전라선 익산～신리 간 복선전철사업 제2공구 현장 탐방

– 만경강교(PCB사판 + U거더) 시공

글 하경수 ＼ 전라선 익산～신리 간 복선전철현장 대리 ＼ **전화** 063-254-7470 ＼ **E-mail** ksha81@ssyenc.com

1. 머리말

본 과업은 전라선 익산～신리 간 복선전철 민간투자시설사업(BTL)으로 전북 익산시 익산역 후부인 대장촌리로부터 전주역을 지나 완주군 하신리의 신리역사까지 총연장 34.39km의 기존 단선철도를 복선화하는 사업이다.

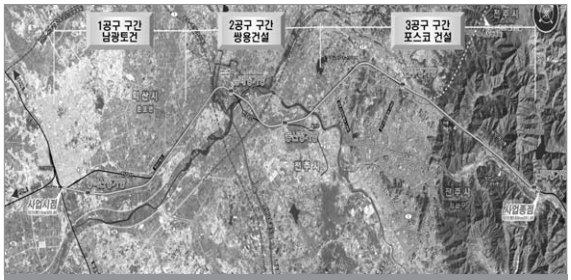
본 사업은 광양 컨테이너항의 확장 및 율촌지방산업단지, 해룡지방산업단지 개발 등에 따라 발생하는 물동량 수요 급증에 대비하여 수송 능력을 확충하고 속도 향상을 통해 철도 운영효율을 향상시키며, 경부고속철도 및 호남선의 전철화에 따라 전주, 순천 및 여수지역에 고속철도 서비스를 제공하기 위한 전라선 복선전철사업의 일환으로 추진되었다.

본 사업을 통해 2012년 여수해양엑스포의 성공적인 개최, 전주 · 순천 · 여수 지역의 KTX고속철도 서비스 조기 제공, 광양항 및 여천국가산업단지에서 발생하는 화물의 수송 능력 확충, 속도 향상을 통한 철도운영 효율 향상, 군산선과 연계시 경부선 화물 수송량 분담 가능, 기존선 선형 개량으로 수송 거리 및 열차 운행시간 대폭 단축, 타 교통수단 간 안전운행 확보 등의 효과가 기대된다.

당사는 전라선 복선전철사업 중 전북 완주군 삼례읍 후정리에서 전북 전주시 덕진구 송천동에 이르는 연장 11.167km의 노반2공구 공사를 담당하였으며, 여수엑스포 개최전 개통을 위한 호남고속국도 통과구간이 선형 변경되어 당초 실시설계시 기존선 인접구간이 6km에서 9km로 증가하였음에도 차질없이 공사를 수행하였다.

본 기고에서는 당 현장의 최대 연장 교량이며, 현재 국내 철도교량중 사판교로서는 최대 연장인 만경강교의 특징 및 시공방법을 소개하고자 한다.

2. 공사개요



[그림 1] 전라선 익산～신리간 사업 조감도

❶ 공사명 : 전라선 익산 ～ 신리 간 복선전철 민간투자시설사업 제2공구 노반공사

❷ 공사위치 : 전북 완주군 삼례읍 ～ 전북 전주시 덕진구 송천동 일대

❸ 공사기간 : 2007년 7월 31일 ～ 2012년 4월 30일(57개월)

❹ 발주처 : 전라선철도(주)

❺ 감리단 : (주)수성엔지니어링 외 8개사

❻ 공사내용

- 토공 : 깎기 358,974m^3 / 쌓기 769,371m^3
- 교량 : 10개소(L = 938m)
- 입체교차 : 5개소(L = 76m)
- 터널 1개소(L = 80m)

표 1 전라선 익산 ~ 신리 간 복선전철사업 현황

구분	1공구	2공구	3공구
위치	익기(현) 1km325.8 ~ 익기(현) 10km520.0	익기(현) 10km520.0 ~ 익기(현) 21km200.0	익기(현) 21km200.0 ~ 익기(현) 21km231.0
연장	9,194.2m	11,167.0m	14,031.0m
특징	• 연약지반 통과구간 • 기존선 근접구간(단계별 시공) • 동익산정거장 구간을 제외한 대부분 구조물(아치라멘교) 시공	• 전주시 반지하구간(1.6km) • 기존선 중첩이 많아 임시선 및 단계별 시공이 많음 • 특수교량 만경강교(PC사판교)	• 전주시 반지하구간(2.65km) • 기존선 중첩이 많아 임시선 및 단계별 시공이 많음 • 고덕터널(1.2km) 포함 5개의 터널

