

PSC 사판교의 설계 사례(철도교)

Design Example of Panel-Stayed Bridge : Railroad Bridge



김동용*
Dong-Yong Kim



손석호**
Suk-Ho Son



엄원옥***
Won-Ok Eom

1. 현 황

울천교는 설계·시공 일괄입찰 방식(T/K 설계)으로 수행된 성남~여주 복선전철 건설공사(8공구) 중 (주)동성엔지니어링/동부건설(주)이 제안한 전체연장 175m의 교량이다. 국가 하천인 북한천을 횡단하는 철도교로서 국내 최초의 3경간 연속 PSC 사판교 형식을 적용하여 설계하였으며 이천지역의 수평적인 스카이라인과 조화를 이루고 주탑에 의한 상징성을 부여하였다. 또한, 사판의 적용으로 최적의 조형미를 부여하고 큰 강성으로 소음·진동을 경감시키며 케이블의 피로 문제를 해결하여 유지관리에 유리한 교량으로 계획하였다.

2. 교량 계획

2.1 교량 형식 선정

울천교는 북한천 및 국도42호선을 횡단함에 따라 하천내 유심부(B = 75 m)에 교각 설치를 배제한 경간 구성이 필요하며 인접한 국도에서의 조망성을 고려하여 조형미와 랜드마크(landmark)적 기능을 가진 교량형식의 선정이 요구되었다.

이상의 조건으로 강교는 소음·진동에 불리하고 정기적인 도장으로 수질오염의 우려가 있으며 PSC Extradosed교는 강성이 사판교에 비해 작아 진동이 발생하고 케이블 피로 문제 등으로 유지관리 비용이 증가하는 등의 단점을 가지므로 주행성 및 내구성이 우수하고 이천시의 랜드마크적인 경관을 가지는 PSC 사판교로 선정하였다.

2.2 PSC 사판교의 특징

Extradosed교는 사재케이블의 허용응력을 $0.6 f_{pu}$ 으로 비교적 높게 적용할 수 있지만 철도와 같은 큰 활하중에 의한 응력 변동과 케이블의 진동 등으로 사재케이블의 피로 문제가 발생하여 케이블교체 등의 유지관리 문제가 있을 것으로 판단된다.

PSC 사판교는 사재를 콘크리트로 피복함으로써, 사재 케이블의 응력 변동폭을 작게 할 수 있으므로 케이블의 피로 문제가 해결될 수 있다. 따라서 사판교 케이블의 허용인장응력을 주거더와 동일한 $0.7 f_{pu}$ 로 높게 설정할 수 있고 주형, 사판, 주탑이 강결로 맺어져 있어 교량전체의 강성이 높기 때문에, 열차 주행에 의한 변형이 미소하여 열차의 주행성이 우수하다.

또한, 사장교 및 Extradosed교에 적용되는 특별한 사재정착구, HDPE 덕트 등의 재료가 불필요하여 사재에 들어가는 비용을 절감할 수 있다.



그림 1. 열차주행 예상 전경

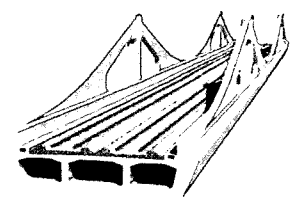


그림 2. 교량 단면

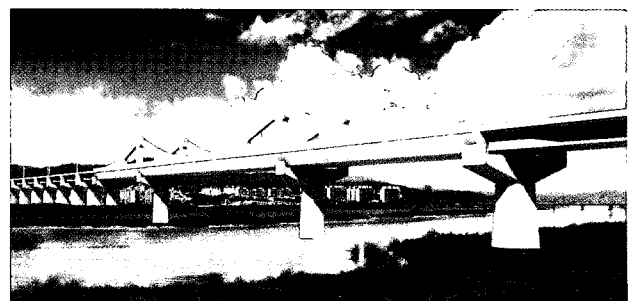


그림 3. 울천교 준공시 예상 전경

* (주)동성엔지니어링 전무
kdy777@dongsungeng.co.kr

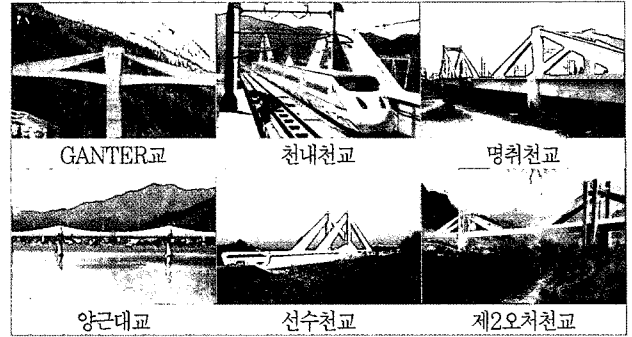
** (주)동성엔지니어링 이사

*** (주)동성엔지니어링 과장

2.3 PSC 사판교의 설계 사례

PSC 사판교는 스위스의 GANTER교(주경간장, L = 174 m)가 세계 최초로 설계·시공 되었고 일본에서는 철도교로서 소음·진동에 유리하고 유지관리가 양호하며 공사비가 저렴한 등 효용성이 입증되어 천내천교(L = 96 m), 명취천교(L = 108 m), 제1옥천교(L = 85 m), 수천교(L = 85 m), 선수천교(L = 71 m) 등이 설계 및 시공되어 있으며 현재 설계중인 장경간의 제2오천교(L = 167 m)가 있다. 국내에서도 도로교로서 양근대교(L = 90.0 m)가 시공되어있다.

