

# 동력분산형 고속철도의 교량형식에 따른 교량건설비용 저감방안 연구

## Cost Reduction of Construction of Bridges for the High-Speed EMU

이태규\*  
Lee, TaeGyu

김혜옥\*\*  
Kim, HyeUk

---

### ABSTRACT

The railway bridge design specification used in our country at present, is reflected results that take into account link between vehicle and roadbed according to decision of TGV vehicle style in 1994, and executes design verification.

Hereafter, the particular loading condition and the design speed of the high-speed EMU that is recognized to the next generation of high speed railway, are plain difference with TGV vehicle style decided in 1994. The effect that these load and design speed get in roadbed, especially superstructure, displays difference with the existent high speed railway.

The goal of this study is to choose the suitable bridge type, and to reduce the construction cost for the next generation of railway, i.e., the high-speed EMU.

---

## 1. 서 론

현 고속철도 노반설계에 사용되는 설계기준은 2005년 고속철도 건설공사에 적용하였던 구조물별 설계 표준시방서(1991년 9월)를 토대로 정부의 새로운 건설공사기준 체계에 따라 건설과정에서 축적된 보완 사항을 집대성 하여 향후 고속철도 건설시 적용할 수 있도록 국토해양부(전 건설교통부)에서 고속철도 설계기준(노반편)으로 작성되었다. 이 설계기준서는 1994년 TGV 차량형식 결정에 따라 차량과 노반의 연계성을 감안하여 설계검증을 실시한 결과를 반영하였고, 고속철도시설물 내진설계기준, 건설과정에서 변경 보완된 설계기준, 단위계를 SI 단위로 변환, 그리고 터널 방재시설기준 및 국내 관련 설계기준 등을 반영하여 제정된 것이다.

하지만 향후 차세대 고속철도로 부각되고 있는 동력분산형 고속철도 차량의 특수한 하중조건 및 설계 속도는 1994년 결정된 TGV 차량형식과는 분명한 차이가 있으며, 이러한 하중 및 설계속도가 노반에 미치는 영향 역시 기존의 고속철도와는 분명한 차이를 나타낼 것으로 예상된다. 그러나 현재 국내에서는 동력분산형 고속철도 차량이 노반에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 동력분산형 고속철도 차량의 운행이 철도 노반 중 교량의 상부 구조물에 대하여 미치는 영향을 검토함으로써 동력분산형 고속철도 차량 운행에 대한 시스템 개발에 이바지 하는 것을 목표로 한다.

## 2. 연구개발의 필요성

---

\* 우송대학교 철도건설환경공학과, 정회원

E-mail : tglee@wsu.ac.kr

TEL : (042)629-6714 FAX : (042)636-2672

\*\* 우송대학교 철도건설환경공학과

## 2.1 기술적 측면

철도노반 중 교량은 고속철도의 운행을 위해 고속주행 차량의 안전성, 승차감, 그리고 엄격한 유지관리 기준과 관련하여 구조물과 교량에 대해 매우 엄격한 사항을 만족하여야 한다. 고속철도 교량은 일반 교량들보다 훨씬 크고, 많고, 불리한 하중조건을 만족하여야 할 뿐만 아니라 차량 운행과 관계된 특별한 인터페이스를 만족하여야 하므로 특별히 엄격하고 주의 깊은 설계와 시공, 유지관리, 통제관리 등이 수행되어야 한다.

현재 고속철도는 시속 350km에 이르는 고속주행 열차의 운행에 적합한 교량의 설계를 위하여 고속도로나 일반철도 교량의 설계기준 이상의 추가적인 요구사항을 만족하여야 한다. 즉 임의의 일정간격으로 반복 재하되는 피로 하중에 대한 안전도 검토와 임의의 일정간격으로 반복되는 하중의 영향(동적 구조 응답)에 대한 검토가 그것이다. 또한 승차감 수준에 대한 기준 및 고속철도의 특수 운행 요구사항, 유지 보수, 점검, 보강 등의 작업시간 감소 요구사항을 만족하여야 한다.

