

# 경사행거아치철도교의 계획과 설계

## Plan and Design of Fan-Type Arch Railway Bridge

이충표\*      김중오\*\*      이훈희\*\*\*      이강진\*\*\*\*  
Lee, Chung-Pyo · Kim, Jong-Oh · Lee, Hoon-Hee · Lee, Kang-Jin

### ABSTRACT

Railway bridge type has been mainly selected by a intersection of roads and rivers, and economy. Now a days, it is required that the bridge type is considered a harmony with circumstances, a beauty and an expression of symbol of regions because of the enlargement of bridge structures and the advance of people's consciousness level. So it is adopted arch bridge with fan type hanger for a outer beautiful sight and a symbol of development of regions as 80m intersection bridge of railway and former national road at pal hung bridge in jolla line lot 1. It is performed that an examination, a consultation, a design of member sections and a detail analysis of joint parts according to the basic design. It is also performed a dynamic analysis with design loads and train loads reflection on railway bridge characteristics and examined a safety and a propriety of design compare with a fatigue design and design rules.

### 1. 개요

과거 철도교에서는 차량중량이 크므로 경간장을 최소화하여 횡단기능 위주로 강판형교, PSC빔 교 형식을 주로 적용하였으나, 최근 고속철도에서는 선진기술도입과 시공 및 설계기술의 발전으로 PSC Box, 소수주형 판형교 등의 중경간 교량 형식으로 건설되고 있다. 그러나, 본 설계시공일괄입찰(Tum-Key)방식으로 발주된 전라선 철도개량건설공사(성산~신풍)에서의 대립산업과 삼보기술단, 한국철도기술공사 콘소시엄은 과거 안전성, 기능성, 경제성 위주의 교량형식 선정에서 탈피하여 기존전라선과 국도 횡단구간에 교량미관과 지역산업발전 상징성, 기술독창성을 고려하여 경사행거아치형식을 철도교에 도입하여 개통후 횡단통과 기능외에 아름다운 상징 조형물이 될 수 있는 교량형식을 선정하였다.

### 2. 교량계획

#### 2.1 가설위치 현황

본교량 가설위치는 순천시와 여수시 경계에 위치하고 산지계곡부의 기존전라선과 장래확장 계획인 국도17호선을 횡단하여 가설되며, 또한 울촌국가산업단지, 해룡지방산업단지 진입부와 인접하고 국도에서 조망과 시인성이 양호한 지역이다. 따라서 해양도시 여수의 관문성과 발전하는 산

\* (주)삼보기술단 상무  
\*\* 대립산업(주) 부장, 정회원  
\*\*\* (주)삼보기술단 대리  
\*\*\*\* (주)삼보기술단 부사장, 정회원

업단지의 상징성을 교량형식 선정의 주안점으로 두고 경관적인 미관 설계를 적극적으로 도입하였다. 교량계획은 장래국도확장계획, 공사중 교통처리, 가설순서 등의 제약적인 요소를 해소하는 장경간과 이에 따른 구조형식이 필요하다.

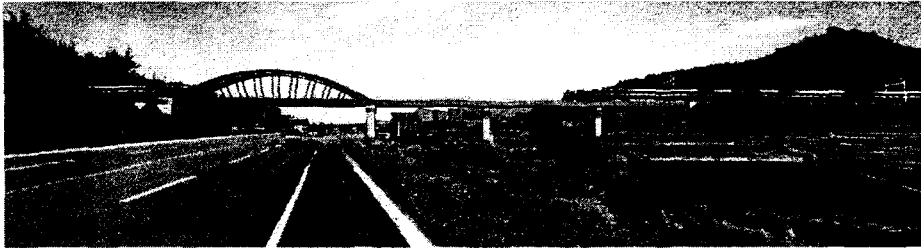


그림 1. 발흥교 조감도

## 2.2 상부형식 선정

### (1) 경관적인 고려사항

- 가) 산업발전의 이미지를 표현하는 상징성과 조형물적인 형식계획
- 나) 해양도시인 여수시 관문을 인지할 수 있는 특징있는 구조물 계획
- 다) 외적미관이 양호하고 구조물에 위압되지 않는 친근감이 있는 구조형식