• 정거장 : 2개소(삼례정거장, 동산정거장)

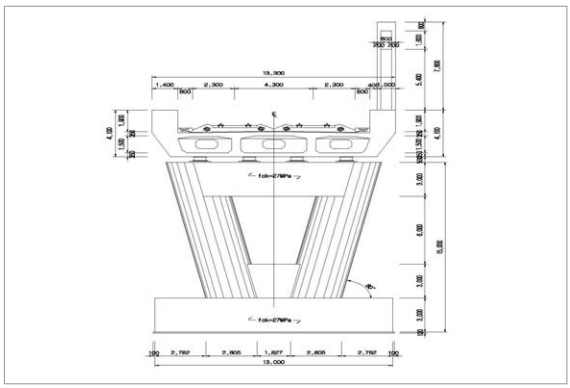
• 특수선 : 3개소(L = 2,712m)

3. 만경강교(PCB사판 + U거더) 개요

1) 위치 : 익기(현) 13km 931.50 ~ 14km 606.50

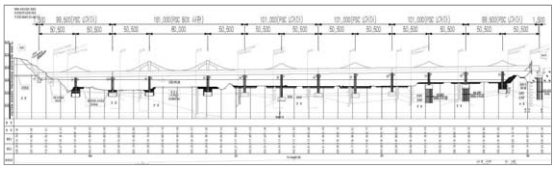
2) 연장 : L = 675m

3) 폭원 : B = 13.3m



4) 평면도 및 종단면도

〈평면도〉



〈종단면도〉

5) 형식

❶ 하부공 : V형 교각
(PHC말뚝(P10, P11), 강관말뚝(A2)
직접기초(A1, P1 ~ P9, P12))

❷ 상부공 : PCB사판 + U거더(13 SPAN)
(3@50.3m + 80.0m + 9@50.5m)

6) 형식 선정의 주안점

❶ 국가하천 횡단(만경강)을 고려한 형식 및 가설 계획

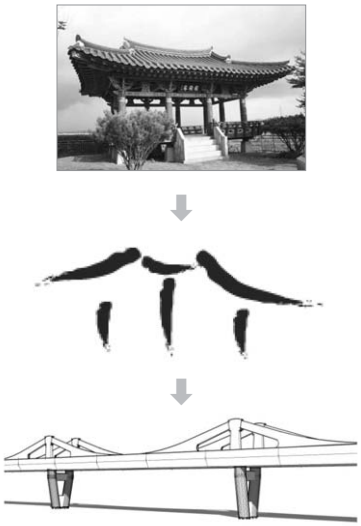
❷ 하천여유고 확보가 가능하며 유수흐름에 지장을 주지 않는 상부형식 선정

❸ 지역의 랜드마크 교량으로 경관설계를 고려한 상부구조 계획

• 콘크리트 교량의 확대 적용에 있어서 노반 2공구 구간중 최대 교량인 만경강교에 대해 고시안은 일반 강교였으나 [그림 2]와 같이 전주시 전통 한옥과 교량 시점부의 지역문화재인 비비정의 특징인 처마모양 형상화를 통해 지역특색을 반영한 경관설계로 변경(2주탑 사판교)

❹ 원활한 철도운행 확보 및 경제성이 고려된 상부형식 선정

❺ 시공의 용이성 및 안정성을 고려한 가설 계획



[그림 2] 지역특색을 반영한 교량 경관설계

〈사재케이블 노출〉

〈사재케이블 비노출〉

[그림 3] 엑스트라도즈드교와 사판교 비교

7) 콘크리트 사판교 교량의 장점

❶ 강성증대에 따른 소음 및 진동 최소화

❷ 하천 수질오염 최소화를 위한 도장 배제

❸ 내구성 및 유지관리성 우수

❹ 경제성 우수(강아치교 대비 74%로 저렴)

