적으로 운용하도록 하는 것이 효율적임
- 3) 개발단계를 설계, 제작 및 시험 등으로 분류하여 집중적으로 수행하는 것이 바람직함
- 4) 충분한 성능시험 기간을 확보할 것
- 5) 초기단계부터 과제간의 기술 및 정보교환 체계 구축
- 6) 하위 시스템 개발과제로 부터 상위 시스템 개발과제로 추진일정 및 계획을 종합하여 총괄계획 작성
- 7) 과제별 연구계획을 종합하여 총괄계획을 작성

표 1. 개념설계시 고려되어야 할 업무목록

항목	업 무 목 록	시 행 기 관
1	차량 구매자와 운용자가 제시한 운용지침과 사양서의 검토 및 확정	차량 시스템 주관기관
2	규격과 코드의 확보	모 든 기 관
3	추가적인 운용지침 자료의 수집	차량 시스템 주관기관
4	규격과 코드에 대한 입증	차량 시스템 주관기관
5	차량 시스템과 다른 시스템간에 연계된 기술적 문제점 확인	차량 시스템 주관기관
6	설비의 분류 및 구성체계 확인	차량 시스템 주관기관
7	과제수행 기관별로 책임업무를 할당	차량 시스템 주관기관
8	차량의 기본형식 선정	개 념 설 계
9	차량 시스템을 구성하는 주요 중·소 시스템의 기술선정	중·소 과 제 연구팀
10	차량 편성도의 초안작성	개 념 설 계
11	차량설비의 구성도 초안작성	개 념 설 계
12	임시로 선정된 차량의 규격작성	개 념 설 계
13	설계초안의 검토 수행	차량 시스템 주관기관
14	중·소 시스템의 장단점 상호비교	중·소 과 제 연구팀
15	중·소 시스템의 기술선정	차량 시스템 주관기관
16	초안으로 작성된 차량 편성도 및 설비 구성도의 수정	개 념 설 계
17	중·소 시스템의 규격초안 작성	개 념 설 계
18	중·소 시스템 설계자에 의한 중·소 시스템 규격초안 검토	중·소 과 제 연구팀
19	중·소 시스템의 설계연구 수행	중·소 과 제 연구팀
20	중·소 시스템의 종합에 의한 임시로 선정된 차량 편성도 작성	개 념 설 계
21	모델링에 의한 차량개념 초안을 분석(동력학, 동력학, 제동 시스템, 구조 역학, 추진 시스템, 단위가격)	개 념 설 계 중·소 과 제 연구팀
22	차량의 설계개념 수정	개 념 설 계
23	임시 선정된 차량의 규격을 수정보완	개 념 설 계
24	중·소 시스템 규격의 수정보완	개 념 설 계
25	중간단계의 개념설계 검토	차량 시스템 주관기관
26	차량 및 중·소 시스템 규격의 정밀 검토 및 수정보완	개 념 설 계
27	동력차의 설비구성과 배치도 초안작성	개 념 설 계
28	동력차의 설비구성과 배치도 초안 작성	개 념 설 계
29	객차의 설비구성 및 배치도 초안작성	개 념 설 계
30	최종 설계검토의 수행	차량 시스템 주관기관
31	차량 제작사에 상세설계의 수행 통보	차량 시스템 주관기관

라. 사업 참여기관

- 1) 사업 참여기관의 종류 : ▶연구비 제공기관, ▶연구 사업 관리기관, ▶운용자, ▶제작자
- 2) 명확한 목표부여 : ▶경부선 추가물량 공급, ▶수출용 차량제작

마. 계 획

- 1) 연구장비 목록작성 : 연구용 Software 및 시험장비
  - 2) 성능입증 계획
  - 3) 세부과제의 추진업무 및 일정에 따른 종합 추진계획 관리
  - 4) 세부과제간의 업무분담 및 협조 추진체계 관리
- 바. 필요한 자료 :

- ▶각 세부과제의 추진에 필수적인 설계자료, ▶규격, ▶세계적으로 성능이 입증되어 실제 적용 가능한 기술, ▶측정된 TGV의 성능, ▶서울-부산간의 선로조건 등
- 사. 요 약
- 1) 최상의 총괄 사업단의 실현가능한 계획수립
  - 2) 하부과제에서 상부과제로의 종합 추진계획의 관리
  - 3) 사업 참여자의 목표를 명확하게 파악
  - 4) 과제간의 원활한 협조체계 구축은 중점적으로 추진 될 사항
  - 5) 세부과제간 업무분담, 협조 추진체계 및 일정의 관리는 본 사업의 성공에 있어서 가장 결정적인 요소
  - 6) 전문적 분석기술의 필요성이 충분히 고려되어야 함