### (2) 구조적인 형식 선정

- 가) 기존철도 및 국도 횡단에 따른 장경간(80m)과 형하공간을 확보하고 철도교에 구조적으로 적용가능한 형식 필요
- 나) 유사교량 시공사례 조사 및 분석으로 합리적인 형상 도출과 경제성, 시공성, 사용성이 검증된 하로아치교 계획
- 다) 미관적인 면과 지역산업발전의 상징으로 떠오르는 태양 형상의 경사형 행거(FAN형)형식 선정

### (3) 교량 계획 현황

도표 0. 교량 계획 현황

교량명	발흥교 (가칭)	위치	전라남도 순천시 해룡면
설계하중	LS-22	설계속도	150Km/hr (2급선)
횡단구조	B : 13.20m (복선)	바닥판	콘크리트 슬라브 자갈도상
구조형식	본교 : 경사 행거형 로제 아치교 (L=80.0m)		
및 연장	접속교 : 3경간 연속 강합성교 (3@35.0=105.0m)		
기초형식	직접 확대기초 (연암)		

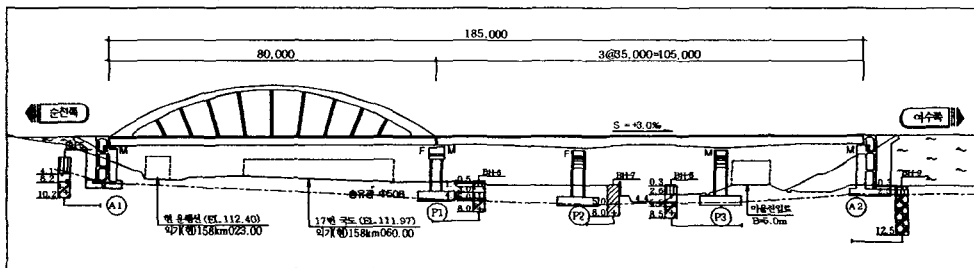


그림 2. 발흥교 종단면도

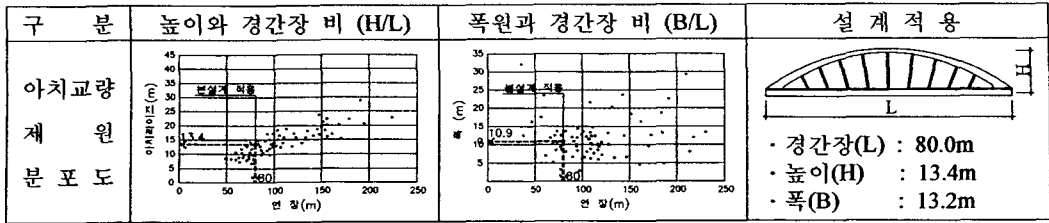
## 2.3 구조 형식 검토

상부구조형식에서 선정된 경사행거형 아치교의 적용성 검토를 위하여 구조해석으로 단면력 및 처짐현상, 고유진동수 등을 비교하였으며, 또한 유사교량에 대한 시공사례분석으로 합리적인 단면 및 형상을 계획하였다.

**(1) 기존 아치교량 사례 분석**

우리나라를 비롯한 세계적으로 시공된 아치교량의 형상을 조사·분석하여 합리적인 형상 선정과 경제성, 시공성, 사용성을 검증하였다.