표 2. 사판교의 설계사례



2.4 교량 설계 조건

- 교량형식 : 3경간 연속 PSC 사판교
- 교량연장 : 175.00 m
- 경간구성 : 47.50 + 80.00 + 47.50 m
- 사 각 : 90°
- 형 교 : 2.6 m
- 열차하중 : EL-18 (복선)
- 설계속도 : V=120 km/h
- 내구년한 : 100년
- 평면선형 : R=∞
- 궤도형식 : 도상궤도
- 부재의 구조 형식
 - 주형 : PSC구조, - 사판 : PSC구조
 - 주탑 : RC구조

2.5 교량 설계 개요

- 본 교량은 북하천을 통과하는 교장 175.0m의 3경간 연속 PSC 사판교이며 Full Staging 공법으로 시공된다.
- 부재의 설계는 강도설계법에 의해 실시한다.
- 설계단면력의 산출은 골조(Frame)해석에 의해 시행하고 시공중의 구조계가 순차적으로 변화하므로 시공공정을 고려하여 설계한다.
- 골조해석에 의한 단면력 산출에 있어서 부재 단면 제정수는 콘크리트 전단면을 유효단면으로 계산한다.
- 사판-주형 연결부 해석 모델은 빗자루 모델을 채택한다.
- 가설하중으로서 사판 지보공 중량 및 사판 콘크리트 자중을 고려한다.
- 사재분수는 사판타설시 주형 중간지점부의 단면력에 의해 1차 사재분수(2분)를 구조계 완성후에 대해 사판에 생기는 축력에 의해 2차 사재분수(6분)를 결정한다.

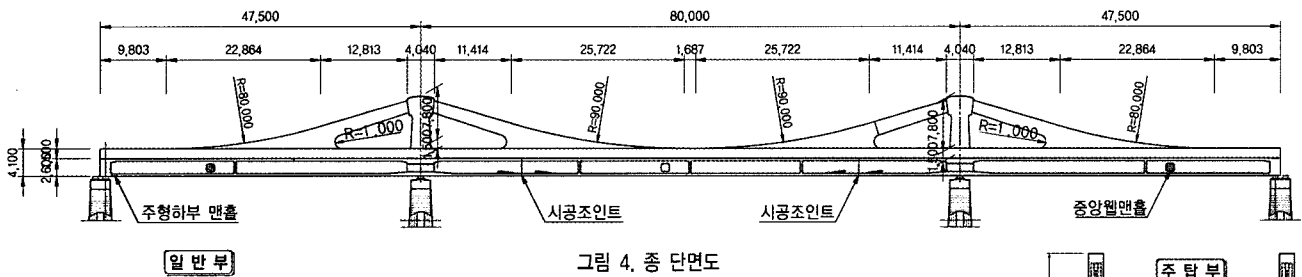


그림 4. 종 단면도

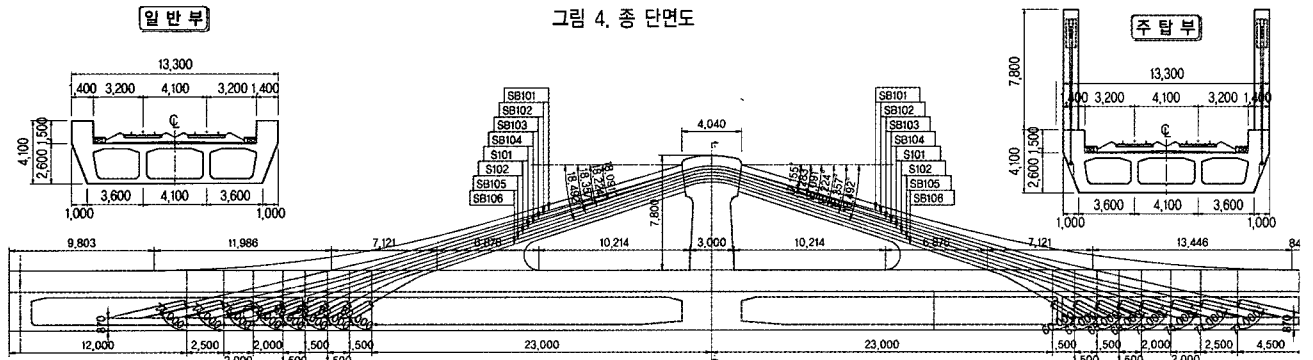


그림 5. 사재 배치도

3. 구조 설계

3.1 구조요소의 설계 개념

- 교축 방향의 설계는 골조 모델에 의해 해석하여 가설순서에 따라 단면력을 산출하였다.
- 사판과 주형의 접합부에 가상 부재($A, I = \infty$)를 설치하고, 사판 접합부의 축력 분포를 고려하여 최적 모델인 5분할의 가상 부재($I = 0, A = (b/n) \cdot t$)를 설치하였다.
- 사판 시공시의 지보공 및 굳지 않은 사재 콘크리트 중량을 고려하였다.
- 시공시의 사재 1차 케이블은 $A = \text{실단면적}, I = 0$ 의 트러스 부재로 모델링하고 도입 긴장력을 산정하였다.
- 완성계 입체프레임해석에 따라 각주형의 하중 분포 및 비틀림 모멘트를 산출하였다.
- 3차원 FEM해석을 수행함으로써 반력 산정 및 국부적 응력상태를 파악하여 안전성을 확인하였다.
- 미소변위 이론에 따른 선형해석을 기본으로 하되 특별한

경우는 비선형해석을 수행하였다.