3. 한국형 초고속 전철 시스템의 개발 추진전략

선진국의 고속전철 개발 연구는 속도향상, 환경오염 문제 해결, 경제성 확보, 승차감 향상, 그리고 타 교통망과의 연계에 의한 철도 이용율 확대 등 다양한 문제점 해결에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 본 사업에서 개발하고자 하는 고속전철의 기본사양은 기술개발 우선 정책에 의하여 결정되는 것보다는 선진국의 고속전철 개발 추진전략을 분석하고, 다음과 같은 항목을 자세히 검토한 후에 국내 현실에 적합한 고속전철 시스템이 개발되도록 기본사양이 결정되는 것이 바람직하다.

가. 적용노선 : 경부선 또는 호남선 등 여행거리 및 시간, 궤도조건, 그리고 신호체계가 확인되어 편성차량의 승객 편의시설 등을 고려한 차량 편성방식을 결정할 수 있는 구체화된 노선

나. 여객 수송량 : 집중식, 분산식 또는 이층객차 등 객차 형식 및 수량을 결정할 수 있는 구체화된 여객 수송량다. 교통망 연계 : 자동차 및 지하철 연계, 위성도시와의 교통연계, 그리고 중간역에서의 차량분리 등을 고려하여 중련 또는 삼중련 등 차량편성의 형태를 결정할 수 있는 교통 연계망의 분석

라. 선진국의 차량기술 발전방향 : 독일의 ICE 21, 프랑스의 TGV-NG, 일본의 300X 등과 같이 각국은 고유의 교통수요와 형태를 만족할 수 있는 차량을 개발하면서 동시에 환경문제 해결, 여객 시간 단축 및 승차감 향상 등 승객여주의 기술개발, 그리고 경제성 확보를 동시에 만족할 수 있는 차량을 개발하여야 한다. 이를 위하여 선진기술과 교통수요에 대한 자세한 분석이 요구된다.

이와 같은 사항이 결정되면 이를 만족하기 위한 기술개발의 구체적인 목표가 설정되며, 이에 따라 기술개발 추진체계 및 전략도 결정된다. 기술개발의 추진체계는 국내적으로는 산학연 협조에 의하여 진행되고 있으나, 선진 해외 기관과의 협력은 국내의 낙후된 기술력을 고려할 때 필수적이라 사료된다. 선진 해외 연구기관과의 협력은 순수한 국내기술 연구와 비교하면 표 2와 같은 특징을 갖는다.

해외 기술협력의 유형은 다시 연구기술 분야의 특성에

따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

표 2. 고속전철 기술개발 추진체계의 비교

추진체계 특징	독자개발 방식	과제별 해외 위탁연구 방식	해외 공동연구 기술개발 방식
연구주체	국내 연구진 주도	국내 연구진 주관	공동 기술개발
기술개발기간	기술추진에 장기간 소요	기술이전 기간 추가 소요	단기간
첨단기술개발	어려운	분야별로 제한적	가능함
연구비 조성	용이함	가능함	어려움
연구/시험설비	막대한 자금소요	부분적으로 외국 의 연구 및 시험 설비 이용 가능	외국의 연구 및 시험설비 공동이용 가능
통합조정기능	취약함	어려움	용이함
기술인력 확보	어려움	어려움	용이함

가. 개념설계

고속전철의 설계경험이 있는 국가인 독일, 이탈리아, 일본, 프랑스의 연구기관과 복수로 위탁연구의 형태로 용역을 의뢰하는 것이 바람직하며, 추후 국내 기술진에 의한 분석 및 검토에 의하여 최종 개념설계안을 확정한다. 이때 신뢰성이 입증된 21세기의 차세대 기술이 적극 적용되는 것이 바람직하다.

나. 시스템과 부품 설계 및 제작

확정된 개념설계를 수행한 국가 또는 기관과 시스템별로 연구비 공동출자 및 공동연구에 의한 설계 및 제작을 통해 국내 기술력을 제고하는 것이 바람직하다. 이에 대한 국가 또는 기관과의 협력체계 구축은 고속전철 기술개발 사업의 대과제 주관기관에 의하여 추진되어야 한다.