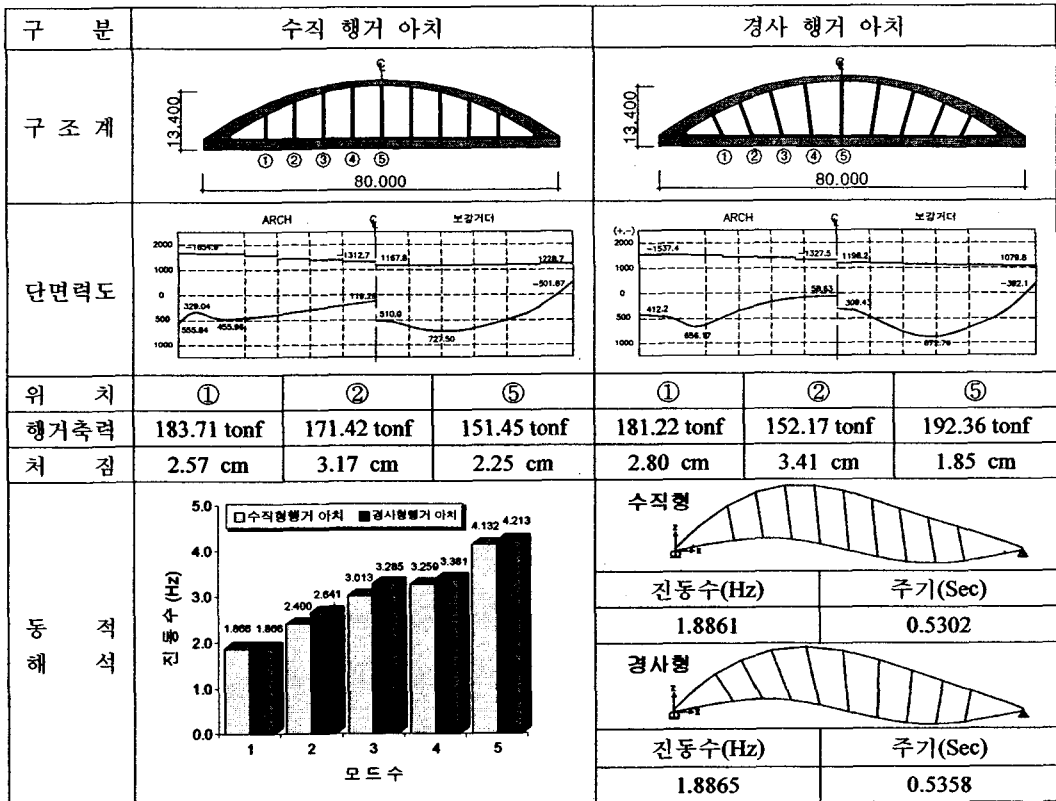
도표 1. 아치형교량 제원 분포도



**(2) 행거형상별 구조특성 비교분석**

아치교의 구조형상에 따라 범용해석 프로그램인 SAP-2000을 사용하여 격자해석으로 각부재의 축력, 휨모멘트, 처짐량, 진동모드에 따른 진동수 등을 비교·분석하였다.

도표 2. 행거형상에 대한 구조검토



**(3) 비교 분석 결과**

가) 아치리브의 휨모멘트는 응력집중부인 아치리브와 보강거더의 교차부에서 경사행거형, 수직행거형 각각 414.2tonf·m, 555.8tonf·m로서 경사행거아치가 약 74%정도로 작으며, 최대휨모멘트에서는 경사행거아치가 656.2tonf·m로 수직행거아치의 경우보다 18%정도 증가하였다. 경사행거형은 최대축력이 수직행거형의 90%정도이며 단부와 중앙부의 축력 변화가 적다.

- 나) 보강거더 휨모멘트는 경사행거아치의 경우 656.2tonf·m로 수직행거아치의 약 120%이며, 축력은 경사행거아치의 경우 중앙에서 최대 1198.2tonf이고 단부측으로 작아지며, 수직행거아치의 경우는 단부부에서 최대 1228.7tonf이며 중앙부로 작아진다. 축력 크기는 유사하고 증가되는 방향이 반대이다.
- 다) 행거의 최대축력은 경사행거아치에서는 중앙부재 ⑤에서 192.36tonf로 최대이며, 수직행거아치는 단부부재 ①에서 183.71tonf 으로서 경사형이 수직형의 105%정도이고, 행거형상에 따라 최대축력 발생위치가 다르다.
- 라) 보강거더의 처짐은 경사행거아치의 경우 3.41cm로 수직행거아치의 3.17cm의 108%정도이며 두 경우 모두 행거부재 ②의 위치에서 최대처짐이 발생한다.

### 3. 구조해석 및 상세설계

#### 3.1 아치 및 보강형 설계

본교량은 바닥판 하중이 주거더인 아치리브, 보강거더, 행거부재로 하중이 전달되는 구조이며 범용구조해석프로그램인 SAP-2000을 사용하여 3차원 입체 프레임으로 해석을 수행하고 철도교설계기준의 하중조합시 최대단면력으로 부재단면을 설계하고 처짐과 피로검토로 공용중 사용성과 안전성을 검토하였다.