- 구조적 중요부는 Solid요소를 이용한 FEM해석과 스트럿 타이 모델 해석을 수행하여 철근 보강하였다.

3.2 사판 및 주탑 새들부

사판은 큰 축인장력이 작용하는 부재이다. 특히, 주탑과 거더의 사판 접합부는 설계하중 작용시의 축력에 비해 휨응력이 크게 발생되므로 사판 접합부에 대해서는 3D 해석 및 Strut-Tie 모델을 이용하여 보강 하였다.

사판 콘크리트의 프리스트레싱은 시공시에 주형 텐던과 1차 사재 텐던에 의해 조정력을 얻은 후 사판 콘크리트를 타설

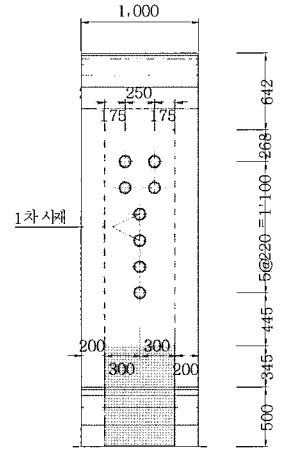


그림 8. 새들부 사재배치

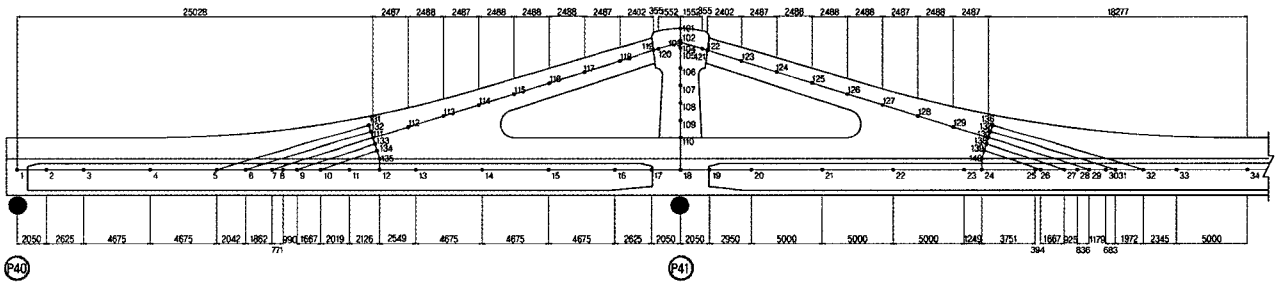


그림 6. 구조 모델링

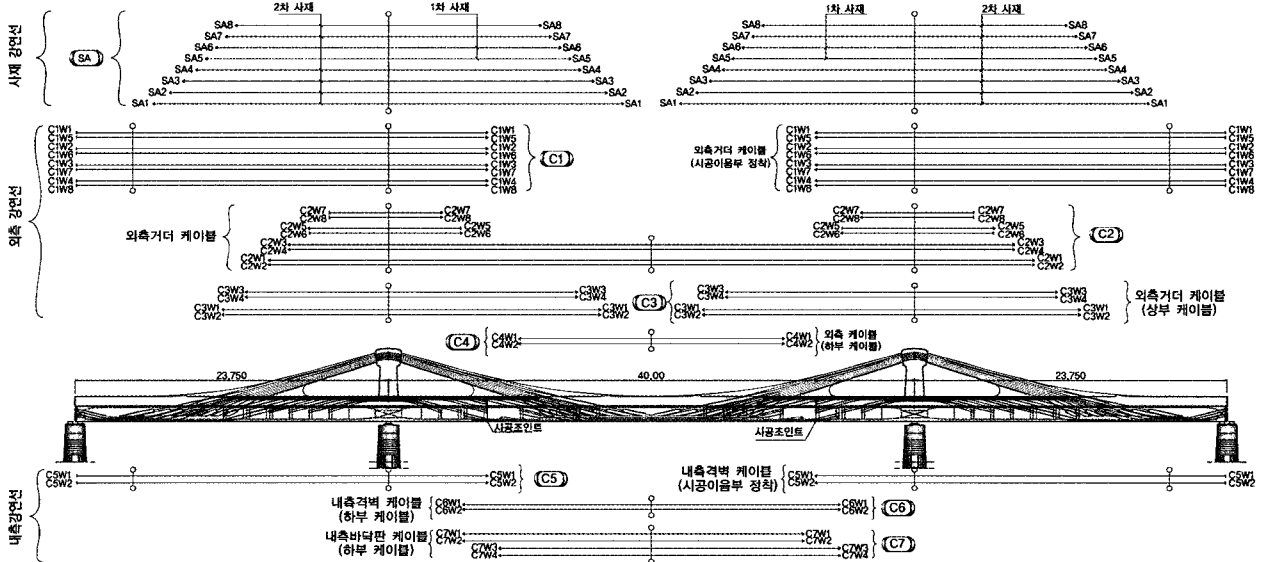


그림 7. 강연선 배치도

하고 2차 사재 텐던에 프리스트레스가 도입된다. 설계하중 작용시 휨에 의한 균열은 허용하지만 사판이 축인장 부재인 점을 고려하여 설계하중 작용시의 축인장력이 발생하지 않을 만큼의 프리스트레스를 도입하였다.