이러한 요구사항을 만족하기 위한 조건 중 운행 차량에 대한 조건은 열차속도 또는 차축간격, 수직하중, 열차의 특성으로 인해 수반되어지는 것 등의 선로운행조건에 의하여 평가되어야 하며, 운행조건 중에서 열차의 수, 열차의 구성과 그 크기는 특히 강구조물의 경우 피로검토를 위해서 반드시 고려되어야 한다.

고속철도 차량재하로 인한 동적 평가는 실제적인 고속철도 열차의 하중이 사용되어야 하며, 모든 하중은 구조물의 가장 불리한 위치에 대해서 검토되어야 한다. 하지만 현재 고속철도의 운행하중은 HL하중선도를 사용하고 있는데 이는 1994년 결정된 TGV 차량형식에 의한 하중으로서 동력분산형 고속차량의 열차속도, 차축간격, 수직하중 및 열차의 특성과는 매우 상이하여 교량 구조물에 미치는 영향 역시 상이할 것으로 예상된다.

따라서 동력분산형 고속철도 차량이 운행될 교량의 요구사항을 만족시키기 위해서는 동력분산형 운행 차량에 대한 하중조건에 대하여 정의되어야 하며, 그 정의를 기본으로 교량에 대한 구조적 성능평가를 수행하여야 한다.

한편 우리나라는 급속한 경제성장을 바탕으로 경부고속도로 개통을 시작으로 최근 영종도 신공항, 서해안 고속도로와 같은 대규모의 도로 시설물 위주의 교통정책을 운영해 오다가 최근에 들면서 교통의 주류를 철도로 확장 변경하면서 경부고속철도 1단계 개통에 이어 2단계 구간인 대구-부산 간 고속철도를 건설 중에 있으며, 향후 호남 고속철도 사업 등 사회기반시설물을 대량으로 건설하고 있다. 그러나 이들 시설물의 건설에 있어서, 자체의 체계적인 기술 발전의 정립 없이 설계, 계획 및 시공 단계에서 무분별하게 외국기술을 도입하여 사용하는 경향이 두드러지고 있다. 또한 선진 외국에 비하여 건설된 시설물의 유지관리에는 상대적으로 소홀하였던 면도 가지고 있다. 콘크리트는 구조재료 가운데 유지관리 비용이 비교적 적게 요구되는 반영구적인 재료로서, 철강재와 더불어 사회기반시설물의 축조에 이용되는 대표적인 재료이며, 현재까지는 시멘트콘크리트보다 경제적이고 시공성이 높은 재료는 아직 구하기 힘든 실정이다.

또한 앞으로 구조물이 점차적으로 대형화하고 있는 추세에 따라 사용재료인 콘크리트도 강도가 점차적으로 고강도화 되어가고 있다. 이에 따라 사용성 및 유지관리성에 대한 사회적이 관심이 고조되고 있으며, 고강도콘크리트의 활용기술 개발이 절실히 필요한 실정이다.

## 2.2 경제, 산업적 측면

우리나라의 사회기반시설물 중에서 시설물 안전관리에 관한 특별법"에 의한 대상 구조물의 현황(2003년)을 보면 도표 1과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 우리나라에는 1종 및 2종 시설물을 합하여 약 29,000여 개의 시설물이 있다. 이러한 사회기반시설물 가운데 교량 약 5,000, 터널 1,000, 건축물 20,000여 개 정도로 시설물의 약 90% 이상을 차지하며, 이들의 대부분이 콘크리트 구조물인 것으로 조사되었고,

이 중 상당수가 초과 하중에 의한 손상이 발생되고 있으며 구조물의 안전과 유지관리 문제가 심각한 것으로 보고되고 있다.

