

호남고속철도 4-2공구 교량 계획 및 설계

Planning and Design of Honam High-Speed Railroad's Bridges

배민혁† 우동인* 조 현** 안광수*** 한녹희****
 Min-Hyuk Bae Dong-In Woo Hyun Cho Kwang-Su Ahn Nock-Hee Han

ABSTRACT

In 2004, Korea has become the world's fifth-express train states, Honam high-speed railroad which goes down another line with existing Kyoungbu high-speed railroad is divided 19 construction sectors, its total length is 230.9 km and it will be constructed by 2017. This site is located in Jeollabukdo Jeong-eup district along 9.38 km. There are three representative bridges. ;One is the PSC box girder bridge, another is the Extradosed bridge, and the other is the three continuous spans half-through hybrid arch bridge. This paper shows a planning and design of these bridges.

1. 서론

2004년 세계에서 다섯 번째로 고속철도 보유국이 되어 철도의 중흥기를 맞이한 대한민국에 경부고속철도와 더불어 또 하나의 축을 그리는 호남고속철도가 건설되며 총연장은 230.9 km로, 충청북도 청원군 오송에서 전라남도 목포를 잇는다. 본 철도가 완공되면 서울~목포가 현재 3시간 11분에서 1시간 46분으로 1시간 25분이 단축되어 기존에 경부축에 국한되었던 반나절 생활권이 전국으로 확대됨과 동시에 지역의 균형발전과 성장동력 확보에 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 당사가 참여한 호남고속철도 4-2공구는 전라북도 정읍시 정우면 대산리에서 정읍시 농소면 일원까지의 9.38km 구간이며, 그 중 교량구간은 한교천교와 지방도701호선을 횡단하는 한교천교와 호남고속도로를 횡단하는 장경간 교량인 정읍고가교를 포함하며 총 교량개수 6개 3.68km구간이다. 본고에서는 당사가 참여하고 수주한 4-2공구의 교량의 계획과 설계에 대해서 소개하고자 한다.

2. 교량 계획 현황



그림 1. 교량 계획 현황도

† 비회원, 쌍용건설(주), 토목기술부, 대리
 E-mail : widedream@ssyenc.com
 TEL : (02)3433-7763 FAX : (02)3433-7789
 * 비회원, 쌍용건설(주), 토목기술부, 부장
 ** 비회원, 쌍용건설(주), 토목사업본부, 상무
 *** 비회원, (주)동호, 부사장
 ****정회원, (주)효명ECS, 대표이사

원안설계에서의 교량은 전체 2,760m(8개소)로 계획되었고, 표준구간은 경간장 40m의 PSC BOX교를 채택하였으며, 장경간이 필요한 한교천교 구간은 소수주형 + 단경간하로강아치교(L=65m), 호남고속도로를 횡단하는 정읍고가 구간은 단경간 하로강아치교(L=90m)로 그림1.과 같이 설계되었다.

3. 교량 계획 및 설계

3.1 설계 고려사항

고속주행을 위해서는 높은 궤도강도와 운행중의 쾌적한 승차감 확보, 소음·진동 및 궤도파괴 최소화 등 선로의 성능향상이 요구되며, 이를 위해 전구간에 걸쳐 레일간 신축이음기 없는 장대레일화가 필수적이라 할 수 있다. 입찰안내서에서도 부득이한 경우에만 레일신축이음장치(Rail Expansion Joint: R.E.J, 이하 R.E.J)의 설치를 허용하고 있다. 또한, 호남고속도로의 장래확장계획을 수용할 수 있는 장시간 교량형식, 주변의 민가와 축사에 피해를 최소화 할 수 있는 계획, 하천관련법규 준수 등을 요구하였다.