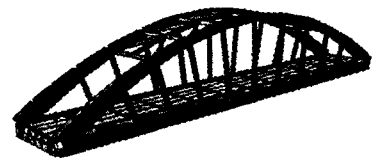


그림 13. 해석모델링

도표 3. 단면력 및 응력검토

휨모멘트도			축력도		
구분	아치리브	보강형	가로보	세로보	행거
단면					
강종	SM 490B	SM 490B	SM 490B	SM 490B	SM 490B
작용력	M + N	M + N	M	M	N
발생응력	1,446.3 kgf/cm <sup>2</sup>	1,474.0 kgf/cm <sup>2</sup>	1,350.9 kgf/cm <sup>2</sup>	1,255.9 kgf/cm <sup>2</sup>	1,247.7 kgf/cm <sup>2</sup>
허용응력	1,900.0 kgf/cm <sup>2</sup>	1,900.0 kgf/cm <sup>2</sup>	1,787.9 kgf/cm <sup>2</sup>	1,900.0 kgf/cm <sup>2</sup>	1,900.0 kgf/cm <sup>2</sup>
결과	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

#### 3.2 구조안전성 및 상세해석

철도교에서 경사행거아치교 구조형식은 국내에서 처음 적용하므로 본설계에서는 철도교설계기준의 부재설계, 내진설계 및 피로설계의에 구조물 안정성 검토를 위한 상세해석을 수행하였으며, 또한 전체계에 대한 면외좌굴의 안전성과 응력집중부인 아치리브와 보강거더 연결부에 FEM해석으로 응력분포상태에 따라 보강재의 부착위치 및 설치방향을 설계에 반영하였다

도표 4. 전체계해석에 의한 면외좌굴검토



구분	Mode 1	Mode 2	검토 결과
좌굴형상			· 작용축력 : 1,553 tonf · 좌굴축력 : Pcr/2=29,806/2=14,903 tonf > P=1,553tonf ∴ O.K
좌굴하중	Pcr = 29,806 tonf	Pcr = 43,344 tonf	

도표 5. 아치리브와 보강거더 연결부 응력검토


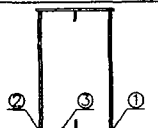
주 응 력 도	응 력 검 토 (kgf/cm <sup>2</sup> )				설 계 반 영
	구 분	플랜지	웹	리브	
	발생응력	857.3	1,107.1	1,137.9	· 주응력 분포에 따른 수직, 수평보강재설치 · 응력집중이 큰 우각부 내측면에 곡선삽입, 단면 · 중심교차각 최대화
	허용응력	1,900.0	1,900.0	1,900.0	
	검 토	O.K	O.K	O.K	

도표 6. 피로 응력 검토

부재 단면	용접연결부위치	응력 범주	피로 응 력		검 토 내 용
			허용응력	설계응력	
	① 플랜지-웹	B	1120	866.0	· LS-22하중 재하시 200만회 · 플랜지 맞댐연결부중 최대응력부위 응력검토
	② 다이아프램	C	910	866.0	
	③ 플랜지-플랜지	C	910	866.0	

### 3.3 염해 및 대기환경 내구성 설계

가설위치의 지역적인 특징인 염해 및 아황산가스의 지역환경에 대한 강제 및 콘크리트 구조물의 내구성 설계를 현장 기존구조물의 조사 및 실내실험분석으로 강교도장, 콘크리트 피막도장 등 환경내구성을 고려한 설계를 수행하였다.



그림 25. 내구성 설계절차

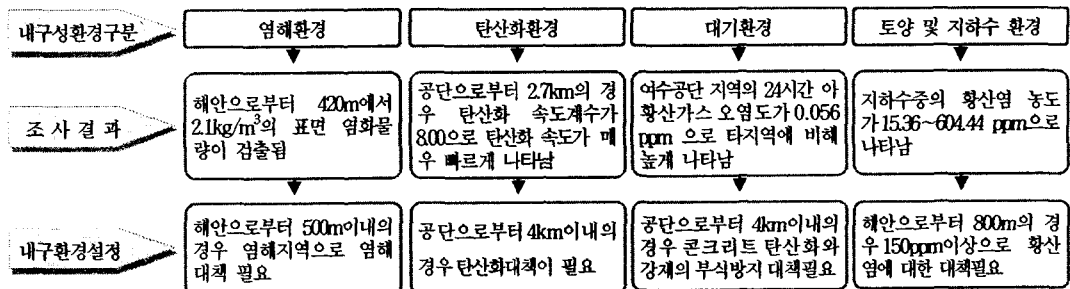


그림 5. 내구성 조사 및 증진방안

## 4. 철도교 특성을 고려한 동적해석

### 4.1 진동해석

본교는 장경간의 강아치교량으로 열차통과시 발생하는 동적거동에 대하여 교량 단부의 꺾임각, 먼들림, 처짐, 동적증가계수(DMF)를 수치해석으로 평가하고 설계기준과 비교하여 안전성을 확인하

