

경부고속철도 광명역사의 구조설계

Structural Design and Construction of Kwangmyeang High Speed Rail Station

전봉수*
Jeon, Bong-Soo

강정호**
Kang, Joung-Ho

ABSTRACT

Great impetus has come from the renewed emphasis on improving public transport in many countries. In Korea, built over 12 years at a cost of \$12 billion and modeled on the TGV of France, the Korea Train Express will open for regular traffic on April 1, 2004. The schematic design of terminal building for Kwang-Myeong station was chosen by the international competition in 1997. Mooyoung Architects and Engineers joined with AREP, French Architect awarded.

1. 건축적 의미 및 개요

광명역사(남서울역사)는 2004년에 개통한 경부고속철도의 여러 신축역사중에서 국제현상설계에 의해 설계안이 선정되어 실시설계와 시공이 완성된 유일한 역사로서 최첨단 여객수송수단인 고속철도를 위한 차세대 역사에 속한다. 건축적 특성은 거대한 스틸과 유리의 집합체로 첨단기술의 강력한 이미지를 제공한다.(그림 1)

초기 프로그래밍 단계에서의 사례조사는 주로 프랑스 고속철도를 중심으로 이루어졌다. 프랑스의 대표적인 떼제베(TGV)역사인 르와시 역이나 릴 역과 비교하여 수송수요가 20배가 되는 대규모의 역사라는 점에서 출발과 도착여객의 동선분리와 그에 따른 시설(매표소, 콘코스, 승강장, 부대시설 등)의 분리 배치가 중요한 사항으로 결정되었다. 매표소와 대기행렬에 따른 통로 폭의 결정은 <역시설기준연구>의 산식에 의한 수치적인 검증뿐만 아니라, 프랑스국영철도(SNCF)의 AREP에서 실물크기 제작 모델을 이용한 모의 실험(mock-up test)을 통하여 결정되었다.



(a) 외 관

(b) 실 내

* (주)전우구조건축사사무소 대표이사, 전 철도학회 이사, 구조기술사

** (주)전우구조건축사사무소 실장, 구조기술사



(c). 야경
그림 1. 광명역사

가. 개요

- 1) 명 칭 : 경부고속철도 광명역사
- 2) 소재지 : 경기도 광명시 일직동 267-2번지 일원
- 3) 주요용도 : 철도역사, 판매 지원 시설
- 4) 건축설계 : (주)무영건축
AREP(프랑스, 국영철도회사의 건축설계회사, 현상설계 및 기술자문)
- 5) 구조 : (주)전우구조 + RFR(프랑스, 현상설계)
- 6) 기계 : 선진설비
- 7) 전기 : 나라기술단
- 8) 소방 : 한국방재
- 9) 조경 : 동심원
- 10) 토목 : 한국철도기술공사
- 11) 학술연구 : 풍압, 소음, 진동, 실내환경, 범죄예방 (연세대학교), 방재 (서울시립대학교)
- 12) 시공자 : 동부건설(주)
- 13) 설계기간 : 1995. 12. - 1999. 06.
- 14) 공사기간 : 1999. 12. - 2004. 03.

나. 건물개요

- 1) 규모
 - 지하2층/ 지상 2층
 - 여객수송 수요(1일 승강인원) : 147,069명(2028년 기준예측)
 - 승강장 플랫폼 수 : 출발 2개선/ 도착 2개선/ 예비 2개선/ 통과 2개선
 - 보도교 : 1층 1개/ 지하1층 5개
 - 역사 건물 폭 x 길이 : 143.5m x 297m
 - 승강장 폭 x 길이 : 86.1m x 450m
 - 승강장에서 지붕까지 높이 : 46.7m
 - 콘코스 부분 폭 x 길이 : 31.5m x 297m
 - 콘코스 부분 높이 : 10.05m
- 2) 형식
 - 지붕 및 지지구조 : 철골 트러스 + 철골조
 - 하부 구조 : 철골 + 철근콘크리트조, 매트기초
 - 신축 이음 : 동서방향 4개소/ 남북방향 2개소