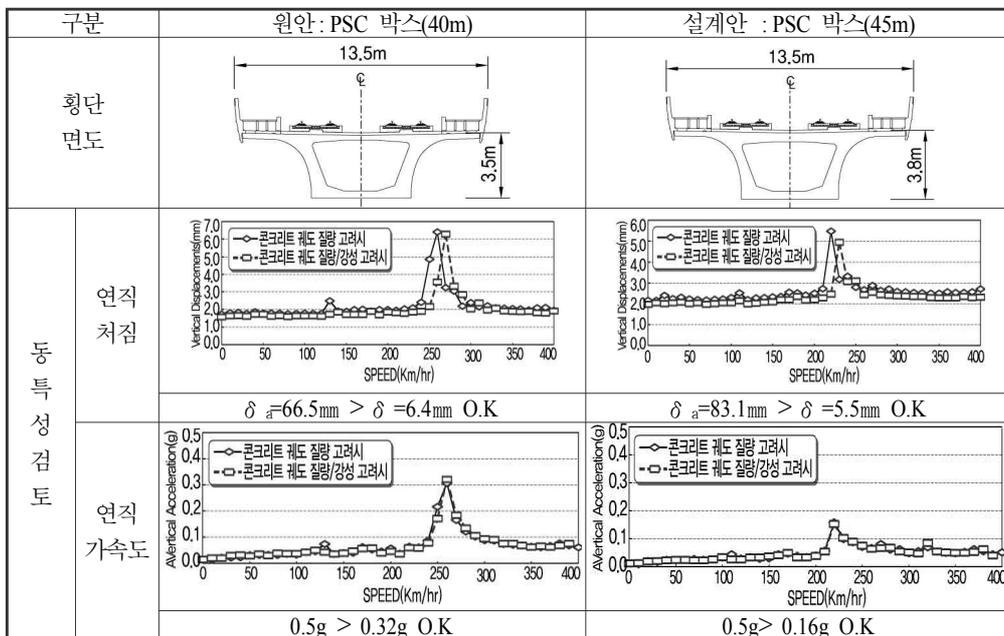
특히, 호남고속도로를 횡단하는 정읍고가는 원안설계에서 고속도로 장래확장 시 분리되도록 계획되었으나 이는 고속도로 주행성 및 안전성 확보에 문제가 있는 것으로 판단되어 비분리 확장이 가능한 경간인 110m 이상을 확보할 수 있는 교량계획이 필수적이었다. 또한, 평면선형 조건이 완화곡선에 위치하여 통상 R.E.J를 배제할 수 있는 경간인 80~90m에 적용되는 교량구조계획이 필요하게 되었다.

3.2 표준교량(PSC BOX)

3.2.1 경간장 분석

주행열차의 동적특성인 가진진동수(Exciting Frequency)와 교량의 고유진동수가 일치할 때 발생하는 공진(Resonance)현상은 매우 불안한 구조물의 동적거동을 유발하며, 이는 승객의 승차감에도 나쁜 영향을 준다. 하지만 공진은 열차의 속도, 교량의 물성치 및 고유진동수 등과 관계없이 열차의 유효타격간격과 교량의 지간만으로도 예측할 수 있어 설계시 공진이 소멸되는 경간장을 적용하여 안정적인 동적거동을 확보할 수 있다. 유효타격간격이 18.7m인 KTX의 경우로 공진소멸경간장을 분석한 결과는 도표 2에서 나타냈고, 그 결과를 바탕으로 표준교량의 경간장을 40m에서 45m로 변경하였으며, 도표 1과 같이 연직처짐 및 연직가속도 등의 동적거동을 검토하여 교량의 내구성 및 사용성을 향상시킬 수 있었다. 또한 경간장이 길어짐에 따라 주거지역에서의 개방감도 개선할 수 있었다.

도표 1. 표준화교량 경간장 분석



표준화 교량은 경간장 45m에 형고가 3.8m인 PSC BOX교로 표준횡단면은 그림 2에서 볼 수 있다.