❺ 사재케이블의 피로 및 진동 문제 해결

표 2 상부구조형식 비교

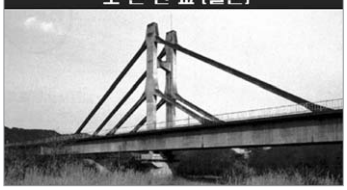
구분	비교 1안	비교 2안
형식	• PSC BOX 사판교 + U-거더 (L=683.00m), SKEW = 90°	• 강합성 + STEEL ARCH (L = 683.00m) SKEW = 90°
특성	• 만경강 횡단 철도교량으로 상징성 및 경관기능 우수 • 도장 불필요로 수질오염 배제 • 강성증대로 처짐 및 진동 유리 • 콘크리트 구조형식으로 내구성, 유지관리성 양호 • 동바리공법(FSW)으로 시공성 보통 • 공사비 저렴	• 정기적인 강교도장으로 만경강 수질오염 우려 • 장경간의 강구조 교량으로 소음 및 진동에 불리 • 수직재 설치로 인해 승객의 시각에서 번잡감 증가 • 크레인 일괄가설로 시공성 우수 • 공사비 다소 고가
가설공법	• 동바리공법(FSM)	• 크레인 일괄가설공법
개략공사비	• 202억 4천만원	• 273억 2천만원
선정안	◎	
선정사유	• 콘크리트교로 수질오염 방지와 유지관리성이 양호하고, 교량의 강성이 큼에 따라 경간장 대비 진동이 작아 열차주행성 및 승차감이 양호한 교량계획으로, • 만경강(국가하천)을 횡단하는 지역의 랜드마크 교량으로써 주변경관과의 조화 및 경제성에서 우수한 비교1안을 선정함.	

8) 국내외 사판교 시공사례

천 내 천 교 [일본]

명 취 천 교 [일본]

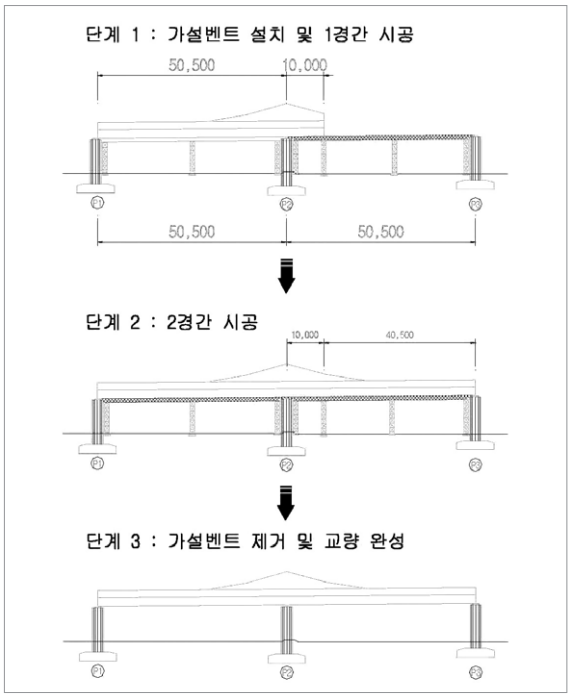
소 본 천 교 [일본]



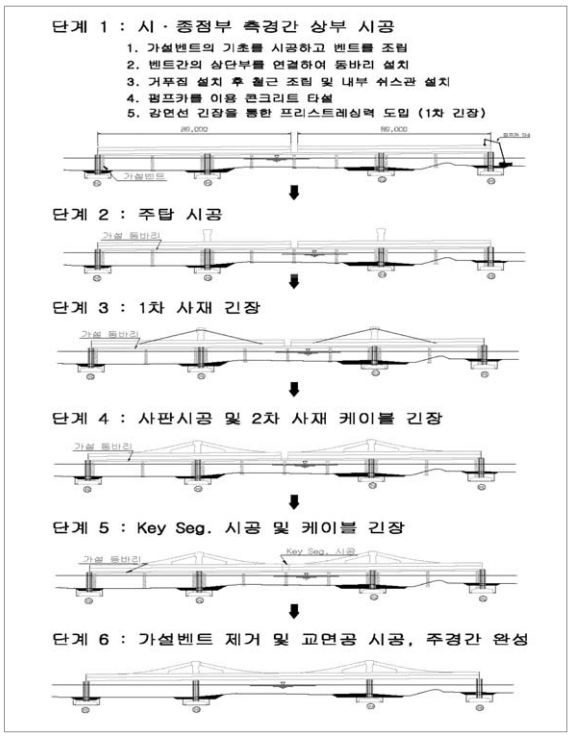
제 1 옥 천 교 [일본]