다. 시험 및 평가

차량 시스템의 시험운행의 경험이 있는 외국 철도회사, 그리고 시스템 개발기관의 협조를 받아 국내 기술진과 공동으로 국내에서 수행한다.

기본사양의 결정은 적용노선, 교통수요, 교통 연계망의 분석, 그리고 선진기술의 분석에 의하여 결정되어야 한다. 또한 한국형 초고속 전철의 성공적인 개발을 위해서는 선진 외국기관과의 협조에 의한 공동 연구개발 체계의 구축은 필수적이며, 이러한 체계는 고속전철 기술개발의 개념설계 단계부터 시험 및 평가 단계까지 지속되는 것이 바람직하다.

4. 선진국의 고속전철 기술개발 동향 및 추진전략

4.1 독일의 초고속 전철 기술개발 동향 및 추진전략

가. 개요

철도분야의 연구는 신기술만으로는 충분하지 않으며, 다음과 같이 총괄적인 경쟁력을 강화하는 방향으로 추진되어야 한다

- 1) 품질 및 이용율 향상 : 여행시간 단축, 정확한 시간, 신뢰도, 고장, 손상의 정도, 유통성
- 2) 효율성이 제고된 생산적인 철도 : 수송능력, 투자비, 운행 및 보수 비용
- 3) 환경 친화력 : 에너지 소비, 소음, 재활용 물질 및 오염 물질 방출
- 4) 철도 시스템의 특성을 고려한 전략
- 5) 다양한 융통성 : 경쟁력 확보에 의한 다양한 시장의 점유율 확대

나. 연구 추진전략

앞에서 언급된 경쟁력을 확보하기 위하여 다음과 같은 연구 추진전략이 수립되어야 한다.

- 1) 차량 및 시설의 효율성과 이용율이 제고된 생산적인 철도 시스템
- 2) 에너지 절약, 차량과 레일사이에서 작용되는 힘을 줄이기 위한 경량화된 철도 시스템
- 3) 소음이 저감된 조용한 철도 시스템
- 4) 운행제어, 그리고 에너지 절약형 추진 및 제동에 의한 에너지 절약형 철도 시스템
- 5) 승객, 화물, 궤도, 그리고 환경에 영향을 적게 주는 진동이 저감된 쾌적한 철도 시스템
- 6) 재활용 품목의 확대, 오염 물질의 방출이 저감된 깨끗한 철도 시스템
- 7) 컴퓨터 운행제어에 의한 효율성 제고 및 경제적 운행에 의한 효율적인 철도 시스템

다. 철도 시스템 고유의 특성을 최대로 이용하는 전략

- 1) 철도차량의 구조를 최대한 이용
  - ▶2층 객차, 2층 화차 및 2층 객,화차
  - ▶열차길이, 축중, Tilting 대차
- 2) 차량의 다양한 편성
  - ▶다양한 승객수요에 대처, 중편 및 삼중편 등 다편성 차량의 연결운행 및 분리운행
  - ▶운행비용 절감 및 철도 이용지역 확대
- 3) 가변할 수 있는 Block System 적용
  - ▶최적 열차 운행제어 및 보호 시스템을 도입한 ATO 방식으로 수송용량 증대
  - ▶같은 노선에 다양한 철도차량의 운행으로 시격 및 선형 열차와의 안전거리를 자동제어
- 4) 다양한 동력방식
  - ▶분산동력 추진 시스템의 적용, 직축 구동방식 적용
  - ▶Linear Motor 등을 이용한 보조추진 및 보조제동 장치를 지상의 고정설비로 운영 → 차량무게 감소, 가속 및 감속 성능향상, 비용절감
- 5) 화물 선적 및 하역 작업의 단순화
  - ▶철도차량과 화물 자동차의 화물 Case/Box를 통일 하여 선적 및 하역 작업의 단순화
- 6) 화물열차 운행의 경기화
- 7) 복합 수송 시스템을 위한 역사의 분산화

라. 주요 연구과제

- 1) ICE 21 : 동력차량의 경량화 및 환경 친화력 연구, ICE 고속전철의 후속 연구과제
- 2) RE 2000 : 경량화, 경제성, 환경 친화력 연구, 신속한 환승 및 지역 수송문제 해결 연구
- 3) FZE : 모듈화 열차의 편성을 위한 자동 신호제어 동력차 연구, 철도 이용지역 확대 연구
- 4) UGT : 화물의 선적과 하역의 단순화를 위한 화물 수송 시스템 개선 연구
- 5) NBT : 수송량 증대를 위한 새로운 열차 운행제어 연구