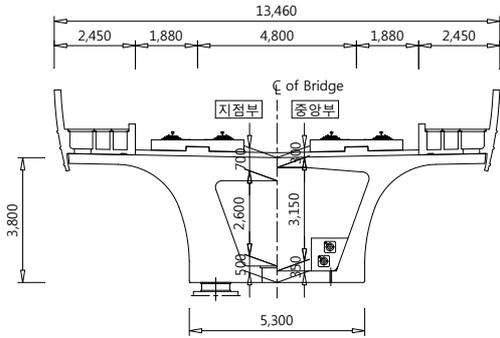


그림 2. 표준교량 횡단면도

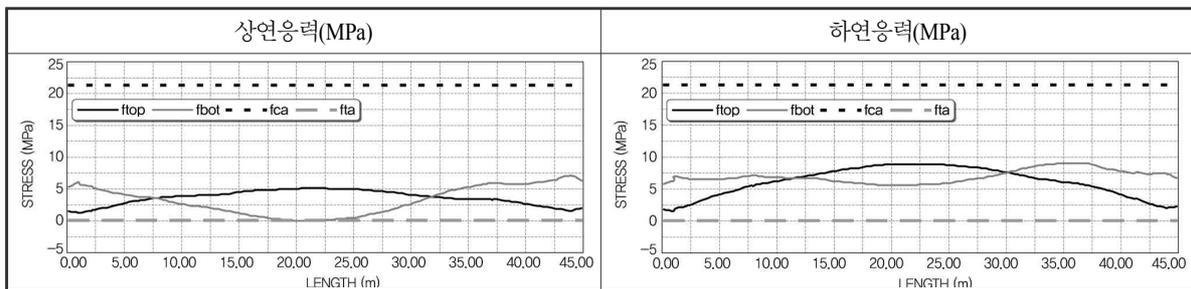
도표 2. 표준화교량 경간장 분석

모드	공진검토배제 경간장	산출식
1	26.2 ~ 29.9m	$L = S_{eff} \times (i + 0.5)$ L : 공진소멸경간장 S _{eff} : 유효타격간격 i=1,2,3,4,5...
2	44.9 ~ 48.6m	
3	63.6 ~ 67.3m	
4	82.3 ~ 86.0m	

3.2.2 구조 안전성

표준화교량의 설계는 완성계를 포함한 시공단계별 해석을 수행하여 크리프, 건조수축 등 콘크리트의 시간의존적 재료특성을 고려하여 수행되었다. 사용하중단계에서 인장응력이 발생하지 않도록 설계함으로써 사용성을 확보하였으며 그 결과는 도표 3에 보여진다.

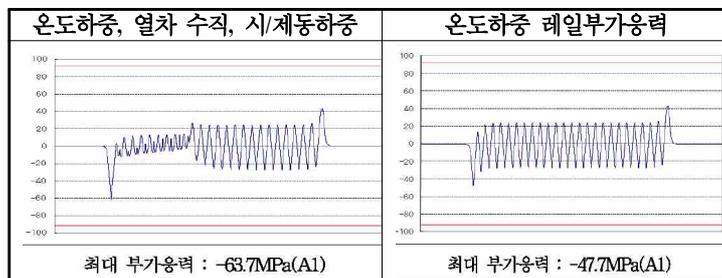
도표 3. PSC Box교 사용하중 응력



규준교와 한교천교의 계획시 노반강성 변화를 최소화하기 위해 토공구간을 교량화하였으며 그 결과 열차 주행 안전성을 극대화할 수 있었다.

표준경간장 45m에 대한 궤도-구조물간의 상호작용(장대레일축력)검토를 통하여 규준교의 레일안전성에 대해 도표 4와 같이 최대 발생응력이 63.7 MPa, 허용응력 92.0 MPa로 안전함을 알 수 있다.

도표 4. 규준교 레일안전성 검토



3.2.3 시공 계획

전체 교량의 대부분을 차지하는 PSC BOX교의 경우 거더지지식 FSM, 지주지지식 FSM, PSM공법을 비교 검토하였으며, 지주지지식 FSM 공법의 경우 지반의 제약과 동바리 설치 및 해체시 공기가 증가하는 단점이 있고, PSM공법은 교량 연장 2.5km이상의 교량에서 경제성이 있는 것으로 검토되었으나, 규준교는 1.125km로 경제성에서 불리하였다. 이에, 상부구조물 일괄타설, 일괄시공으로 시공성이 우수한 거더지지식 FSM 공법으로 선정하여 시공계획을 수립하였다.