다. 설비 및 마감개요

- 1) 기계설비 : 흡수식 냉온수 유니트, 온수보일러

- 2) 전기설비 : 전력수전 - 22.9kw , 변전실 - TIEACB(NO)
- 3) 외 장 재 : 강화유리, 복층유리, 스테인레스 스틸(지붕)

2. 구조설계

풍압연구를 통해서 외부의 바람의 영향과 열차풍이 구조체에 미치는 영향을 검토하였으며, 눈에 의한 적설실험, 열차소음, 통과열차의 진동에 의한 구조적 문제, 실내기류에 의한 환경변화, 범죄 예방적 측면에서의 계획적 방지대책 등이 이루어졌으며, 설계시의 기준과 검증자료로 적용되었다. 방재와 화재 시뮬레이션에 대한 연구는 이러한 대규모 공간이나 건축물의 경우 국내의 관련법 적용이 어려운 관계로 특히 중요하였다. 국내에 기준이 없거나 미흡한 경우는 선진국의 방재기준을 적용하였는데, 국내 규정보다 강화된 미국 NFPA Code를 준용하여 설계에 적용함으로써 가장 중요한 문제인 인명안전과 건물보호를 위한 대비에 철저를 기하였다.

2.1 설계하중

가. 주요설계하중

활하중	지붕		100 kgf/m ²
	여객시설	출입홀	600 kgf/m ²
		여객통로	600 kgf/m ²
		콘코스	600 kgf/m ²
적설하중	$S = P \cdot Z_s \cdot C_s$: (적설 50cm 기준)		
풍하중	$P = C \cdot q \cdot A$: (설계기본풍속 35m/sec, 노풍도 B)		
지진하중	$V = \frac{A \cdot I \cdot C \cdot S}{R} \cdot W$: $A = 0.12$ (지진구역2), $I = 1.5$, $S = 1.5$: $R =$ 지붕 및 지지구조(6.0), 보도교(2.0), 하부구조(4.5)		
온도하중	지붕	최저온도: -15°C/ 최고온도: +30°C	
	파사드	최저온도: -15°C/ 최고온도: +30°C	
	보도교	최저온도: -15°C/ 최고온도: +15°C	
	래티스기둥	최저온도: -15°C/ 최고온도: +15°C	

나. 풍동실험

광명역사건물의 1/400 축소모형에 대한 최근 50년간의 기상자료를 바탕으로 최고, 평균, 최빈풍속을 기준으로 풍동실험을 통하여 풍압을 측정하여 수치해석 결과를 비교하였다.

· 역사내 터널이 받는 풍하중 : $P = \frac{1}{2} \rho V^2 C_p$

C_p	350 km/h	275 km/h	240 km/h
0.25	145.1 kgf/m ²	89.6 kgf/m ²	68.2 kgf/m ²

다. 진동평가

고속열차의 통과시 진동 등은 별도의 학술연구조사에 의한 결과, 역사구조의 승강장에서 고속철도 주행열차의 통과로 발생하는 진동량은 ISO 국제허용진동기준을 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 지붕트러스는 수치해석결과 1차 고유진동수가 수평방향은 1.33Hz, 수직방향은 2.16Hz로 낮은 대역의 진동수 특성을 갖는 것으로 나타나, 고속철도의 주행속도가 클수록 높은 진동수의 가진력 특성이 존재할 것이므로 공진범위는 크지 않을 것으로 판단하였다.