4. 만경강교(PCB사판+U거더) 시공

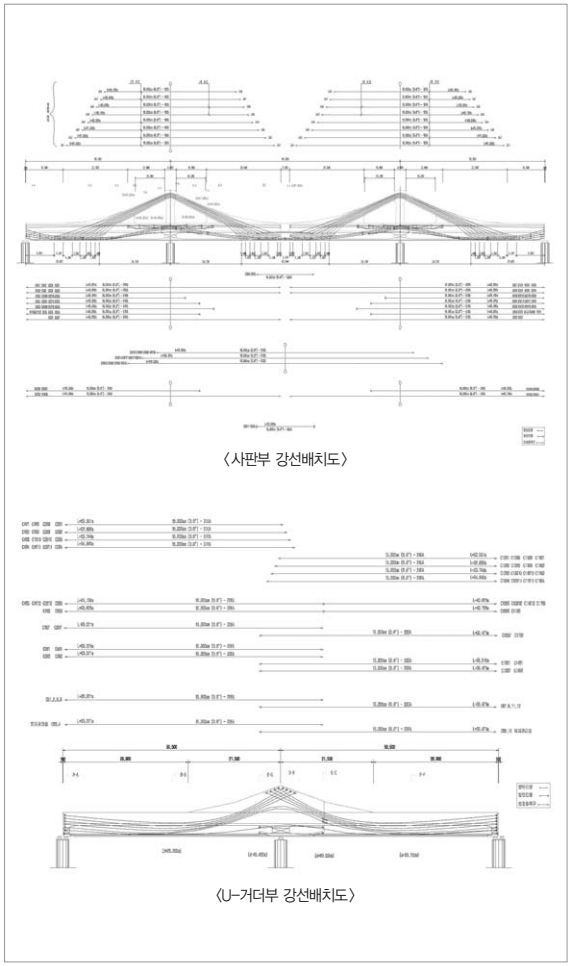
1) 접속부(U-거더) 시공순서도



2) 주경간(PCB사판) 시공순서도

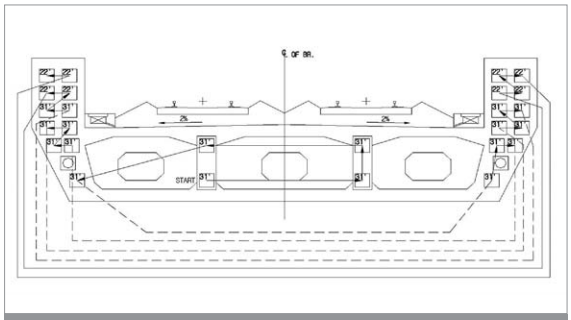


3) 인장작업

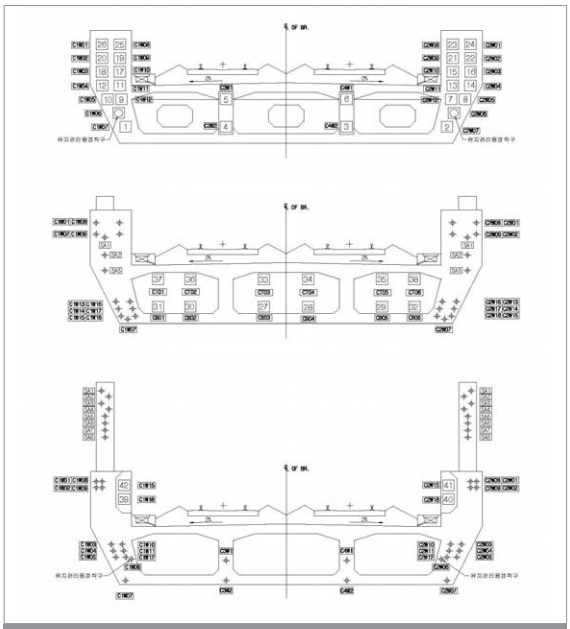


❶ PSC BOX 부재의 콘크리트 타설후 소요 강도가 발현되면 인장작업을 실시한다.