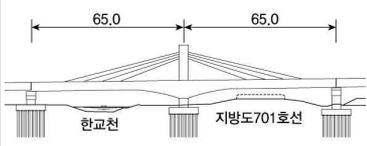
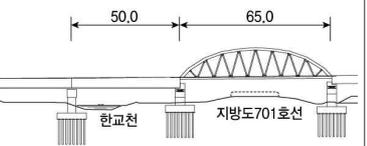
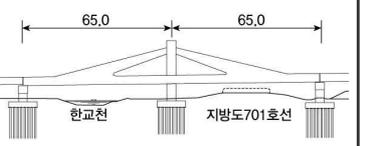
3.3 한교천교(Extradosed)

3.3.1 경간장 분석 및 교량 형식 선정

지방2급 하천인 한교천과 지방도 701호선을 동시에 횡단하는 한교천교의 경우 하천유심부를 피하고 제방에서 교각까지의 이격거리 기준인 5.0m를 준수하기 위해서는 경간장 65.0m의 교량이 필요할 뿐만 아니라 공진소멸경간장 검토결과 경간장 65.0m가 동적안전성에도 유리한 것으로 검토되었다.

한교천과 지방도701호선을 동시에 횡단할 수 있는 장경간 구조계를 기본으로 하는 교량형식을 도표 5과 같이 검토하였다. 검토결과, PSC BOX 구조로 내구성이 우수하고, 콘크리트 구조로 소음·진동이 작으며, 상징성이 우수한 2경간 엑스트라도즈드교(Extradosed교, 이하 ED교)로 형식을 선정하였다.

도표 5. 한교천교 교량형식 검토

구분	설계안 (2경간 ED교)	비교 1안 (단경간 트러스 아치교)	비교 2안 (2경간 사판교)																								
중단면																											
기능성	<ul style="list-style-type: none"> 연속구조로 처짐이 작아 주행 안전성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 단경간 구조로 처짐이 커 주행 안전성 불리 	<ul style="list-style-type: none"> 연속구조로 처짐이 작아 주행 안전성 보통 																								
안전성	<ul style="list-style-type: none"> 면틀림 저항성 및 장대레일 축력 안전성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 면틀림 저항성 및 장대레일 축력 안전성 불리 	<ul style="list-style-type: none"> 면틀림 저항성 및 장대레일 축력 안전성 보통 																								
조형미	<ul style="list-style-type: none"> 주탑에 지역특성(농약) 상징성 부여 주탑이 높아 지역 조화성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 행어 단면이 커 개방감 부족 매시브한 아치리브로 중압감 발생 	<ul style="list-style-type: none"> 사판 시거불량 및 상징성 부족 사판 하부주행차 중압감 유발 																								
시공성	<ul style="list-style-type: none"> FSM 가설로 하천오염 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 크레인 가설로 하천오염 과다 	<ul style="list-style-type: none"> 사판 시공성 매우 불리 																								
유지 보수	<ul style="list-style-type: none"> PSC 박스 구조로 유지관리성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 채도장등 유지관리 불리 	<ul style="list-style-type: none"> 사판 균열발생으로 유지관리 매우 불리 																								
경제성	 <table border="1"> <tr><td>P</td><td>94.8</td></tr> <tr><td>C</td><td>1.000</td></tr> <tr><td>V</td><td>94.8</td></tr> <tr><td>LCC</td><td>262억원</td></tr> </table>	P	94.8	C	1.000	V	94.8	LCC	262억원	 <table border="1"> <tr><td>P</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>C</td><td>1.014</td></tr> <tr><td>V</td><td>78.9</td></tr> <tr><td>LCC</td><td>265억원</td></tr> </table>	P	80.0	C	1.014	V	78.9	LCC	265억원	 <table border="1"> <tr><td>P</td><td>88.8</td></tr> <tr><td>C</td><td>1.019</td></tr> <tr><td>V</td><td>87.1</td></tr> <tr><td>LCC</td><td>267억원</td></tr> </table>	P	88.8	C	1.019	V	87.1	LCC	267억원
P	94.8																										
C	1.000																										
V	94.8																										
LCC	262억원																										
P	80.0																										
C	1.014																										
V	78.9																										
LCC	265억원																										
P	88.8																										
C	1.019																										
V	87.1																										
LCC	267억원																										