또한 보도교의 수평방향 1차 고유진동수는 단변방향(Z방향)의 횡진동모드로서 0.48Hz으로 나타났으며, 수직방향에 대한 1차 고유진동수는 3.42Hz로 나타났다. 수직방향에서 참여계수의 합이 10

차 고유진동수까지 74.63%를 차지함으로써 저차진동수 성분의 기여도가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 보도교의 동적 특성은 열차가진력과 공진측면에서 바람직한 것으로 판단되었다. 또한 수직방향의 1차 고유진동수가 3.42Hz로 나타났기 때문에 1차 가진동수인 2Hz인 보행하중과의 공진측면에서도 바람직한 것으로 나타났다.

그 밖에 고속열차의 주행속도가 250km/h 이상시 열차 1대의 통과로 발생하는 진동은 순간적으로 감쇠가 이루어지므로 충격진동으로 볼 수 있으나, 일일 통과열차가 200대 이상인 점을 고려할 때 주행열차로 인한 진동은 열차운행시간 동안 상시진동으로 고려하고 이러한 상시진동이 매트기초에서 지반으로 전달되므로 진동을 저감시키기 위해서는 매트기초의 두께와 신축이동줄눈의 적절한 배치로 제진하는 것이 적절한 방법이라고 판단하였다.

2.2 구조개요

가. 지붕트러스구조

1) 3점 아치의 비렌달 트러스 지붕

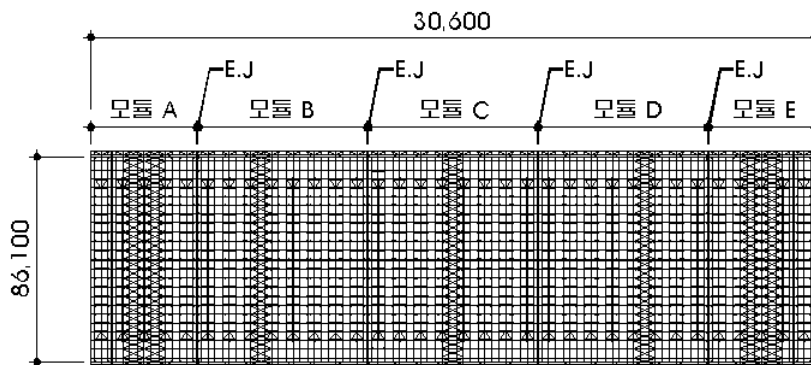
건축계획시 전통건축의 처마와 여인의 버선곡선을 형상화하여 전체적으로 부드러운 곡선을 갖게 된 지붕은 포물선형의 중앙지붕과 동서간 양측에서 포물선이 흐르다 솟는 듯한 양측 지붕구조로 구성된다(그림 2).

중앙 지붕구조는 경간 86.1m, 높이 2.9m의 대공간구조로 2중 포물선형 3점힌지 아치형의 각형강관 비렌달트러스와 이를 연결하는 중도리 및 타이트러스로 되어 있다. 지붕의 남북간 길이는 306m로 5개의 모듈 단위를 신축이음점 내진이격으로 분리하여, 양측 타이트러스를 캔틸레버 형식으로 모듈간 상호 근접하였다. 이 아치형구조는 수직방향의 등분포하중시 상하의 현재는 압축력을 받고, 비등분포하중시의 휨모멘트는 트러스의 높이에 의해 안정성을 갖는다. 그리고 수평하중시는 중도리와 지붕상부면내의 가새가 함께 저항한다. 중도리는 트러스 상현재에 전단접합을 하여 시공성 및 유지관리에 유리하다. 아치트러스의 상현재는 지붕면에 설치된 중도리의 간격이 좌굴길이가 되어 효율적이고 하현재는 남/북방향의 타이트러스로 인해 횡좌굴을 방지한다.