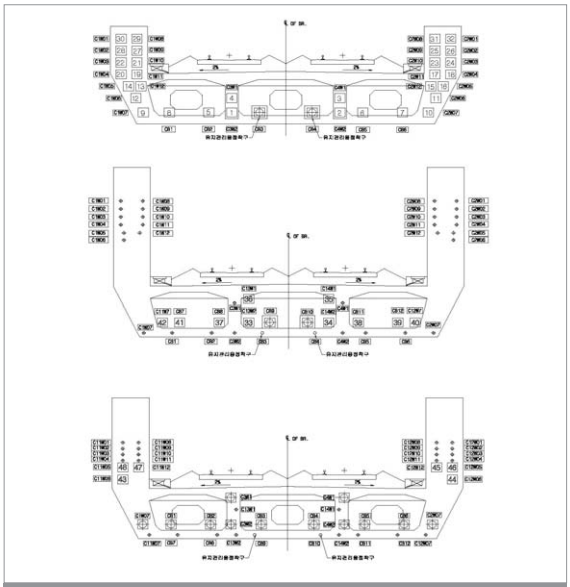
❷ 인장순서는 통상적으로 구조물 도심부터 시작하여 점차적으로 도심 외부 쪽으로 시행하되 구조물을 중심으로 대각선으로 좌 · 우 대칭으로 구조물의 뒤틀림 및 편심이 발생하지 않도록 실시한다.



[그림 4] 인장 순서도



[그림 5] 사판부 인장순서도



[그림 6] U-거더부 인장순서도

❸ 거더 정착단부의 주변을 깨끗이 손질하여 이물질이 없도록 하고 강선의 배열이 꼬이지 않도록 정리한 후 정착헤드를 끼우고 정착 지압판(Plate)에 밀착시킨 후 정착쐐기(Wedge)를 1차 정착한다.

❹ 인장기를 Head에 밀착시킨 후 인장쐐기(Stress Wedge)를 인장기 뒤편에 물리어 인장기를 고정시킨다. 이때 인장기를 정착 지압판에 최대로 밀착시키어 강선의 늘어짐을 최소로 줄인다.

❺ 인장펌프를 작동하여 지시압력까지 인장을 시작한다. 신장량의 체크는 100kg/cm² 상승마다 Stroke의 길이를 체크하여 기록한다.

❻ 인장 지시압력까지 도달 후 펌핑을 중단하고 인장측 밸브를 잠그고 인장상태를 유지한다. 신장량을 검토하고 설계 신장량을 미달하거나 넘었을 경우 감독관의 지시에 따른다.

❼ 인장 Jack이 고정된 상태에서 정착 Jack을 가동시켜 정착쐐기(Wedge)를 정착해드(Head)에 삽입시키어 강선의 복원력으로 신장량의 손실을 최대한 막는다.

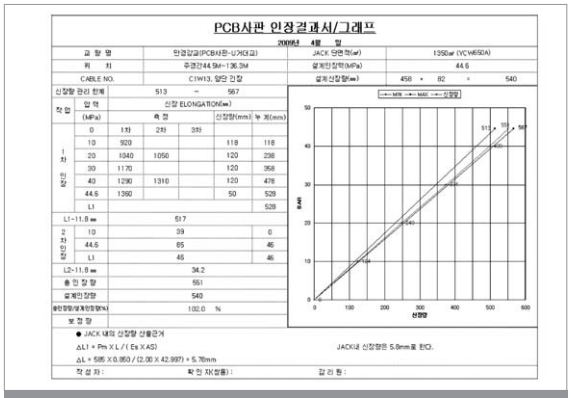
❽ 정착후 인장측 쐐기를 탈형하고 인장기를 이탈후 작업을 완료한다.

4) 인장관리

❶ 단계별로 인장을 실시하고 계산된 신장량과 비교한다.

❷ Prestress의 측정은 신장량 측정방식 및 다이얼 게이지 환산에 의한 측정방식이 있으며 본 교량에서는 신장량 계산에 의한 측정방식을 적용토록 한다.

❸ 필요한 신장량은 PS 긴장재의 평균하중–신장곡선으로부터 결정해야 한다.