3.3.2 경관계획

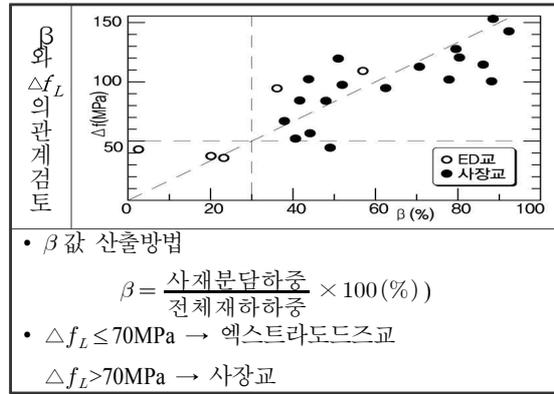
한교천교(Extradosed교) 주탑부는 농업진흥구역 통과구간으로 개방된 경관속에서 시각적 포인트 구조물을 계획하여 '미풍화선구역'으로 설정하고, 아름다운 바람(농약)을 담아 감홍의 선을 그리는 문화철도를 모티브로 하였다. 이에, 호남우도 정읍농약의 부포상모놀이의 명인을 형상화하여 지역문화의 예술성을 드러낼 수 있도록 디자인하였다.

3.3.3 구조안전성

2경간 연속 ED교로 계획된 한교천교 중앙부의 형고는 3.5m, 주탑부는 4.8m이며, 인근 표준화교량인 PSC BOX교와의 종방향 단차를 없애기 위해 단부의 형고를 3.8m로 계획하였다. 주탑은 2면주탑방식으로 주탑의 높이는 13.5m(L/9.6)로 계획하였다.

케이블은 1면당 6개씩 배치되며, 스트랜드에 하나씩 긴장력을 도입하여 정밀하게 긴장력을 조정할 수 있는 15.7mm-19EA의 MS-Type을 사용하였다. 활하중에 의한 케이블의 응력변동범위를 검토한 결과 도표 6과 같이 응력의 변동폭이 50MPa이하로 낮아 케이블의 허용응력을 0.6f_{pu}로 결정하였다.

도표 6. ED교의 사재분담율



사재의 정착구조는 주탑에 편심하중에 의한 비틀림 모멘트가 발생하지 않는 관통고정방식인 새들정착 방식을 채택하였다. 또한, 인장을 허용하지 않는 철도교의 요구사항에 맞추어 케이블의 파단 및 교체시에도 전체 거더에 인장이 발생하지 않도록 하여 열차의 운행에 영향이 없도록 계획하였다.

열차주행에 따른 동적응답에 대해서도 설계속도 350km/h의 1.2배 속도인 420km/h까지 20km/h씩 속도를 증가시키며 그 결과를 검토하였다. 검토결과는 도표 7에서 보여주고 있으며 연직처짐, 상판의 연직가속도 및 면틀림에서 상당히 양호한 결과가 나왔다. 이는 공진소멸경간장인 65m로 계획된 ED교의 동적특성이라고 판단된다.

도표 7. ED교 동적안정성 검토

항 목	연직처짐	상판연직가속도	면틀림
속도별 최대 응답			
검토 결과	6.0mm < 108.3mm ∴ O.K	0.08g < 0.5g ∴ O.K	0.01mm/m < 1.5mm/m ∴ O.K

3.3.4 시공계획

Extradosed교를 FCM공법으로 가설할 경우, F/T운행을 위하여 종단선형의 상향조정이 필요하고 현장이 음부와 강선량이 증가하여 시공성 및 경제성에서 불리한 것으로 판단되어 지방도701호선을 우회시키고 일괄타설, 일괄긴장으로 시공성이 우수한 거더지지식 FSM공법을 적용하도록 계획하였다.