사재 케이블의 정착은 주탑 정상부에 관통하여 고정 시키는 새들 구조를 채택하였다. 새들 구조는 정착구의 감소에 의한 비용절감, 배근의 간소화로 인한 시공성 향상 등 주탑 정상부의 형상을 작게 할 수 있으며 경관상의 장점도 있다. 하지만, 새들부의 케이블 곡률 반경이 작아져 긴장력에 의한 활열력이 커지게 되므로 주탑 새들부에 대해서는 3차원 FEM 해석과 스트럿 타이 모델 해석을 수행하여 보강하였다.

3.3 사판 설치위치 검토

사판 설치위치를 주탑으로부터 15 m, 20 m, 25 m의 경우에 대해 검토한 결과 중앙부 및 지점부 모멘트의 분배 효과와 각 지점의 주형 응력 검토 결과 주탑으로부터 20 m 지점에 설치하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.<표 2>

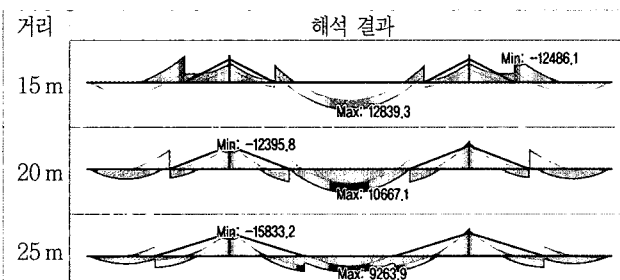
3.4 강연선의 배치

FCM 공법에 비해 FSM 공법은 강연선의 정착 위치가 시공이음부에 한정되어 강선이 집중 배치되게 되므로 정착구의 배치에 어려움이 있으며 정착구 배치에 따라 강연선의 길이가 증가하여 효율적인 사용이 어렵게 된다. 따라서 측벽 및 하부 슬래브에 정착 블록을 설치하는 것으로 계획하였다.

교량 거더 형식이 3연 박스로 구성되어 외측 벽체의 구조적 강성이 크고 구조적 중요성이 크므로 강연선은 외측벽체와 내측벽체, 바닥판에 7개의 Case(그림 7 참조)로 정모멘트와 부모멘트를 저항 할 수 있도록 배치하고 1, 2차 사재 강연선을 배치하였다.

특히 1차 사재 강연선은 사판 접합부에 발생하는 부모멘트에 저항하기 위해 상향 배치된 거더 강연선 긴장으로 인해 발생하는 하향 분력에 저항하게 된다.

표 2. 사판 설치 위치별 해석 결과



3.5 하중 산정

가설시 고정하중에 대하여 단계별 하중을 산정하여 분포 하중으로 입력하였다. 특히 본 교량은 기존의 Extradosed교량에 비해 사판이 추가 되므로 사판의 하중 산정 방법을 아래와 같이 표기하였다.<그림 9, 10>

- 사판 타설시 굳지 않은 콘크리트 하중이 거더에 주어지는 하중으로 산정.
- 사판 가설시 동바리 및 거푸집의 하중 산정

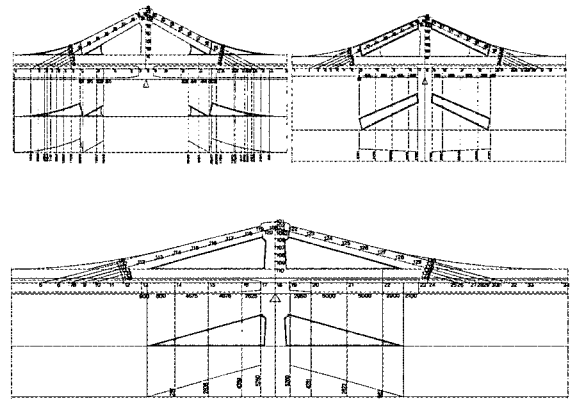
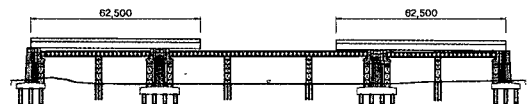
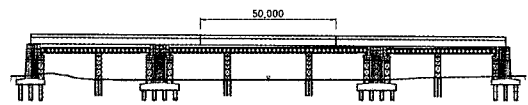