마. 주요 연구항목

- 1) 새로운 추진 시스템 : 직축 구동, Linear Motor Booster, 복합 추진 동력
- 2) 새로운 Running Gear : Running Gear 21(능동제어), Single-Axle Running Gear, Running Gear with Single Wheel
- 3) Breaking Technology 21 : 고온 마찰제동(Plastic

and Ceramic Linings), 와류제동, 비상제동으로서의 발전제동

- 4) 집전장치 : 소음저감
- 5) Tilting Technology
- 6) Automatic Coupling :
  - ▶차량편성을 자유롭게 할 수 있는 신속한 자동열차 결합 및 분리
  - ▶차량편성시 제동 시스템 및 총괄적 차량 안전문제
- 7) 새로운 운행제어 기술 : 무선전송, 유도전송, 위치검출, 제어 및 보호
- 8) 환경 친화력 연구 : 저소음 바퀴, 저소음 차량, 부품의 재활용, 에너지 절감

#### 바. 차세대 고속전철 ICE-3

1998년 운영을 목표로 1994년 Siemens AG에 발주한 50편성(13편성은 다국적 운행)의 고속전철은 Frankfurt와 Koeln 사이를 300 km/h 이상의 운행속도, 4 %에 이르는 가파른 언덕, 그리고 제한된 운행시간을 만족하기 위한 50 %의 가속력 증대를 비롯한 가혹한 운행조건들로 인하여 기존의 ICE-1 및 ICE-2에 적용되어 왔던 기본적인 설계 개념을 수정해야만 하였다.

먼저 요구되는 조건을 모두 만족하기 위해서는, 기존의 11.48 kW/t의 동력에서 21.92 kW/t로 변경되어야 하였으며, 동시에 에너지의 소모도 줄여야 되는 상호 모순되는 문제를 해결해야만 하였다. 많은 기술적 검토후 이를 모두 충족시키기 위하여 동력 분산식과 Dynamic Braking 방식이 제안되게 되었다. ICE-2와 비교할 때에 차량무게는 418 ton에서 365 ton 정도로 약 10 % 감소하였고, 최대 추진력은 200 kN (4,800 kW)에서 300 kN (8,000 kW)으로, 최대 운행속도는 280 km/h에서 330 km/h로 증대되었음에도 불구하고, 동력 분산식의 장점으로 인하여 제동시 에너지를 회생제동에 의하여 전량 회수함으로써, 에너지 소모는 25 %가 감소되었다. 부가적으로 이로 인한 carbon-dioxide의 배출도 3.9 kg/100 km에서 3.2 kg/100 km로 감소되었다. 또한, 추진 동력장치를 적절히 분산 배치함으로써 축중은 12.5 ton으로 감소되어 track에 작용하는 stress와 소음이 경감되었다. 이로 인한 추가적인 장점으로는 모든 동력장치가 차량 하부에 설치되어 주행의 안정성이 향상되었고, 축중의 감소 및 저감된 소음이 차량의 하부에서 발생되어 방음벽 설치시 이의 효과가 극대화되었다. ICE-3의 주요 제원은 다음과 같다.

- ▶열차편성 : 8량[3량(추진시스템 분산)×2Unit, 객차 2량]
- ▶열차중량과 승객수 : 365 ton(1등석 135명, 2등석 283명)
- ▶최대 운행속도 및 여유 가속력 : 330 km/h, 0.05 m/sec<sup>2</sup> (330 km/h 운행시)
- ▶최대축중, unsprung mass, ton/seat : 12.5 ton, 1.4 ton, 0.87 kW/ton : 21.92, kW/seat : 19.14
- ▶추진동력, kW/ton, kW/seat : 500 kW×16=8,000 kW, 21.92, 19.14

또한, 차량성능을 향상시키기 위하여 다음과 같은 추가적인 기술이 적용되었다.