3.4 정읍고가 교량계획 및 설계

3.4.1 경간장분석 및 교량형식 선정

호남고속도로를 큰 사각인 30° 로 횡단하는 정읍고가 구간은 호남고속도로를 장래 8차로 비분리 확장 하기 위해서 최소 110m 이상의 경간장이 필요한 것으로 검토되었으며, 평면선형이 완화곡선에 위치하여 R.E.J의 설치여부를 매우 신중하게 고려해야하는 구간이다. R.E.J를 설치하게 되면 레일의 불연속과 지지강성의 차이에 의한 궤도손상으로 유지관리에 매우 불리하게 된다. 또한, 신축이음장치 전·후 구간에 복진현상이 추가로 발생하며 이는 침목과 궤도에 영향을 주어 궤도의 틀림을 유발하는 원인으로 열차의 주행안전성과도 밀접한 관계를 가진다. 따라서, 110m 이상의 장경간이며 장대레일 설치가 가능한 교량 형식의 선정이 요구된다. 따라서, 적용 가능한 교량구조에 대하여 다양한 검토를 수행한 후 최종적으로 도표 9에서와 같이 3개의 대안을 검토하였다.

교량형식을 검토할 때, 온도변화, 열차 차량의 하중 및 시·제동하중에 대하여 레일에 부가되는 응력을 저감할 수 있도록 다점고정방식을 채택하였고, 또한 지점부의 수평강성 증대를 위해 강결구조 및 하이브리드교각을 채택하였다. 그 결과 70+115+70=255.0m의 3경간 하이브리드 중로 아치교의 레일에 부가되는 응력이 허용치 이하여서 R.E.J설치가 필요 없는 것으로 검토되었다.

도표 8. 정읍고가 교량형식 검토

구분	설계안 (3경간 하이브리드 중로 아치교)	비교 1안 (단경간 중로 아치교)	비교 2안 (2경간 사장교)
중단면			
기능성	•다경간구조로 처짐작아 고속철도 주행 안전성 매우 우수	•단경간구조로 처짐이 커 고속철도 주행 안전성 불리	•Cable 처짐, 진동으로 고속철도 주행 안전성 매우 불량
안전성	•3경간 연속구조로 수평저항성 우수 •연속구조로 내진안전성 우수 •열차하중에 의한 면틀림 저항성 매우 우수	•단경간 아치로 수평력 과다 •단경간 아치로 내진안전성 불리 •면틀림 저항성 보통	•철도교 처짐(L/1300) 제어곤란 •처짐 진동에 의한 콘크리트 케도 및 내진안전성 매우 불리 •면틀림 저항성 매우 불리
조형미	•3아치의 율동감과 구릉지 지형과 조형미 우수 •측경간 아치로 개방감, 조형미 우수	•단일아치로 구릉지 순응으로 조형미 부족 •대단면 아치부재로 중압감 초래	•고주탑과 Cable로 구릉지 지형과 부조화 •고속도로 편측횡단으로 비대칭성 및 경사케이블로 시각적 혼란
시공성	•가교 및 크레인가설로 주행자 안전 확보 및 시공성 우수	•압출회전공법 적용성 매우 불리 •압출회전 공법 주행자 안전확보 매우 불리	•FCM가설 적용시 장기간 현장작업으로 주행자 안전확보 매우 불리
유지보수	•부재교체 없어 안전성 확보 유리 •건조수축, 크리프 등 장기처짐 없어 유지관리 유리	•부재교체 없어 안전성 확보 유리 •큰 수평력으로 지반 변형시 보수보강 곤란	•Cable 피로에 의한 교체 발생 •크리프, 건조수축에 의한 처짐 지속 증가 「교량과 기초」 (일본, '09.08)
경제성	 P 94.3 C 1.161 V 81.2 LCC 453억원	 P 78.0 C 1.000 V 78.0 LCC 390억원	 P 70.0 C 1.376 V 50.9 LCC 487억원