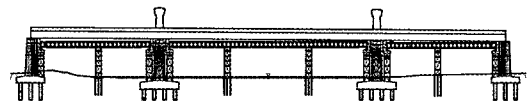
그림 10. 사판 동바리 하중



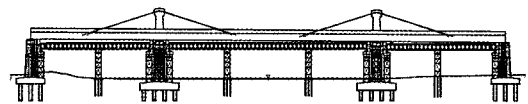
1단계: 양측경간 시공



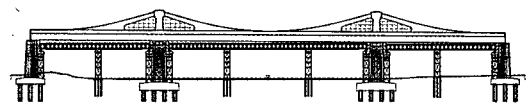
2단계: 중앙경간 시공



3단계: 주탑 시공



4단계: 1차 사재 긴장



5단계: 사판시공 및 2차 사재케이블 긴장



6단계: 2차 주형 케이블 긴장 및 교면공 시공, 교량 완성

그림 11. 시공 순서

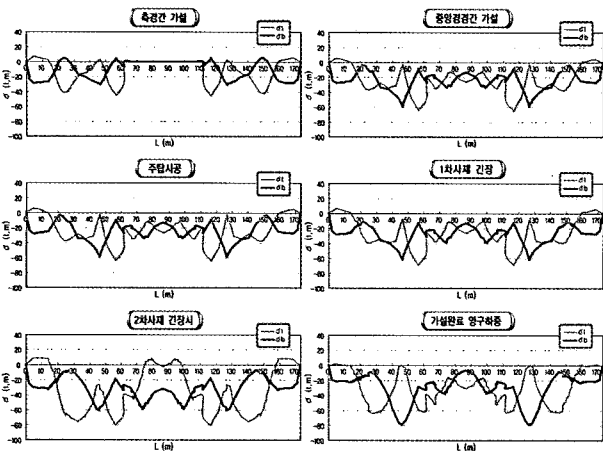


그림 12. 시공단계별 응력도

표 3. 시공단계별 응력도(MPa)

구분	시공 단계별		영구하중 작용시	
	상면	하면	상면	하면
최대	0.86	0.54	0.14	0.00
최소	-8.19	-6.56	-6.37	-7.98

3.6 시공순서

주형의 시공은 풀스테이징(full staging) 공법을 적용하였으며 초기 응력의 도입은 주형 2회 사판 2회로 계획하였으며 1회 콘크리트 타설량을 고려하여 하부 슬래브, 벽체 및 상부 슬래브, 파라펫으로 나누어 타설하는 것으로 계획하였다.

당초 지보공은 1차 사재 긴장 후 철거하는 것으로 계획하였으나 1차 사재의 긴장으로 충분한 거더의 응력 분배가 이루어지지 않았다. 1차 사재를 늘릴 경우 사재량이 많아지게 되어 비경제적이 되므로 2차 사재의 긴장 후 지보공을 철거하는 것으로 변경하였으며 교량 상부 가설공기를 약 9개월로 계획하여 하천의 홍수기 및 혹한기 시공을 배제할 수 있도록 하였다.

3.7 단면 발생 응력 검토

3.7.1 시공 단계별 발생 응력

시공중 발생 응력이 최대 0.858 MPa < 1.3 MPa 이고 완성시 완전 프리스트레스(full-prestress) 상태가 되도록 거더 텐던의 수와 배치를 결정 하였다.(그림 12 및 표 3)

3.7.2 사용하중시 발생응력

공용중 최대 발생 응력은 2.456 MPa < 3 MPa 이내로 발생되어 전체적인 구조물의 안전성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.(그림 13 및 표 4)

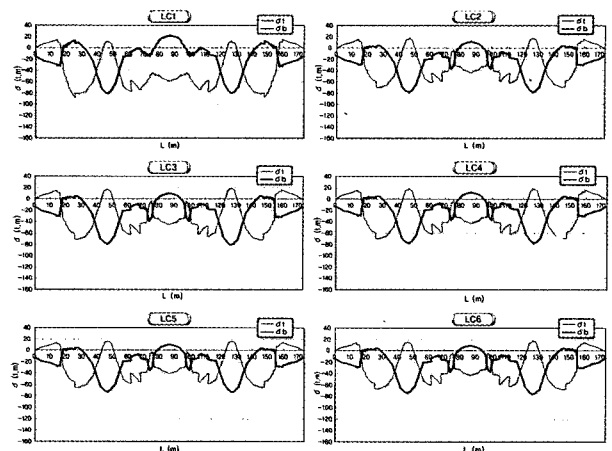


그림 13. 사용하중시 응력도

표 4. 사용하중시 응력도(MPa)

구분	최대 발생 응력		최소 발생 응력	
	상면	하면	상면	하면
최대	-1.13	2.46	1.54	-1.13
최소	-7.77	-5.12	-4.62	-8.38

3.7.3 계수하중에 의한 최대 단면력

계수하중에 의한 최대 단면력을 산출하여 강도설계법에 의해 휨강도 및 강재비, 균열에 대해 검토하였다.(그림 14)

3.7.4 휨강도 검토

정, 부모멘트가 최대로 작용하는 지간 중앙부와 지점부 단면에 대해 “철도설계기준 9.3.6 휨강도”에 따라 수행하였다.