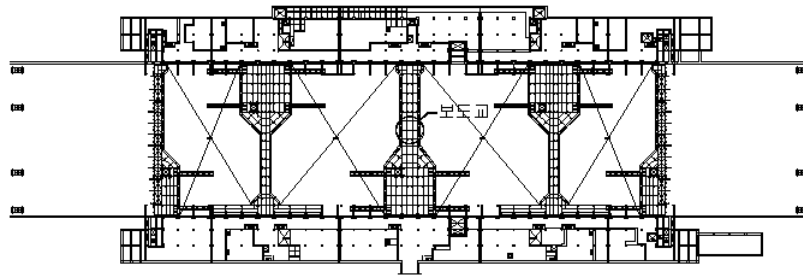
동서간 양측의 지붕은 건축적인 곡선에 맞추고 중앙지붕과 유사한 비렌달 트러스로 하였다. 이 트러스는 하부의 래티스기둥으로 지지되고, 인접한 캔틸레버지붕은 외측 기둥에 지지된다. 횡하중 작용시 트러스 상현재는 지붕면에 위치하는 가새군으로 지지되며, 하현재는 남/북방향으로 횡방향 버팀대를 설치하여 횡하중에 저항하도록 하였다.(그림 3)

표 1. 중앙, 양측면지붕의 부재일람표

구 분	상,하현재	수직재
부 재	□-300×300×14	□-300×300×12



(a) 중앙 지붕



(b) 지하1층 보도교 구조평면도

그림 2. 각층 평면도

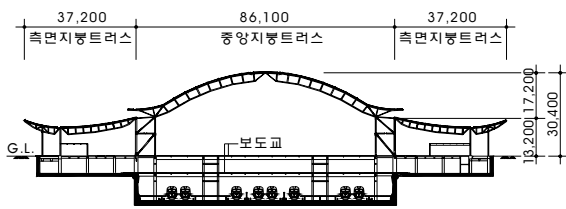


그림 3. 단면도

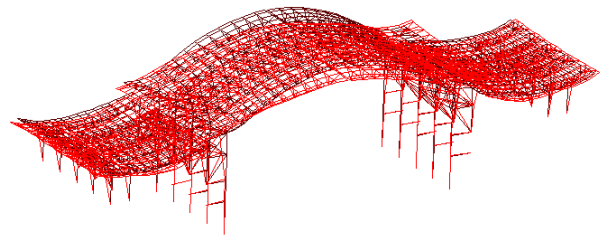


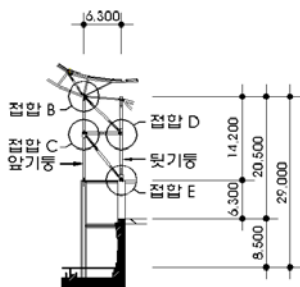
그림 4. 지붕구조의 해석모델

2) 래티스 기둥

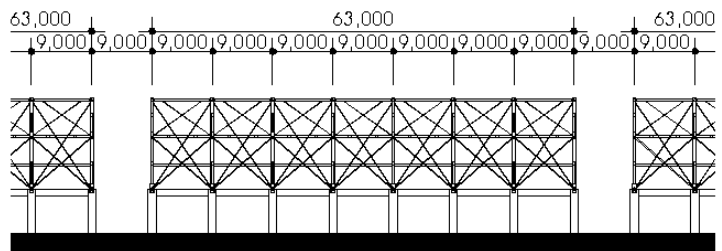
지붕구조를 지지하고 있는 래티스 기둥은 수직부재와 대각가새부재로 구성되어 중앙 아치트러스의 지지단 및 측면지붕의 수직하중을 전달하며, 중앙지붕 트러스로 인해 수평하중과 휨모멘트가 생긴다. 이 휨모멘트로 인해 기둥에 압축력 및 인장력이 생기고 뒷기둥은 큰 압축력을 받는다. 하부의 대각부재가 압축력을 받으면 상부대각부재는 인장력을 받게 된다. 부압이 작용하는 경우 구조부재의 하중흐름은 반대가 된다(그림 4).