- ▶중앙 집중식 보조 전원장치와 중앙 집중식 급수공급 (4 차량 기준)
- ▶고주파 변압기와 IGBT를 보조 전원장치에 사용
- ▶경량화와 환경문제 해결을 위한 Air-Charged HVAC
- ▶경량화를 위한 Aluminium Monocoque 구조의 차체

- ▶차량의 전자 제어회로에 표준화된 BUS를 사용하여 Module간의 Interface 감소
- ▶회생제동, 비접촉 제동, 그리고 마찰제동을 설치하여 정상제동시에는 회생제동과 비접촉 제동을, 비상시에는 마찰제동을 사용함으로써 마찰제동의 보수비용 절감
- ▶차량편성의 유연성이 증대되어 승객 탑승률 제고
- ▶50 % 정도 낮은 점착력 이용과 25 % 낮은 축중으로 인하여 차량과 궤도의 LCC(Life Cycle Costs) 감소

이외에도 ICE-3에는 running gear, 공력소음, 대차, 그리고 좌석 경량화에 대한 많은 개선으로 1998년 운영을 목표로 현재 시험중에 있다.

한국형 초고속 전철 개발사업은 ICE-3이 만족시켜야만 했던 많은 가혹한 운행조건보다 더욱 어려운 조건을 해결해야만 한다. 350 km/h의 운행속도, 1,000명의 승객, 터널이 많은 경부선, 태풍과 영하 20℃의 기후, 그리고 기존의 신호설비 및 궤도와 호환성을 고려할 때 21세기에 운행되는 한국형 초고속 전철은 20세기의 ICE-3 보다 많은 첨단기술이 적용되어야 할 것으로 예상된다.

#### 4.2 프랑스의 초고속 전철 기술개발 동향

##### 가. 개요

프랑스의 차세대 고속전철인 TGV-NG의 연구개발 방향은 다음과 같다.

- 1) 첨단기술의 구현
- 2) 유럽노선에서 운행할 수 있도록 차량의 호환성 확보
- 3) 모뎀화 개념에 근거한 차량 설계
- 4) 환경 친화력 : 소음저감, 공력저항 저감, 승차감 향상
- 5) 제작, 유지보수 비용 절감 : 에너지 효율 향상, 차체 및 전장품 경량화

##### 나. 주요 연구과제

- 1) 제동 시스템
  - ▶와류제동, 새로운 마찰제동(Carbon Disk/Carbon Pad, Rotor Disk, Ceramic/Ceramic 제동)
  - ▶Dynamic Brake의 용량 증대 (격자저항의 열용량 증대)
- 2) 추진 시스템 : 유도전동기 경량화, 개별 전동기 제어, 전력변환 장치용 무공해 냉매 사용
- 3) 차량 경량화
  - ▶알루미늄 차체, 복합소재 차체
  - ▶복합 조립부품을 단일부품으로 단순화, 의자 및 전선 경량화
- 4) 소음 : 공력소음, 능동 기밀 압력제어, 대차소음의 차폐, 능동 Acoustic Wall
- 5) Tilting 대차
- 6) 능동 집전장치
- 7) 편성 차량대수의 축소에 의한 다양한 수송수요 만족

#### 4.3 일본의 초고속 전철 기술개발 추진전략 및 동향

##### 가. 환경 친화력을 가진 철도 시스템

- 공력소음 저감(전두부 형상, 터널 영향, 집전장치 커버)