· 단면 판별

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0.85 \cdot f_{ct} \cdot b} < t \text{ (플랜지 두께) 인 경우 구형단면으로 계산(그림 14), (표 5 ~ 6)}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} + \frac{d}{d_p} \left(\rho \frac{f_y}{f_{ck}} - \rho' \frac{f_y}{f_{ck}} \right) \right) \right) \frac{f_{pu}}{f_{ck}}$$

$$\approx f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} \right) \right)$$

$$\phi Mn = \phi \left(A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p \left(1 - 0.59 \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f_{ck}} \right) \right)$$

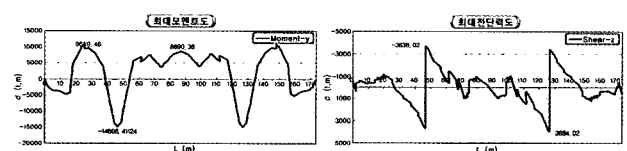


그림 14. 최대 단면력도

표 5. 휨강도 검토

구분	f_{pu}	γ_p	$\rho_p = A_s / bd$	b	dp	A_{ps}
중앙부	1,900	0.55	0.00371841	280	383.667	399.456
주탑부	1,900	0.55	0.00187682	1130	354.727	732.336

구분	b (cm)	f_{ps} (kgf/cm ²)	a (cm)	단면 판별 $a < t$	결과
중앙부	280	16.585	69.590	69.59 < 150.0	구형 단면
주탑부	1130	17.781	34.817	34.82 < 35.0	구형 단면

표 6. 휨강도 검토

구분	M_u (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	결과
중앙부	99,449.00	150,098.52	OK
주탑부	150,760.00	366,827.09	OK

표 7. 최대 강재비

구분	$0.36 \beta_1$	q_p	결과	관련식
중앙부	0.275	0.154	OK	$q_w = \rho_w \frac{f_{us}}{f_{ck}} \leq 0.36\beta_1$
주탑부	0.275	0.083	OK	

표 8. 균열검토(최소 강재비)

구분	P_{ex}	M_e	M_{cr} (kN·m)	M_n / M_{cr}	결과
중앙부	44,739.07	99,449.00	161,917.44	1.213	OK
주탑부	82,021.63	150,760.00	242,798.81	1.537	OK

표 9. 처짐검토

구분	최대 발생 처짐(mm)	허용치(mm)	결과
측경간	5.47	59.38	OK
중앙 경간	14.49	100.00	OK

3.7.5 PS강재의 제한(표 7 ~ 표 8)

- 균열 검토(최소강재량)

$$\phi M_n \geq 1.2 M_{cr} \text{ (철도설계기준 식9.3.25)}$$

$$M_{cr} = 2.0 \sqrt{f_{ck} \cdot (I_c / y_b)} + P_{ex} I_c / A_{cb} + M_e$$

3.7.6 처짐검토

- 처짐 제한: 사용 활하중과 충격으로 인한 처짐량은 L/800 이하.(철도설계기준 7.4.1)(표 9)

열차에 의한 발생처짐은 강성이 큰 구조형식인 사판교에서는 매우 작게 발생되어 승차감 및 진동에 매우 유리한 구조임을 알 수 있다.

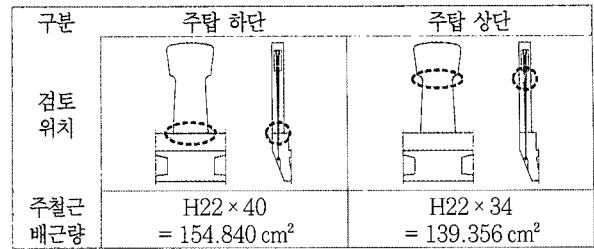


그림 15. 주탑설계

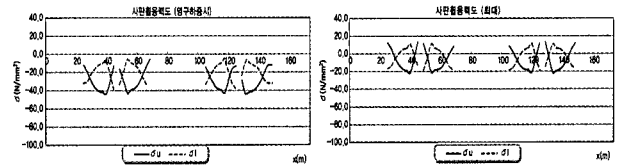


그림 16. 사판 휨응력도

3.8 주탑의 설계

주탑 높이를 낮게 적용하고 주탑 상단의 연결 가로보가 없는 구조로 하여 심플한 경관이 되도록 하였다. 상시와 지진시의 최대 단면력을 산정하여 변단면인 주탑의 상단과 하단에 대해 검토하였다. 낮은 주탑 높이로 큰 하중이 발생되지 않아 작은 단면으로 설계가 가능했다.(그림 15)

3.9 사판의 설계

축인장 부재인 사판의 경우 영구 하중시 완전 프리스트레스(full-prestress)가 되도록 하였고 공용하중시에 대해서 사판의 휨응력이 최대 1.1 MPa(일본 철도설계기준) 이내로 억제하여 안전성과 내구성을 확보하였다(그림 16). 사재 텐던의 긴장력을 받고 있는 새들부의 3D Solid 모델을 이용한 응력 검토로 텐던을 초기응력(initial stress)을 받는 Thick Beam 요소로 이상화하여 유한요소해석을 수행하고 응력집중부의 스트럿 타이 모델 해석을 통한 보강 철근량 산정 및 안전성 검토를 수행하였다(그림 17). 스트럿 타이 모델 해석 결과 발생 부재력은 최대 2,344.32 kN으로 최대 인장력에 의한 철근량을 산정하여 보강하였다.(그림 18)