도표 1. 사회기반시설물별 현황

합계	종 별	소 계	도 로				철 도			항 만	댐	건 축 물				하 천	상 하수도	옹 벽	절 토사면
			교 량	터 널	지 하차도	복 개구조물	교 량	터 널	역 사			공 동주택	일 반	다 중	지 하도상가				
29,421	1중	8,866	1,397	149	1	2	198	474	-	49	50	5,802	376	2	-	263	103	-	-
	(공공)	2,930	1,362	130	1	2	198	474	-	38	50	254	55	-	-	263	103	-	-
	(민간)	5,936	35	19	-	-	-	-	-	11	-	5,548	321	2	-	-	-	-	-
	2중	20,555	3,134	349	19	-	289	28	387	151	15	12,576	576	1,704	3	313	960	24	27
	(공공)	6,701	3,106	347	19	-	289	28	387	141	15	629	75	344	1	313	956	24	27
	(민간)	13,854	28	2	-	-	-	-	-	10	-	11,947	501	1,360	2	-	4	-	-

### 3. 주요 연구개발 내용

#### 3.1 국내외 기술동향

현재 아시아 권역은 중국횡단철도(TCR) 및 시베리아횡단철도(TSR)로 구성되는 대륙철도망 사업이 가시적으로 대두되고 있어 철도시설 분야에 있어서의 첨단기술 개발의 필요성이 급증하고 있는 추세에 있다. 고속철도 시스템 보급이 계속 확대됨에 따라 고속철도에 대한 수요는 갈수록 높아지고 있으며, 해외 고속열차 시장 경쟁에서 우위를 점하고 신성장 동력을 찾기 위해서도 기술개발의 필요성이 절실하기 때문에 현재 해외 고속열차 시장은 차세대 고속열차 개발을 둘러싼 치열한 기술 경쟁을 벌이고 있다.

건설교통부에 따르면 일본의 경우 JR-동일본은 최근 들어 신칸센 고속화프로젝트를 통해 고속성, 신뢰성, 환경적합성, 쾌적성에서 세계 최고수준의 신칸센을 개발한다는 야심찬 목표로 FASTECH 360'이라는 초고속 열차를 개발하여 시험 중이다. 그간의 신칸센 열차에 축적된 각종 요소기술과 최신 신칸센 열차(E2계, E3계)의 적용기술을 기본으로 차량의 주행안정성, 지상설비, 환경영향, 쾌적성 등 실환경, 실조건에서 지금까지의 신칸센 기술을 총합적으로 평가, 검증할 수 있도록 하였다.

유럽의 경우 인접 국가 간 고속철도의 직결 운행과 기술의 공동 활용을 위한 신호시스템 표준화 등 인프라 분야의 기술표준화와 공동연구가 활발하게 진행 중이다. 프랑스는 2001년부터 알스톰과 SNCF(프랑스 국영철도)가 공동으로 350km/h급의 영업운행 속도를 가진 차세대 초고속 열차인 AGV"의 개발 프로젝트를 추진하고 있다. 독일도 지멘스(Siemens)사를 중심으로 최고 운행속도 350km/h급의 VELARO"라는 차량을 개발 중에 있으며 세계 고속열차 시장에서 그간 우위를 유지하던 프랑스를 앞선다는 목표로 기술개발에 열중하고 있다.

이와 같이 최근 철도 선진국들은 끊임없는 속도 향상과 친환경적이고 승차감이 향상된 철도시스템을 구현하기 위한 기술개발 경쟁을 더욱 가속화하고 있으며, 80~90년대에 주류였던 동력집중식에서 동력분산식으로 변화해 가는 경향을 보이고 있다.