##### 나. 고속 주행성능의 안정성 향상

- 1) 대차 Damping 시스템, 관절 대차
- 2) 주행진동의 저감을 위한 대차의 능동제어

##### 다. 경량화

- 1) 차체 경량화 : Hollow Extruded Angle, Brazed

Aluminium Honeycomb, Aircraft Construction

2) 대차 경량화 : Hollow Axle, 바퀴 직경 감소, Axle Box와 Axle Gear는 알루미늄

3) Fiber Optic Cable에 의한 Multiplex Transmission

라. 추진 시스템

1) 경량 모터 : 유도전동기, 1 kW/kg, 회생제동 채용

2) 모터 제어방식

- 전력변환 장치가 경량화된 모터 군(Group) 제어
- Slip/Skid 제어가 용이하고, 제동특성이 향상된 개별 모터제어

마. 운행 개시된 고속열차 Series JR-500

일본의 JR West는 Fukuyama와 Shin Shimonoseki간의 Sanyo Shinkansen에서 270 km/h의 속도로 운행되고 있는 Series 300를 운행하여 왔다. 그러나 승차감 및 속도가 향상된 고속열차를 운행하여 비행기 및 자동차와의 경쟁에서 보다 많은 승객을 확보하기 위해 승객수 1,324명, 300 km/h의 속도를 갖는 Series 500(JR500) 고속열차를 개발하여 지난 3월 부터 운행을 시작하였다. 1992년 부터 시제열차인 WIN-350 (West Japan Railway's Innovation for Operation at 350 km/h)의 시험운행을 통하여 얻어진 결과를 보완하여 JR500이 개발된 것이다. JR500은 환경친화력 향상, 승차감 향상, 주행 및 제동특성 향상, 대용량 수송, 그리고 운행 및 보수의 단순화 등을 개발목표로 하였다. JR500은 350 km/h로 운행할 수 있는 능력을 가지고 있으나, 소음 및 진동 등의 환경적인 제약 때문에 운행 속도를 300 km/h로 정하고 있다. 따라서 kW/ton은 28.5로 과도하게 설계되어 있으며, 350 km/h로 평탄궤도에서 주행시 0.11 m/sec<sup>2</sup>의 여유 가속력이 있으며, 개활지에서는 385 km/h, 터널에서는 335 km/h의 속도까지 주행할 수 있다.

JR500의 주요 제원은 다음과 같다.

- 1) 열차편성 : 16 동력차 (64축 모두 견인 전동기 장착)
- 2) 열차중량 : 640 ton
- 3) 승객수 : 1등석 200명, 2등석 1,123명
- 4) 최대 운행속도 : 300 km/h
- 5) 여유 가속력 : 0.11 m/sec<sup>2</sup> (350 km/h로 주행시)
- 6) 최대충중, unsprung mass, ton/seat : 10 ton, 1.6 ton, 0.48
- 7) 추진동력, kW/ton, kW/seat : 300 kW×64=18,350 kW, 28.5, 13.79

JR500의 성능향상을 위하여 적용된 주요기술은 다음과 같다.

- 1) 제동 시스템 : 에너지의 절약 및 열차의 경량화를 위하여 저항제동은 설치하지 않았으며, 회생제동 시스템에 의해 정상제동이 수행되며, 마찰제동은 보조적인 역할을 수행하도록 하였다. 열차가 최적으로 경량화 되었기 때문에 제동시 승객의 탑승률에 따라 제동력이 변화되도록 Variable Load Actuator가 장착되었다.
- 2) 공력소음 경감 : 환경문제에서 가장 제약을 받는 것이 소음이다. 소음은 집전장치, 차체의 공력, 바퀴와 레일 간, 그리고 구조물의 진동에 의하여 발생된다. 집전장치에서 발생하는 소음 이외에 다른 소음들은 주거지역에 설치된 방음벽에 의하여 어느 정도 완화될 수 있다. 하지만 방음벽은 승객의 외부 시야를 방해하지 않기 위하여 높이에 제한이 있으며, 이로 인하여 집전소음을

충분히 차폐하기 어렵다. 집전장치에서 발생하는 소음에는 공력소음, 아크소음, 그리고 전차선과 집전판 사이의 마찰소음이 있다. 아크로 인한 소음은 고전압 케이블로 판토그래프를 연결할 경우에 상당히 경감될 수 있으며, 마찰소음은 다른 소음에 비해 상대적으로 낮다. 이러한 공력소음을 해결하고자 JR-500에서는 Wing-Shaped Current Collector를 개발하여 공력소음을 경감하였다.

- 3) 터널의 Micro-Pressure Wave 경감 : Sanyo Shinkansen 노선은 50 % 이상이 터널로 되어 있어 차량이 터널에 진입할 때 터널 출구에서 발생하는 Micro-Pressure Wave 발생으로 인한 소음의 경감을 위하여, 차량 전두부의 길이를 Series 300의 2.5배인 약 15 m 정도로 증가시켜 공기저항을 감소시켰다.
- 4) 공력저항 감소 : Under-Floor 기기는 차체에 장착된 구조물로 덮어 차체와 궤도 사이의 공력저항 감소와 공력으로 인한 궤도 구조물에 미치는 영향을 감소시켰으며, 공력저항의 감소를 위하여 차량간에 고압 케이블의 연결을 위한 고압 애자를 제거하여 케이블을 차량 간에 직접 관통시켰다. 또한, 차량 운전실의 단면적은 Series 300과 비교하여 10 % 축소된 10.2 m<sup>2</sup>로 제작하였다.
- 5) 승차감 향상 : 차량간의 Spring-Damper 특성을 개선하여 차량 진동을 감소시켰으며, 공기로 제어되는 Full-Active 서스펜션 시스템을 End-Car에 설치하여 측면 진동을 50 % 감소시켰고, 가변 Oil Damper가 사용된 Semi-Active Suspension System을 집전장치 장착 차량과 일등 객차에 설치하여 측면 진동을 30 % 이상 감소시켰다.