3.4.2 경관계획

본 구간은 호남고속도로를 횡단하여 정읍시로 진입하는 구간으로 정읍시와 내장산의 상징성을 고려한 구조물을 계획하여 ‘단풍화선구역’으로 설정하였다. 이 구간은 단풍을 담아 감동의 선을 그리는 상징철도를 모티브로 하였다. 공구내 대표교량으로 꼽히는 정읍고가의 경우 가을단풍이 아름다워 조선8경의 하나로 꼽히던 내장산의 단풍을 형상화할 수 있는 경관조형물을 설치함과 동시에 아치리브 자체가 은행나무를 상징할 수 있도록 디자인하였다.

3.4.3 구조안전성

3경간연속 하이브리드 중로아치교로 계획된 정읍고가의 행어는 기존에 주로 많이 사용되고 있는 케이블구조가 아닌 강성이 크고 진동 등 구조적 안전성에 유리하며 부드러운 미적경관 연출이 가능한 원형강관단면을 적용하였다. 도표 9은 아치교 행어형식 비교를 보여준다.

도표 9. 아치교 행어형식검토

구분	형상	특징
강관		<ul style="list-style-type: none"> 구조적 안전성 보통 경관성 우수
케이블		<ul style="list-style-type: none"> 경관성, 시공성 우수 진동에 불리
박스형		<ul style="list-style-type: none"> 구조적 안전성 우수 개방감 부족

도표 10. 아치교 지지형식검토

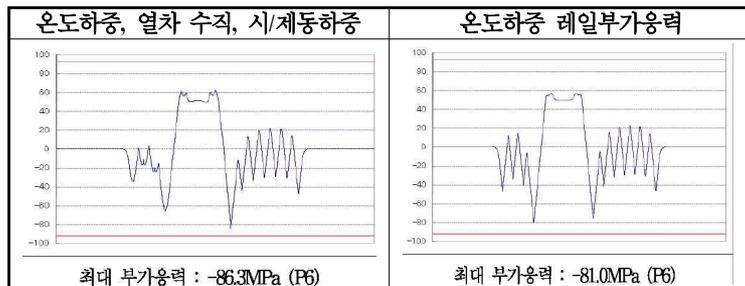
구분	형상	특징
SRC + 고정		<ul style="list-style-type: none"> 하중전달 우수 유지관리 용이
고정		<ul style="list-style-type: none"> 앵커부 균열 등 유지관리 필요
받침		<ul style="list-style-type: none"> 지속적인 유지관리 필요

아치형식은 면외 방향의 강성증대로 내풍 및 내진, 좌굴 안정성에 대해 유리할 뿐 아니라, 시각적 안정성면에서도 우수한 경사아치형식인 배스킷 핸들형식으로 계획하였다. 또한 기울어진 아치리브와 보강형을 연결하는 방식으로는 보강거더를 기울이는 방식을 채택함으로써 아치리브의 축방향력이 작용하는 방향과 교좌받침 반력의 방향이 일치하도록 하고, 추가적인 수평분력의 발생이 없도록 설계하여 힘의 흐름 측면에서도 유리한 구조로 계획하였다.

또한, 아치리브는 상부의 하중을 하부기초에 전달하는 역할을 하므로 큰 규모의 아치리브 단면이 필요하나, 본 교량에서는 강재와 콘크리트의 합성에 의한 SRC 리브로 계획함으로써 구조적으로 안전하고 미관적으로 슬림한 단면으로 설계되었다. 또한 하부 지지형식을 도표 10과 같이 받침구조가 아닌 대칭 V형 강결구조로 계획함으로써 수평반력의 저감과 하중전달 및 유지관리에 유리한 구조로 계획하였다.