표 2. 래티스기둥의 부재일람표

구 분	앞기둥	뒷기둥	대각부재
부 재	Ø-355.6×9	Ø-457.2×12	□-300×300×12



(a) 단면



(b) 외측 입면

그림 5. 래티스 기둥

3) 로드바의 수직 브레이싱

래티스 기둥의 측면에 형성하고 있는 로드바의 수직 브레이싱은 신축이음으로 분리된 모듈에 하나의 다이아프램을 형성시켜 거동하게 하고 있다. 로드바는 인장강도 610Mpa, 항복강도 460Mpa 등의 재료성질을 지니고 있다.

나. 철근콘크리트조 초대형 바닥 및 기초

바닥면적 22,600m²의 지하 1층 바닥은 철근콘크리트조로 슬래브는 사용하중, 진동 및 소음 등에 적절하도록 두께 200mm으로 하였으며, 보의 춤은 건축계획상 900mm로 제한되어있어 하중 및 응력조건에 따라 보의 폭을 300-600mm로 하였다.

297.0m × 142.5m의 초대형 구조물로 온도 및 건조수축으로 인한 콘크리트 균열과 지진하중 등에 건물의 변형을 방지하고, 구조물의 안전성을 확보하기 위하여 신축 및 이동줄눈을 설치하였다. 남/북방향으로 지하2층에 신축이음을 설치하여 본 건물과 선로부분을 분리함으로써 열차통과로 인하여 본 건물에 전해지는 진동을 최소화하도록 하였다.

역사의 기초하부(EL+116.61m)는 대부분 퇴적토층과 풍화산류토층에 놓이게되어 지지층으로 부적절하여 말뚝기초형식을 택하였다. 역사의 중요성과 전동차 운행에 따른 지반진동의 영향을 고려하여 두께 3m의 매트기초 형식을 택하였다. 이 부분의 설계는 상부구조 설계사와 긴밀한 협의에 의해 토목구조설계회사에서 진행하였다.

다. 보도교

역사내 혼잡을 덜고 여객의 신속한 이동이 가능하도록 지하2층 바닥의 플랫폼을 가로질러 지하 1층 동·서측에 위치한 콘코스를 서로 연결하는 5개의 보도교는 중간 기둥에 의해 지지되고 있다.

주 구조형식은 춤 1.5m의 용접구조용 H형 강재를 동/서방향의 토목옹벽에 접합하고, 그 사이에 작은 보를 전단접합하였다. H형강 상부에는 전단연결재와 두께 15cm의 철근 콘크리트 슬래브를 타설한 합성바닥판 구조형식을 형성하여, 수평하중에 대한 다이아프램 작용을 하도록 하였다. 이러한 H형강을 사용한 보도교 구조는 토목옹벽 및 중간기둥들에 의하여 지지되며, 최대 기둥간 거리는 31.5m이다.

건축계획상 역사내부에 설치되는 보도교는 모두 5개로 형상 및 폭에 따라 3종류로 구분하였으며, Type-A, B 보도교는 여객통로로 사용되고, Type-C 보도교는 여객통로 및 남/북측에 위치한 파사드 트러스를 지지한다.

2.3 접합부 설계

가. 각관의 이음 및 볼트이음

각관의 이음은 공장용접에 의하였고, 중앙지붕의 크라운은 덧철판, 고력볼트 및 로드판에 의한 현장접합으로 시공의 편의와 충분한 응력을 갖도록 하였다.(그림 5)

나. 주강재 접합부

래티스 기둥의 수직부재와 대각가새부재를 비롯한 파사드 트러스의 접합부에서는 여러 부재들이 한 곳에 집중되어 접합부 설계에 어려움이 있었다. 접합부의 미적 형상을 위해 건축설계팀의 지원하에 주강재(cast steel)의 접합으로 설계를 진행하면서 경제성 및 제작성능에 관해 많은 검토를 하였다. 주강재 접합은 모두 22종에 이른다.(그림 6) 한계인장강도 470Mpa, 신장률 30% 등의 성능을 갖는 주강제작하도록 하였다.