PCB사판 인장결과서/그래프

2008년 4월 일

교 량 명	한경강교(PCB사판-상거더교)			JACK 장면적(㎠)	1350㎠ (YCW650A)
위 치	우경간(44.9m~136.3M			설계인장력(MPa)	44.6
CABLE NO.	C1W13, 상단 긴장			설계신장량(㎜)	458 + 82 = 540
신장량 관리 한계	513 ~ 567				

작업	압력 (MPa)	신장 ELONGATION(㎜) 측정		신장량(mm)	누계(mm)
1차 인장	0	113	231	331	
	10	920			118
	20	1040	1050		120
	30	1170			120
	40	1290	1310		120
	44.6	1350			50
	L1				
L1=11.8㎜		517			
2차 인장	10	39			0
	44.6	85			46
	L1	46			46
L2=11.8㎜		34.2			
총 인 장 량		551			
설계인장량		540			
총인장량/설계인장량(%)		102.0 %			

보 정 량

● JACK 내의 신장량 상쇄근거

ΔL1 = Pm X L / (Es X AS)

ΔL = 595 X 0.860 / (2.00 X 42.997) = 5.78mm

JACK내 신장량은 5.8mm로 한다.

작 성 자 : 확 인 자(성명) : 검 리 원 :

[그림 7] 인장기록부

❹ 신장량은 Tendon 1개당 설계치와 실측치의 차이가 ±15% 이하이어야 하고, 한 단면 내의 모든 Tendon에 대하여 ±5% 이내이어야 한다. 만일 위의 범위를 월등히 초과하거나 이하인 경우에는 책임기술자 또는 감독관의 지시를 따라야 한다.

❺ 인장관리를 하는 목적은 각각의 설계도면에 소정의 Prestress를 도입하여 구조물의 수명과 사용성을 향상시키려는 것에 있다. 일반적으로 오차를 수정하지 않고 긴장력을 주면 Strand에 과도한 또는 과소한 Prestress가 도입되어 과도한 경우에는 Strand가 항복점을 넘어서는 경우가 발생하고 과소한 경우에는 설계시 가정된 Prestress가 확인되지 못하여 설계하중에 대하여 Crack 등이 발생할 우려가 있다.

5) 품질관리

❶ 허용 인장력(도로교 설계기준 P.308)

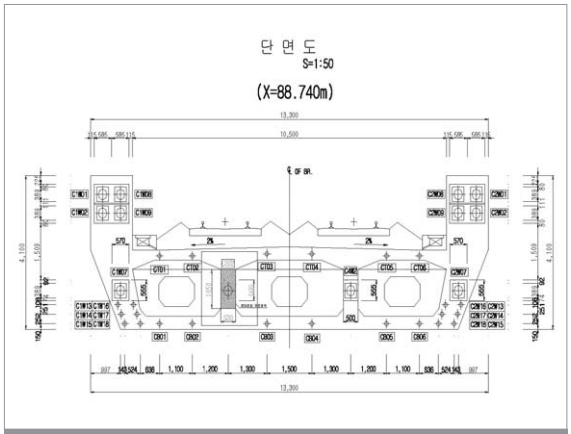
- 정착장치의 활동에 의한 손실과 마찰에 의한 손실을 상쇄하기 위해서 정착 전 짧은 시간동안에 $0.9f_{py}$까지 인장응력이 증가되어도 좋다.

❷ 신장량 계산 및 관리

- 설계상의 인장력 및 늘음량 값과 실제 인장시의 값이 5% 이내이어야 한다.
- Prestress의 관리
  (한국도로공사 공사감독원 실무자료집, 1999)
  - 전체 강연선의 인장결과는 100±5% 이내에서 관리하고 그 이상의 결과가 나올 경우는 별도의 검토가 필요하다.
  - 1개의 Tendon 인장시 설계인장력에 도달하기 전에 신장량이 100%가 나온 경우에는 설계신장량의 1 ~ 10% 범위 내에서 중단하지 말고 설계인장력까지 인장하여야 한다.
  - 1개의 Tendon 인장시 설계인장력까지 인장하여도 신장량이 95% 미만일 경우 $0.8P_u$ 또는 $0.9P_y$값 중 작은값 이하까지 인장한다.

6) 인장시 내부 벽체 균열에 의한 보완 시공

❶ 인장작업 완료후 내측벽체에 균열이 발생하고, 정착구가 콘크리트 중앙으로 인입되어 파손의 우려가 발생하였다.