2007년 6월 한국교통신문에 기고된 고속철도의 해외진출에 대한 한국철도기술연구원 이순철 박사에 따르면 세계의 철도시장규모는 2000년을 기준으로 700억 달러인데 그중 인프라를 제외한 규모는 약 250억 달러이며, 인프라를 제외한 세계 철도시장규모는 2006년에는 462억 달러가 될 것으로 추정되고 있다. 고속철도 차량은 세계 철도시장규모의 약 6% 정도이며, 앞으로 유럽철도 및 세계철도는 지속적으로 4% 이상 팽창할 것으로 추정되고 있다. 또한 세계 각국에서도 도로수송에서 철도수송을 증대하는 정책으로

전환하고 있어 사업여건도 좋은 분위기로 조성되고 있다고 한다.

또한 건설교통부의 제1차 철도산업발전기본계획(2006)에 따르면 세계철도시장 중 유럽이 38%, 아시아/태평양이 30%, 북/중미가 18%, 기타가 14%를 차지하고 있는 것으로 나타나 유럽과 아시아 권역의 철도건설사업이 앞으로 더욱 활발히 진행될 전망이다.

### 3.2 본 연구의 주안점

본 연구는 고속철도 교량형식에 대한 모델 교량을 선정하고 이에 대하여 대상 교량 형식별 정적 및 동적 성능평가를 통한 안전성 분석, 최적 단면 선정, 가설비용에 따른 경제성 분석, 향후 고강도콘크리트 활용에 대비한 초기가설시 재료적 시간의존성 분석 등을 통하여 차세대 고속철도 교량에 대한 개념적인 설계기준 방안을 제시하는 과정으로 이루어진다.

구조적 평가인 정적/동적 성능분석은 구조해석 프로그램을 사용하여 교량의 형식별 하중 저항 능력과 각 모드에서의 고유진동수 분석을 통하여 정적/동적 특성을 파악하는 것이며, 재료적 평가인 시간의존성 분석은 고강도콘크리트 사용에 따른 수화열, 크리프, 수축현상과 같이 시간에 따라 변화되는 응력/변형률에 따른 교량의 저항 특성을 파악하는 것이다.

대상교량 형식 및 가설공법 비교분석에서는 기존 고속철도에서 사용 중인 교량형식을 조사 분석하고, 교량 형식별 거동특성을 평가하며, 기존 교량가설공법에 대한 조사와 장단점을 비교분석하여 동력분산형 차량구조에의 적용 가능성을 검토하여 최종적인 대상교량형식 모델 후보를 선정한다.

시간의존적 초기거동 평가에 있어서는 고강도콘크리트 적용에 따른 수화도를 사용한 수화열에 대한 영향평가 및 기술개발, 수분확산에 대한 영향평가 및 기술개발, 크리프에 대한 영향평가 및 기술개발을 통한 평가기법을 정립하며, 이로부터 3차원 유한요소 모델 설정과 모델 형식별 시간의존적 영향평가를 수행하여 교량의 적용 가능성을 분석한다.

교량형식에 따른 구조적 평가는 3차원 유한요소 모델을 먼저 설정하고, 모델 형식별 정적/동적 성능분석을 수행하여 교량의 적용 가능성을 분석하며, 또한 거더 및 슬래브의 적정두께 산정, 타설범위 및 타설순서 검토, 적정두께 및 타설방법의 상관관계 분석을 통하여 경간장 및 최적 단면을 제시한다.

마지막으로 경제적인 교량가설공법 개발을 위하여 기존 고속철도 교량 및 가설공법과의 공사비 비교 검토, 사용성 및 유리관리성 분석을 통하여 안전성과 승차감 및 경제성을 고려한 교량설계기준 방안을 제시한다.

### 3.3 연구 추진체계

본 연구의 성과물은 동력분산형 열차의 노반적용에 대한 검토의 필요성을 제시하고, 추후 설계되는 동력분산형 고속철도의 노반설계기준에 이론적 아이디어를 제시하는데 그 성격이 있다.