였다. 수치해석방법은 3차원 구조모델링과 차량주행속도를 변화 적용시킬 수 있는 진동해석 프로그램인 DAP-1(Dynamic Analysis Program)을 사용하였으며 열차주행속도는 40km/hr~250km/hr로 변화시켰으며, 감쇄비는 강재구조로서 1%와 2%로 적용하였다.

도표 7. 진동해석에 대한 각 항목별 검토결과

구분	단부꺾임각(Rad)	중앙부 면틀림(mm)	주행 속도 별 처짐(mm)	
이력곡선				
결과치	$0.16 \times 10^{-3}$	1.4	처짐 : 21.61	충격계수 : 1.022
설계기준	$6.5 \times 10^{-3} \sim 10.0 \times 10^{-3}$	3.0	처짐 : $L/1000 = 80$	충격계수 : 1.285
비고	설계속도 150km/hr의 주행하중일 때이며 철도교설계기준과 UIC기준 적용			

#### 4.2 피로해석

강구조물의 피로는 작용하중에 의해 발생하는 응력범위 및 응력반복회수가 지배요인이므로 장래 열차의 교통량과 차중구성비 등의 공용하중에 기초한 변동응력해석으로 피로안전성을 검토하였다. 변동응력해석은 공용하중에 대한 응력이력곡선을 작성하고 RCM(Rainflow Counting Method)의 등가응력범위와 설계기준을 비교하여 안전성을 검토하였으며 최대응력부위인 경간중앙의 보강거더와 행거연결부에 대해서 피로를 검토하였다.

도표 8. 피로안전성 검토결과

축응력에 대한 영향면	등가응력 히스토그램	교통량(2030년) 회/일
		여객 : 41 소화물 : 2 일반화물 : 55 컨테이너 : 4 계 : 102
변동 응력 피로 검토	등가응력범위 : 7.5 Mpa, 허용변동 진폭응력 : 29 Mpa	
공칭 응력 피로 검토	공칭응력 : 39.3 Mpa, 허용일정 진폭응력 : 62 Mpa	

#### 5. 결론

본보고서는 철도교에 처음으로 경사형(FAN-TYPE)행거아치교의 형식을 미관 및 상징성 측면에서 선정하고 이에 따른 구조적인 검토로 안전성을 검증하였으며 설계내용 및 구조적인 특성, 상세설계 등을 간략하게 기술하였다.

일반적으로 철도교량은 기능성과 시공성, 안전성을 위주로 형식을 선정하는 기존 고정관념을 탈피하여 본 설계시공일괄입찰에서는 본래기능 외에 미관 및 상징적 요소를 교량형식 선정에 도입하였다.

- 국내철도교에서 장대교량형식은 주로 트러스교를 사용하였으나 최근 경춘선 복선공사의 구운교, 경부고속철도의 고속도로 횡단 모암교에서 수직형행거 아치교를 적용하였으며 본설계에서는 미관측면을 고려하여 행거형상에 국내처음으로 경사형을 선정하였다.
- 경사형행거 선정에 따른 구조검토로 부재단면의 설계와 안전성을 검토하였으며 철도하중 특성을 고려하여 설계하중 및 차량하중, 주행시 진동영향에 의한 단부꺾임각, 바닥판면틀림, 처짐동적증가계수(DMF) 등을 설계기준과 비교, 안전성을 확인하였다. 또한 강교로서 용접부에 대한 공용하중으로 피로안전성을 검토하였다.
- 앞으로 철도교량 계획시의 형식선정에서 기능뿐만 아니라 미관과 상징성이 요구되는 방향으로 교량설계 시공발전에 조금이라도 도움이 되었으면 한다.