이상에서 살펴본 바와 같이 일본 고속전철 관련 종사자의 관심은 승객 수송량 확대를 위한 속도향상, 승객에게 최대의 쾌적감 제공, 그리고 인구밀집 지역과 많은 터널을 통과하기 위한 환경문제 해결 등으로 한국과 너무나 유사하다. 일본은 이들을 해결하기 위한 첨단기술의 독자적인 개발을 급속도로 확대하여 왔다.

## 5. 한국형 초고속 전철의 Baseline Model

### 5.1 개발목표

#### 가. 적용노선

적용노선의 제원에 따라 차량의 사양이 다르기 때문에 경부 고속철도 노선에 한국형 초고속 전철의 적용을 최우선적으로 고려하며, 후후에 차기 고속전철 노선과 전철화 노선의 분기 및 연계 차량에 본 연구사업에서 개발된 기술을 적용하는 것이 바람직하다.

#### 나. 승객 수송량 증대

2001년 이후 매년 20 %의 수송승객 증가에 대비하여 TGV-Korea의 승객수인 935명에서 한국형 초고속 전철의 승객수는 1,300명(1등석 15 %, 2등석 85 %)으로 증대시켜야 하며, 이는 동력 분산식의 채택으로 승객탑승 가용면적이 추가로 확보되어야 가능하다.

#### 다. 여행시간 단축(two stops)

여행시간은 현재의 115분 30초에서 100분 이하로 단축하여야 한다. 이는 승객에게 보다 짧은 여행시간을 제공하고, 타 교통수단으로 부터 보다 많은 승객을 유치하여

고속전철 이용률을 제고하기 위함이다. 과급효과로는 비행기, 승용차 등의 고 에너지 교통수단으로 부터 저에너지 교통수단인 고속철도로의 전환에 의해 범국가적으로 에너지를 절감할 수 있다. 이를 달성하기 위해서는 최대 운행속도를 현행 300 km/h에서 350 km/h로 증가시키며, 가속 및 감속거리의 단축, 그리고 선로의 최소반경, cant, 구배 등의 속도제한 요인을 대처할 수 있는 기술을 개발해야 한다.

#### 라. 에너지 저감

차량운행의 효율 제고, 경비절감 및 환경보호를 위하여 TGV-Korea의 서울-부산간의 편도에 소요되는 에너지를 14,000 kwh에서 11,000 kwh로 줄여야 한다. 이는 열차 공력저항 저감, 동력 분산식 채택으로 회생제동에 의한 에너지 회수율의 극대화, 그리고 차량 경량화(차체, 대차, 동력 전달장치 및 전기기기)로 달성할 수 있다.

#### 마. 환경 친화성 확보

차량 통과지역 주민에게 쾌적한 주거환경을 제공하기 위하여 현재 TGV-Korea의 소음수준인 93 dB를 91 dB로 낮추어야 한다. 이는 공력소음을 차체 형상개선, 판토그래프 공력구조 개선 및 최적 소음위치 선정, 그리고 동력차간의 고압 케이블 연결에 의하여 저감시킬 수 있다. 또한, 축중감소에 의한 rolling noise 저감과 동력 분산식 구조로 차체 하부에 동력기기를 배치하여 소음을 줄일 수 있다.

#### 바. 신속한 철도 교통망 연계

승객수송 수요변화에 대비한 경제적 운행과 전철화 분기노선에 고속전철의 연계운행으로 승객편의 도모와 목적지까지의 여행시간 단축을 위하여 차량을 1/2로 편성하여 운행이 가능하도록 해야 한다. 이는 차량편성의 신속한 분리가 가능한 재래식 대차 구조, 유연적 편성차량의 운행이 가능한 차량 제어 시스템, 그리고 동력 분산식에 의한 추진 및 제동 시스템의 유연적 차량편성에 의해 가능하다.

#### 사. 승객 편의시설 확대 및 승차감 향상

국민소득 향상에 의한 선진국 수준의 여행 편의시설 제공, 승객에게 쾌적한 여행환경 제공, 그리고 세계시장 진출을 위한 고속전철 차량의 고급화 전략을 추진하는 것이 바람직하다. 식당차 편성, 차내 Computer 사용환경 제공, Active Suspension 적용에 의한 승차감 향상, 그리고 대차 특성개선 등에 의하여 이루어질 수 있다.