동력분산형 고속철도의 노반설계기준은 열차의 제원이 명확히 결정되어야 하고, 모든 형식의 교량에 대한 검토가 수행되어야 하며, 실제거동에 대한 실험 등이 수반되어야 한다. 이와 같은 일련의 과정은 시간적으로나 경제적으로 많은 비용과 기간이 소요되므로 동력분산형 열차에 대한 심도깊고 체계적인 연구검토가 필수적으로 요구된다.

본 연구의 주요 내용은 1단계에서 대상교량 형식 선정 및 구조적 성능평가, 2단계에서 초기거동 영향 분석과 경제적인 가설공법 개발로 구체적인 추진체계는 그림 1과 같다.

앞서 언급한 바와 같이 아시아와 유럽을 연결하는 대륙철도망 구축계획 및 각 국의 철도노선 증설계획에 따라 철도 운행 구간은 2004년 현재 유럽 13,216Km에서 2010년 41,350km로, 아시아는 2,797km에서 5,139km로 증가될 전망으로 점차 확대일로에 있다. 한국에서의 철도분야 전문업체들이 전철분야에 있어서는 이미 말레이시아와 터키 등에 진출하고 있고, 고속철도 사업에 있어서도 중국과 러시아를 비롯한 미국 및 남미 등에 그 진출을 모색하고 있다.

이러한 환경의 변화에 따라 시장 점유를 높이기 위해서는 북한, 중국, 러시아와 같은 인접국가들에 대

한 수요 창출 및 이를 토대로 한 대륙철도망 연계 촉진으로 해외시장으로의 시장 점유도 확대될 수 있을 것으로 판단된다.