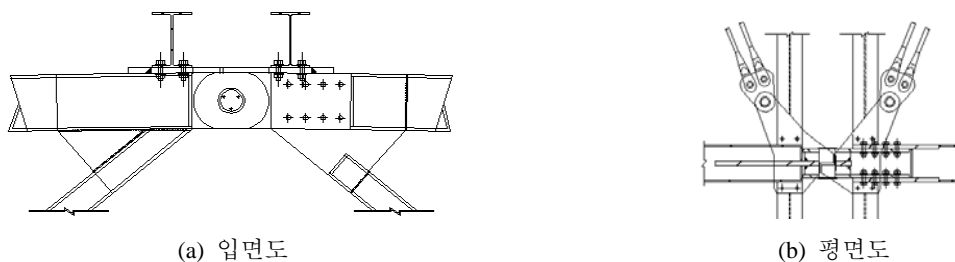


그림 6. 중앙지붕 트러스의 크라운 접합부 (접합 A)



래티스기둥 접합 B



래티스기둥 접합 C



래티스기둥 접합 D



래티스기둥 접합 E



래티스기둥 접합 F



트러스 접합

그림 7. 주강제작 접합부

2.4 파사드 트러스 외벽

고속전철의 진출입구가 되는 남북 양단에 위치한 폭 86.1m, 높이 36.7m의 커튼월은 후면의 원형 강관의 파사드 트러스구조로 지지되어 있으며, 응력의 균등한 분배를 위해 수평 X-브레이스를 3열 배치하였다. 연직하중은 트러스 상/하현재를 통하여 지하1층에 위치한 Type-C 보도교 상단에 지지되며, 수평하중은 지붕구조 및 Type-C 보도교에 분할하여 지지하도록 한다.(그림 7,8)

표 3. 남북 파사드 트러스의 부재일람표

구 분	내,외측 기둥	수평재	수평X-가새
부 재	Ø-168×12	H-194×150×6×9	Ø22 로드바



그림 8. 정 면 (남북외벽)

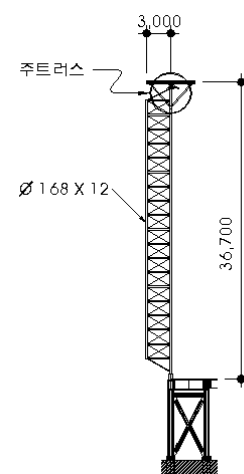


그림 9. 파사드트러스 외벽단면도

2.5 시공사진

현장에서의 시공상황을 살펴보면 그림 9와 같다.



(a) 2000년 6월



(b) 2001년 1월



(c) 2001년 9월



(d) 2002년 2월



(c) 2002년 7월



(d) 2003년 6월

그림 10. 광명역사의 시공중 사진

3. 맺으며

광명역사는 1997년의 IMF 경제위기시 설계의 일시적 중단, 규모조정 등의 곡절이 있었음에도 국제 현상설계 당시의 아이디어를 살린 실시 설계와 시공을 할 수 있었다. 접합부를 주강계로 사용함에 있어 시공성 및 경제성에 대해 많은 논란이 있었음에도 당초의 계획대로 설계하여 시공에 반영할 수 있었음에 구조엔지니어로서 보람을 갖는다. 다만, 이러한 국책사업에 공사기간 중 구조 설계자가 계속적으로 참여할 수 있는 기회가 제도적으로 봉쇄되어 있어 시공 감리에 직접적으로 참여하지 못한 것은 유감스러운 일이었다. 앞으로 시급히 개선되어야 할 건설 산업의 문제점 중의 하나이다.

이 고속철도 역사는 규모, 광활한 내부공간, 각종동선의 유연한 순환 및 구조물의 신선함 등이 경부고속철도의 중추역으로서 그 위용을 자랑할 수 있을 것으로 기대한다.