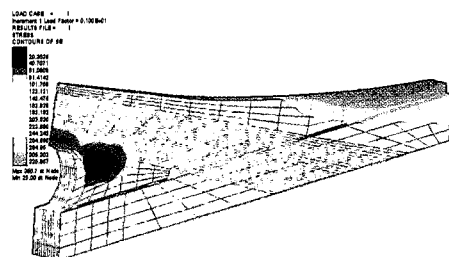


그림 17. 사판 접합부 3D 해석 결과

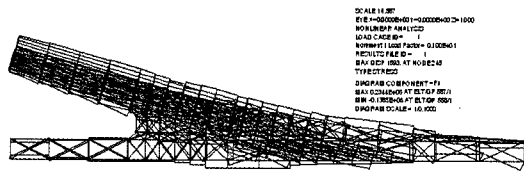


그림 18. 스트럿 타이 모델 해석 결과

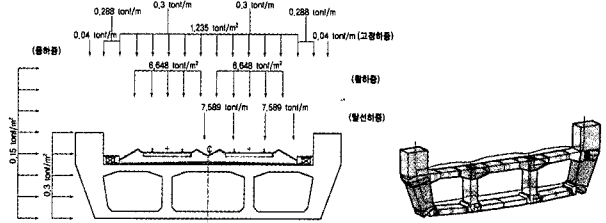


그림 21. 하중 재하도

그림 22. 발생 응력도

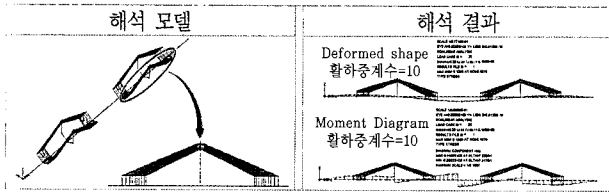


그림 19. 사판의 기하재료 비선형 해선

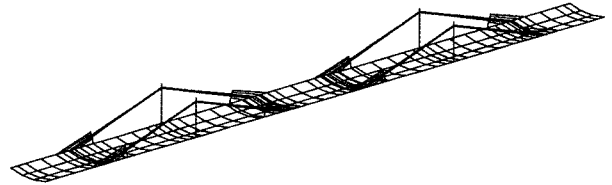


그림 23. 3D 해석 모델

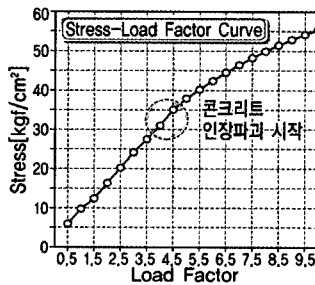


그림 20. 응력-하중 곡선

표 10. 반력집계 (단위: kN)

구 분	시점측	주탑1	주탑2	종점측
G1	2,557.7	15,288.3	15,278.3	2,541.2
G2	3,324.8	13,997.1	13,997.3	3,297.9
G3	3,282.4	14,043.9	14,004.2	3,295.0
G4	2,771.0	15,948.3	15,939.1	2,770.8

$$Req A_s = \frac{T}{\phi f_y} = 73.26 \text{ cm}^2 < \text{Used } A_s = 103.23 \text{ cm}^2$$

또한, 사재의 기하 비선형성과 콘크리트 및 강재의 재료 비선형성을 고려한 사판교의 구조적 안정성을 평가하여 사판부재의 안전성과 신뢰도를 확인 하였다.(그림 19)

해석 결과 압축 부재인 사판은 하중이 증가할수록 인장력이 발생하여 활하중 계수 4.0에 이르렀을 때 콘크리트 인장파괴가 유발된다. 이는 설계시 사용한 활하중 증가계수 2.0에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.(그림 20)

3.10 횡방향 설계

본 해석 대상 교량은 중앙부와 사판 접합부의 구조적 거동이 상이하므로 두 단면을 대상으로 범용 구조 해석 프로그램을 이용한 구조 해석을 통하여 적절한 단면력을 산출하고 설계에 반영하였다.(그림 21, 22)

3.11 3D 모델 해석 및 반력 산정

3D 해석 모델의 해석을 통해 받침 반력을 산정하고 주탑 및 사판의 단면력을 산정하였다(그림 23). 또한 내진해석결과를 이용하여 내진발생력을 효과적으로 분산하고자 FPB + POT 받침을 적용하였다.(표 10), (그림 24)

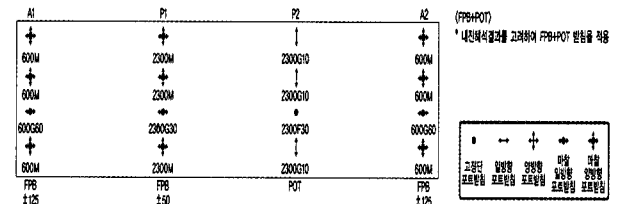


그림 24. 받침 배치

3.12 사재 파단시 및 유지관리 검토

사재의 파단에 대해 검토한 결과 사판의 발생 응력은 영구 하중시 케이블1본 파단의 경우 프리스트레스트 상태이고 2본 파단시 최대 발생 인장응력이 1.15 MPa으로 허용인장응력 이내의 상태를 보였다.(그림 25, 26) 및 (표 12)

하중 조합시에는 케이블 1본 파단시의 거더 접합부 응력은 3.07 MPa으로 허용응력(3.0 MPa)을 다소 초과하여 균열발생 가능성이 있으나 사판 접합부 보강 철근에 의해 충분히 보강되어 있으므로 보강 부위의 강성을 고려하면 안정한 것으로 판단되며 2본 이상 파단시 사판의 발생 응력이 허용응력을 초과 하므로 사판에 균열이 발생한다(그림 27, 28) 및 (표 12). 그러나 사판 케이블은 본디드 상태로 피로의 영향을 받지 않아 케이블 파단의 우려가 극히 적으며 케이블이 2개 이상 파단되어 구조물에 영향을 주는 상황이 발생할 가능성이 거의 없으므로 구조물의 내구연한(100년)이상 충분히 안정한 것