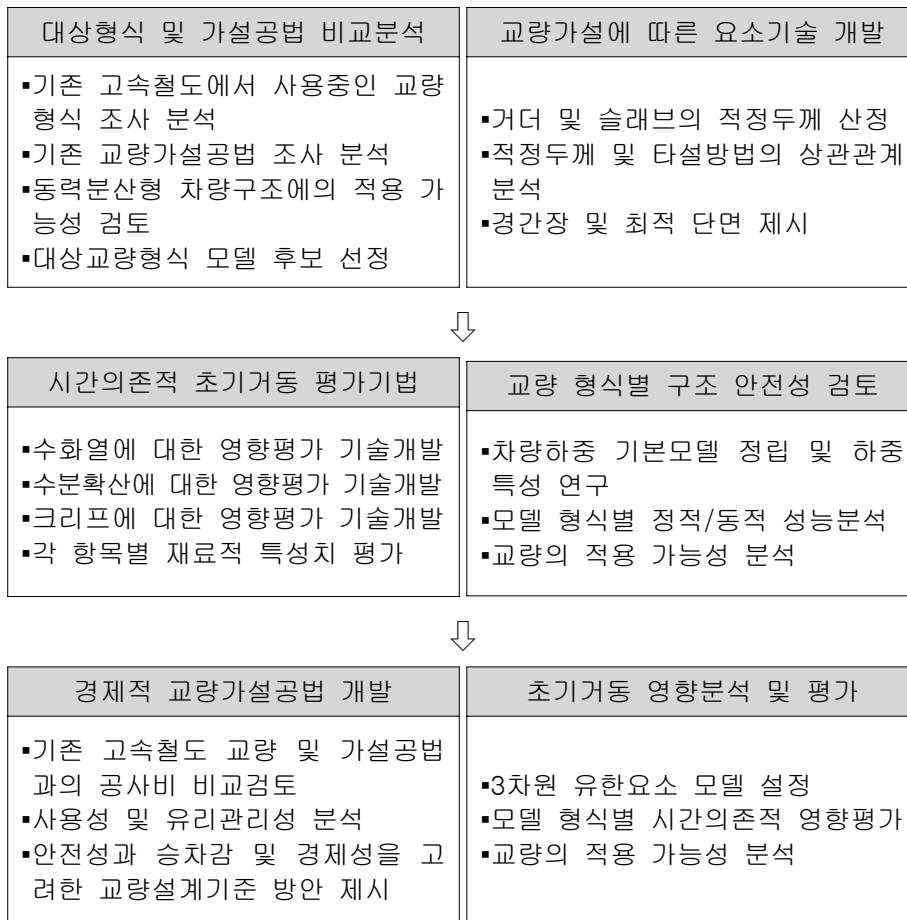


그림 1. 연구진행체계

#### 4. 결 론

차세대 고속철도에 적합한 교량형식의 선정 및 교량구조의 안전성 및 경제성을 고려한 교량 상부 구조물의 설계 및 가설공법이 제시되고, 또한 향후 고강도콘크리트의 활용이 가시화될 것으로 예측됨에 따라 다음과 같은 기대효과 및 활용성이 예견된다.

##### 4.1 기대효과

기술적 측면에서의 기대효과는 다음과 같다.

- 1) 해외의 기술적 조류에 부응하는 교량 기술을 확보하여 선진국과의 기술적 격차를 해소하고 설계 및 시공분야에서의 경쟁력 확보
- 2) 동일한 지간장의 교량에 있어서 형고를 낮출 수 있어 하부 공간상의 제약이 많은 곳에서도 교량을 건설
- 3) 상부구조의 전반적 규모를 줄여서 자중 경감효과를 가져와 지반조건상의 제약이 많은 지역에서 효율적으로 적용
- 4) FCM, ILM 등의 기존 공법을 이용하여 시공하는 경우에도 시공단계에서의 단면력이 설계에 미치는

영향을 최소화

- 5) 상부 구조의 자중 경감에 따라 대블럭 가설, 경간 일괄 가설 등을 비롯한 다양한 공기단축형 시공법의 적용이 가능
- 6) 철도교의 경간장 증대를 기대할 수 있으며 이를 통하여 사용성 및 경제성을 제고
- 7) 고성능 콘크리트를 비롯한 구조적 성능이 우수한 토목재료의 적용성 확대

사회, 경제적 측면에서의 기대효과는 다음과 같다.

- 1) 약 1조원에 이르는 기존 중지간(40m~110m) 교량의 연간 건설비를 물량 감소 및 공기단축을 통하여 5% 이상 절감 가능
- 2) 신형식 및 특수 구조물의 설계와 시공, 그리고 감리를 위하여 반복적으로 해외에 유출되는 기술적 비용을 절감
- 3) 자중 감소를 이용한 시공 단축 효과로 조기 개통에 따른 사회적 기회비용의 획기적 감축
- 4) 향후 해외 공공공사 입찰에서 크게 증대될 것으로 예상되는 Design-Build 방식의 공사 수주를 위하여 요구되는 선진 교량기술의 확보

#### 4.2 활용방안

본 연구의 완료에 따라 동력분산형 고속차량의 운영을 위한 고속철도 노반에 대한 검토에 기초자료로 활용할 수 있으며, 동력분산형 고속차량의 하중에 대한 연구는 추후 보다 면밀한 검토 및 실험을 통해 보완하여 설계기준 작성에 이용할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07 차세대고속철도 A01)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 철도청(현 한국철도공사), "뚝유철도 건설규칙", 2000.
2. 한국철도시설공단, "철도설계기준(철도교편)", 2004.
3. 서울대학교 공학연구소, "고속전철 강합성형 교량의 차량하중 동적해석을 통한 최적 구조시스템의 결정에 관한 연구", 1999.
4. 한국건설기술연구원, "고속전철 구조물 안전성 기술 개발", 2000.
5. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준", 2007.
6. 한국철도기술연구원, "Precom 거더 철도교량 동적성능검증분석에 의한 철도교 적용성 연구", 2005.
7. 과학기술정책연구원, "철도기술 중장기 기본계획", 건설교통부, 2006.
8. 건설교통부, "제1차 철도산업발전기본계획", 2006.