정읍고가의 구조형식 결정에 가장 큰 영향을 미친 퀘드-구조물간 상호작용검토 결과는 도표 12에서 보이는 바와 같이 온도하중과 열차하중 및 시·제동하중이 동시에 재하되었을 때의 발생응력이 86.3MPa로 허용치 응력 92.0MPa 이하인 것으로 검토되어 R.E.J를 설치하지 않고 장대레일의 안정성을 확보하였다.

도표 11. 정읍고가 레일안정성 검토



교량의 동적안정성 검토에서는 도표 12에서 보이는 바와 같이 상판 연직가속도에서 다소 높은 결과를 나타내었으나 기준치 이내였으며, 연직처짐과 면틀림에서 상당히 양호한 결과를 나타내었다.

도표 12. 아치교 동적안정성 검토

항 목	연직처짐	상판연직가속도	면틀림
속도별 최대 응답			
검토 결과	3.5mm < 150.0mm ∴O.K	0.44g < 0.5g ∴O.K	0.006mm/m < 1.5mm/m ∴O.K

3.4.4 시공계획

정읍고가 3경간 중로아치교는 호남고속도로 상에서 가설이 이루어지므로 고속도로 통행자들의 안전이 최우선으로 고려되어야 한다. 경부고속도로의 단경간 아치교인 모암교 및 원안의 단경간 아치교의 경우 회전압출공법으로 계획되었으나, 3경간 연속으로 계획된 정읍고가는 회전압출공법의 적용이 사실상 불가능하며, 횡단시공시 고속도로의 통행을 차단해야하는 등 시공성에서 불리하므로, 하부 통행자들의 안전과 시공성 개선을 위해서 장지간 가교를 만들어 그 위에서 가설벤트와 크레인을 이용하여 가설하는 것으로 계획하였다. 장지간 가교는 트러스구조로 되어있으며, 트러스 하면의 공간을 완전히 밀폐하여 시공중 고속도로주행자의 안전확보가 가능하도록 계획하였다. 시공순서는 먼저 호남고속도로를 횡단하는 장지간 가교를 가설하고 종점측(목포쪽) 아치를 가설한 후 중앙경간과 시점측(오송쪽) 아치를 순차적으로 가설하는 것으로 계획하였다.

4. 결론

대안설계로 당선된 호남고속철도 제4-2공구의 교량에 대한 계획과 설계에 대한 결론은 아래와 같다.

- 1) 표준교량 PSC Box교량은 REJ를 배제하여 장대레일 부설이 가능하고, 열차와의 공진현상이 없는 고유주기를 가져 동적안전성 확보가 가능한 적절한 경간장을 선정된 결과, 경간장 45m로 설계하였다.
- 2) 한교천교는 국내 고속철도에서 최초로 적용된 교량형식인 Extradosed교로 설계하여 고속철도에 적용 가능한 교량형식 선정의 범위를 확대시킨 것에 의의를 둘 수 있다.
- 3) 호남고속도로를 횡단하는 정읍고가 아치교의 경우 하부에 횡단하는 호남고속도로의 장래 비분리 8차로 확장계획을 고려하여 국내 최초, 최대 규모의 3경간 연속 하이브리드 중로아치교로 설계하여 고속철도 및 지역의 상징적인 역할을 수행할 수 있도록 계획하였다.

본고에서 소개하는 설계과정 및 내용이 장래 고속철도교량의 계획 및 설계시 참고자료가 되기를 기대한다.

참고문헌

1. 쌍용건설, “호남고속철도 제4-2공구 노반신설 기타공사”, 2010
2. 한국철도시설공단, “호남고속철도 설계지침 노반편”, 2007
3. 한국철도시설공단, “콘크리트케도 인터페이스 성능향상에 대한 연구-최종보고서”, 2008
4. 대한토목학회, “철도설계기준-철도교편”, 2004
5. 대한토목학회, “철도설계기준-노반편”, 2004
6. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조설계기준”, 2007
7. 대한토목학회, “도로교설계기준”, 2005
8. 일본프리스트레스트 기술협회, “PSC사장교와 Extradosed교 설계시공규준(안)”, 2000