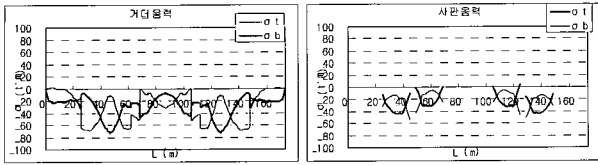


그림 25. 영구 하중 작용시(사재 1본 파단)

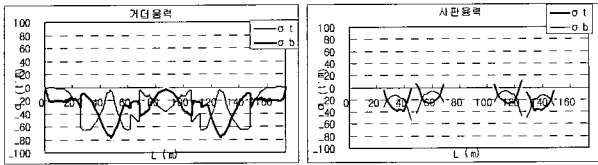


그림 26. 영구 하중 작용시(사재 2본 파단)

표 11. 사재 파단시 발생 응력(영구 하중시, MPa)

구분	거더 발생 응력		사판 발생 응력		비고
	최대	최소	최대	최소	
정상상태	0.143	-7.977	-0.529	-6.039	OK
1본 파단	0.113	-8.158	0.408	-6.006	OK
2본 파단	0.061	-8.563	1.148	-5.412	OK

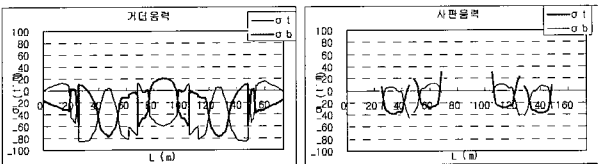


그림 27. 사용 하중 작용시(사재 1본 파단)

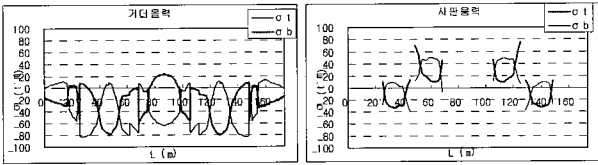


그림 28. 사용 하중 작용시(사재 2본 파단)

표 12. 사재 파단시 발생응력(사용 하중시, MPa)

구분	거더 발생 응력		사판 발생 응력		비고
	최대	최소	최대	최소	
정상상태	2.456	-16.891	1.298	-4.759	OK
1본 파단	2.635	-16.881	3.070	-4.571	OK
2본 파단	2.951	-16.618	7.479	-4.026	N.G

으로 판단된다.

또한, 사재 1본 및 2본 파단시 거더에 배치된 유지관리용 텐던으로 사재 파단에 따른 단면력을 보강 할 수 있도록 계획하였다.

4. 결 언

본 교량은 하천을 횡단하는 중경간장의 철도교로서 국내 최초의 PSC 사판교로 계획되었다. 대편심 케이블을 갖는 거더교와 사장교의 중간적인 기능을 담당하는 교량으로 도로교에서는 Extradosed교가 많이 설계 및 시공되고 있으나 철도교의 경우 도로교에 비해 큰 열차하중으로 인하여 케이블의 진동 및 피로의 발생 등의 문제가 예상된다. 사판교는 케이블의 피로 문제 해결 및 사재 케이블 정착구가 필요 없는 등 많은 이점을 가지고 있으므로 일본에서는 철도교에 적용하여 다수의 설계 시공 경험이 있으며 주경간장 167m의 교량이 설계 중이다. 시공 기술의 발전으로 인한 부재 내구성의 향상 등으로 PSC 교량은 유지관리가 필요 없는 교량으로 인식되어 있으며, 이 구조 형식은 국내 철도교의 승차감 향상 및 내구성, 안전성 향상을 도모할 수 있고 또한 교량 설치 지역에 대한 랜드마크적 상징성이 탁월하며 하천 통과부에 적용시 수질오염 방지에 기여할 수 있으리라 판단된다. 국내 최초로 철도교에 도입했던 울천교(PSC 사판교)가 비록 시공까지는 진전치 못한 아쉬움은 있으나 향후 중·대 경간장의 철도교에 대해 본 교량의 설계 경험이 활용될 수 있을 것으로 기대된다. □

참고문헌

1. "외국철도교의 설계와 시공 사례", (주)동성엔지니어링 편역, 이 엔지·북, 2005.
2. "콘크리트 철도 구조물 등 설계기준·동해설", 일본철도종합 기술연구소, 2004.
3. "川内川桥梁の計畫・設計および施工", 桥梁と基礎, 2002-3. Hiraoka CHIKAO.
4. "名取川桥梁の設計・施工", プレストレストコンクリト, Vol.39, No.2, Mar. 1997, Yoshiyuki MURAL.
5. 철도설계기준(철도교편), 철도청, 1999.
6. 철도설계기준(노반편), 철도청, 2001.
7. 철도공사 전문시방서(토목편), 철도청, 1999.
8. 국유철도 건설규칙, 철도청, 2000.
9. 콘크리트 구조설계기준, 건설교통부, 1999.
10. 콘크리트 표준시방서, 건설교통부, 2000.
11. 도로교 설계기준, 건설교통부, 2000.
12. 고속철도 설계 표준시방서 해설.
13. AASHTO 설계기준.
14. UIC 등 각종 관련 시방서 및 제 기준.