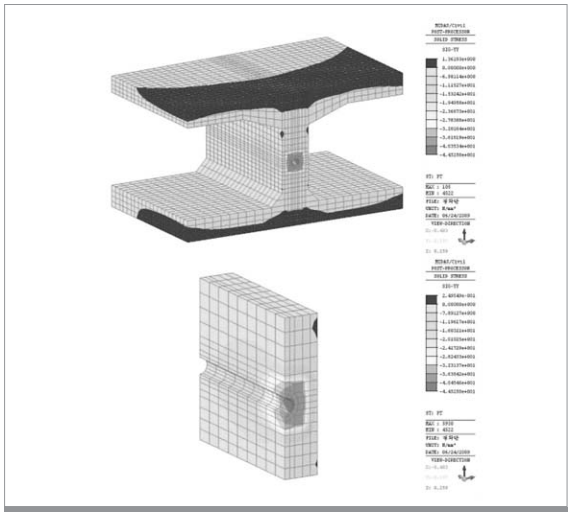


[그림 8] 균열 발생 위치

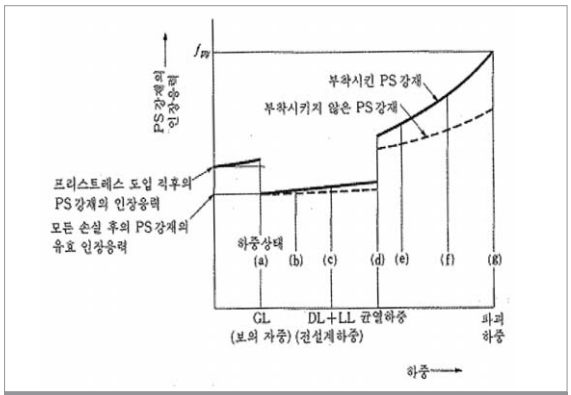
❷ 구조 재해석 결과

정착부에 발생하는 지압응력이 허용지압응력을 미소하게 초과하는 것으로 해석되었다.

기 시공된 정착단부의 경우 [그림 10]을 참고하면, Grouting된 PS 구조물의 경우 자중이나 활하중 등의 작용으로 Tendon의 응력은 약간 증가하게 되나 강연선의 Stressing 후 다양한 손실로 인해 PS 강연선의 응력은 초기 긴장시의 수준보다 낮음을 알 수

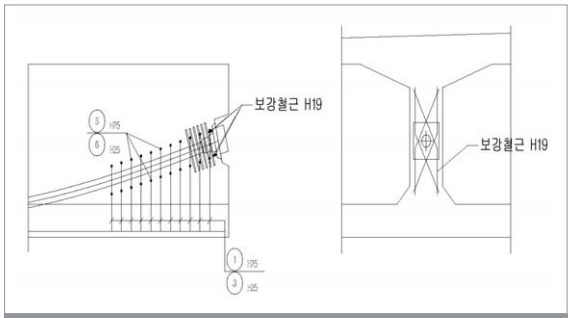


[그림 9] 구조해석 결과



[그림 10] 하중에 따른 PS 강재의 인장응력

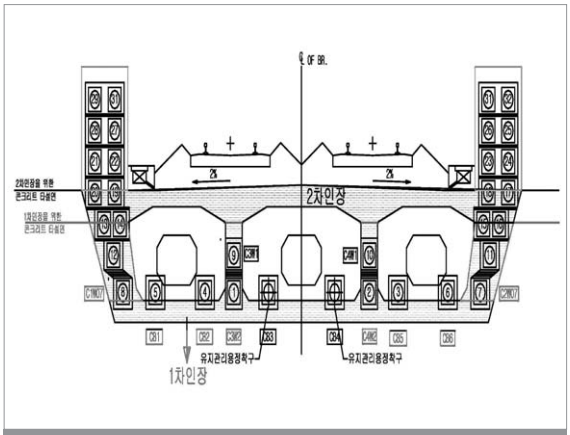
있다. 따라서 강연선의 긴장력은 초기 긴장시가 최대라고 볼 수 있으며 긴장 후 최초에 균열이 발생하지 않은 경우에는 시공중 및 시공 완료후에 추가의 균열이 발생할 가능성은 없는 것으로 판단되어 [그림 11]과 같이 정착판 후면에 보강철근을 배근하여, 발생하는 지압응력에 추가로 저항할 수 있도록 하였다.