#### 아. 차량 안전성 및 신뢰성 증대

고속주행의 안전성 제고 및 차량 가용율 제고, 선로 및 Rail에 충격완화로 보수비용 절감, 그리고 차량 탈선위험 방지를 위하여 TGV-Korea의 축중인 17 ton에서 10 ton으로, 그리고 현가하 질량은 2.2 ton에서 1.6 ton으로 줄여야 한다. 이는 동력 분산식을 포함으로써 축중 및 현가하 질량의 감소가 가능하며, 동력 집중방식으로는 불가능하다. 동력 분산식의 적용은 부가적으로 동력 시스템의 고장시 가용율 제고와 동력 시스템을 차량 하부에 배치하여 차량의 동특성을 향상시킬 수 있다. 속도증대에 따른 판토그래프의 동적 특성개선은 중요한 기술개발 과제이다.

#### 자. 세계시장 진출

유럽은 고속전철 기술의 표준화 작업이 진행중이며, 북남미와 아시아 시장도 각각의 표준화된 시스템을 사용하고 있다. 따라서 세계시장에의 진출을 위해서는 차세대 표준화 기술이 적용된 독자 모델 개발이 필수적이다.

## 5.2 동력 분산식 Baseline Model의 제한

국내의 철도관련 산업체는 TGV-Korea의 이전기술인 동력 집중식을 선호하고 있다. 하지만 국내의 전문가의 기술적 분석에 의하면, 동력 분산식만이 최고 운행속도 350 km/h, 승객 수용능력 1,000명 이상을 만족할 수 있다는 잠정적인 결론이 제시되고 있다. 또한, 일본은 물론이고 독일, 프랑스 등의 선진국에서도 동력 분산식을 차세대 고속전철의 동력방식으로 채택하고 있다. 동력방식은 앞으로 충분한 시간을 가지고 보다 자세한 기술적 조사와 분석을 수행한 후에 결정되어야 할 중요한 문제이다.

한국 고속전철 공단은 최고속도 350 km/h에 점착력의 한계로 인하여 760명 밖에 수송할 수 없으며, 회생제동의 제약으로 인하여 고에너지가 소요되며, 축중이 17 ton으로 선로 보수문제가 심각한 동력 집중식을 제안하고 있다. 다음과 같은 동력 분산식 Baseline Model은 이러한 모든 문제점을 해결할 수 있는 유일한 방식이므로 국내외의 전문가에 의하여 충분한 기술적 검증을 거쳐 개념설계를 수행하는 것이 바람직하다고 사료된다.

- 1) 동력 분산식 : 10 M + 6T
- 2) 동력 축 : 40개
- 3) 열차중량 : 640 ton 이하
- 4) 열차길이 : 400 m 이하
- 5) 승객 수 : 1,300명 이상
- 6) 최대축중 : 10 ton
- 7) 현가하 질량 : 1.6 ton
- 8) 연속 추진동력 : 500 kW × 40 = 20,000 kW
- 9) 최고 운행속도 : 350 km/h
- 10) 공력저항 : 120 kN 이하 (350 km/h)
- 11) 판토 그래프 : Semi-active control
- 12) 현가장치 : Semi-active control
- 13) 제동방식 : Variable Load Actuator, 회생제동, 비접촉 제동, 마찰제동
- 14) 차량 제어장치 : 표준화 BUS (TCN, LonWorks, ARCNET), 분산제어

## 6. 결 론

본 논문에서는 선도기술 개발사업(G7)에 의해 범국가적으로 개발중인 350 km/h급 한국형 초고속 전철의 기본사양 결정 및 개념설계를 위해, 철도 선진국의 고속전철 기술개발 동향을 분석하고, 국내 현실에 적합한 고속전철 시스템 개발을 위한 연구개발 추진전략과 한국형 초고속 전철의 Baseline Model을 제안하였다. 국내외 전문가에 의해 350 km/h 초고속 전철의 개념설계를 위한 기술적인 검토가 심도있게 검토되고 있으며, 이러한 결정은 다음과 같은 요소를 필수적으로 고려해야 한다고 판단된다.

- 1) 국내 고속철도 산업의 기술 수준
- 2) 본 연구사업에서 개발된 기술의 국내 철도산업 분야에의 과급효과
- 3) TGV-Korea의 이전기술과의 연계
- 4) 국내외 고속철도 시장의 수요
- 5) 외국의 첨단기술 개발 추이
- 6) 경부선의 토목개도 및 신호 시스템과의 호환성
- 7) 고속전철 노선의 차량 시스템 운행 요구조건