[그림 11] 보강철근 배근

7) 부분인장 검토

상부구조물(PCB사판 + U거더) 의 시공은 당초 방호벽까지 타설 후 전체를 인장하는 것으로 계획되었으나, 공기단축을 위하여 Box 하부슬래브 타설후 1차 인장, 벽체 및 상부슬래브 타설후 나머지 박스부를 인장하는 것으로 변경하였다.



[그림 12] 부분인장 검토단면

8) 구조 재해석 결과

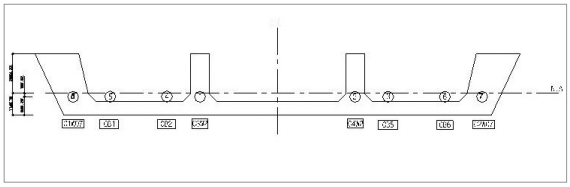
❶ PSC Box 거더 하부슬래브 검토

- 검토조건
  - 콘크리트(당초구조계산서 참조)
  - 공칭강도(f_{ck}) : 40MPa
  - 탄성계수(E_c) : $8{,}500\sqrt[3]{(f_{ck}+8)}$ = 29,070MPa
  - 즉시손실에 의한 휨압축 허용응력 : 16.5MPa
  - 즉시손실에 의한 휨인장 허용응력 : 1.37MPa

❷ PS강재

- 강연선 규격 : SWPC 7B – 15.2mm × 22strands
- 공칭 단면적 : 138.70mm²/strand
- 도입긴장력(f_{pj}) : 1,360 MPa

❸ 단면제원



- 단면적(A) : 31.597m²
- 단면이차모멘트(I) : 29.443m⁴
- 인장면까지 거리(y_t) : 2.052m
- 압축면까지 거리(y_b) : 1.145m
- 중립축에서 PS 강재까지 거리(e) : 0.186m

❹ 허용 처짐량 [철도설계기준(철도교편) 참조] :

δ_a = L/800 = 55,000/800 = 68.75mm

- 프리스트레싱에 의한 응력검토
  - 전체 PS 도입력

    P = 1,360MPa × 138.70mm²/strand × 22strands × 8EA = 33,199.232kN

  - 상연응력

$$f_t = \frac{P}{A} - \frac{P\cdot e}{I}y_t = \frac{33{,}199.232\text{kN}}{31.597\text{m}^2} - \frac{33{,}199.232\text{kN} \times 0.186\text{m}}{29.443\text{m}^4} \times 2.052\text{m}$$

$$= +0.6\text{MPa} < f_{ta} = -1.37\text{MPa} \cdots \text{OK}$$

  - 하연응력

$$f_b = \frac{P}{A} - \frac{P\cdot e}{I}y_b = \frac{33{,}199.232\text{kN}}{31.597\text{m}^2} + \frac{33{,}199.232\text{kN} \times 0.186\text{m}}{29.443\text{m}^4} \times 1.145\text{m}$$

$$= 1.3\text{MPa} < f_{ba} = 16.5\text{MPa} \cdots \text{OK}$$

  - 솟음량

$$\delta_{max} = \frac{P\cdot e\cdot L^2}{8\cdot E\cdot I} = \frac{33{,}199.232\text{kN} \times 0.186\text{m} \times (55.0\text{m})^2}{8 \times 29{,}070\text{MPa} \times 29.443\text{m}^4}$$

$$= 2.73\text{mm} < \delta_a = 68.75\text{mm} \cdots \text{OK}$$

❺ 검토결과

FSM공법을 적용한 만경강교 접속교(2@55.0m) 시공시, PSC Box 하부슬래브 강선인장에 따른 구조적 안전성은 확보하였다. 따라서 1차 인장 작업후 연속적으로 다음 경간 하부슬래브 타설이 가능하여 공기단축의 효과를 얻었다.

5. 시공사진

[그림 13] 하부공 시공사진

[그림 14] 상부공 시공사진

[그림 15] 단계별 전경 사진

6. 맺음말

만경강교(PCB사판 + U거더)는 기 시공된 사판교 철도교량 중 최대 연장의 교량이다. 만경강교를 시공하면서 상부 Box의 부분 인장 검토 등을 통해 공기단축의 성과를 이루어냈듯이 공법 특성에 따른 상세해석 및 구조검토를 통하여 체계적인 공사관리에 만전을 기하여, 유사 공종 공사 진행시 참고자료가 되기를 기대한다.