



운암대교

[엑스트라도즈드(Extradosed교)]

설계 및 시공사례

글 | 조건웅 | 순창-운암(4공구)도로현장 과장
전화 063-221-0954 E-mail : kwcho@ssyenc.com

최근에는 국토의 효율적인 활용을 위하여 해상이나 하천과 계곡 등에 100m 이상 되는 중·장경간의 대형 교량들이 많이 건설되고 있다. 또한 이 대형 교량들은 지역적 특성이 가미된 랜드마크 기능이나 주변 환경과 조화로운 교량형식 이어야 하고, 구조적 안정성 및 경제적 효율성까지 갖춰야 하는 것이 요즘의 트렌드가 되고 있다.

사장교처럼 거대하고 웅장하지는 않지만 100~200m 경간장에서 가장 경제적이고 상징성까지 갖춘 엑스트라도즈드(Extradosed) 교로 시공되고 있는 운암대교를 소개하고자 한다.

1. 개요

순창-운암간 도로확장공사는 군산에서 고흥을 연결하는 기존 국도 27호선의 교통량 급증으로 인한 교통 혼잡을 해소하고, 전주시 관내 국도 우회도로와 함께 전북 서·남부 지역의 물동량 수송을 원활하게 할 목적으로, 전주에서 순창간 왕복 2차로 도로를 4차로 확장하는 공사의 일부로서 국토해양부 익산지방국토관리청에서 발주하였다.

이 중 순창-운암(4공구)는 이미 완공된 전주에서 운암구간을 연결하고, 또한 주변 산세가 수려한 호수의 순환도로와 연계하여 목적 호를 횡단하는 교량인 운암대교가 시공 중에 있다.

운암대교는 전라북도 임실군 운암면 운종리에서 완주군 구이면 백여리를 잇고, 옥정호를 횡단하는 연장 910m의 교량으로써 240m의 PSC 박스 거더교(FSM공법)와 FCM공법을 이용한 670m 6경간

엑스트라도즈드교(Extradosed)로 대안 설계되어 시공되고 있다. 거대하지는 않지만, 화려하고 슬림하여 주변 경관과의 어울림이나 상징성이 우수한 엑스트도즈드교로 대안설계 계획된, 운암대교의 설계 검토내용과 시공과정 중심으로 소개하고자 한다.

1-1. 현장 개요

1) 위치도



[그림 1] 순창-운암(4공구) 위치도

2) 공사 개요



[그림 2] 순창-운암(4공구) 현장 개요

공사명 : 순창-운암(4공구) 도로확장공사

위 치 : 임실군 운암면 운종리~완주군 구이면 백여리(국도 27호선)

사업량 : 연장 L=2.485km, 도로 폭 B=20m(4차로)

사업비 : 85,225백만원(대안입찰)

시행청 : 국토해양부 익산지방국토관리청

1-2. 운암대교 설계 현황

상부 형식 : PSC 박스거더교(접속교)+Extradosed교(주교량)

경관 구성 : 4@60 + 75 + 4@130 + 75 = 910m

가설 공법 : FSM(접속교), FCM(Extradosed교)

교량 폭원 : 23.0m (왕복4차로)

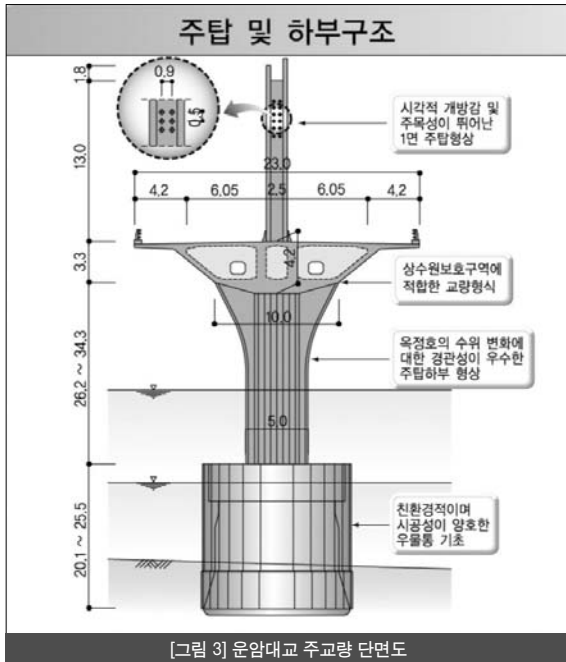
종단 및 평면 선형 : -2.0%, 직선교(R=∞)

주탑 및 사재형식 : 1면 주탑 및 Multi tube 형식(관통고정방식)

하부 형식 :

- 교각 : 직접기초 6기, 우물통기초 3기

- 교대 : 강관말뚝(시점부), 직접기초(중점부)



2. 엑스트라도즈드(Extradosed)교의 이해

2-1. Extradosed교의 개념

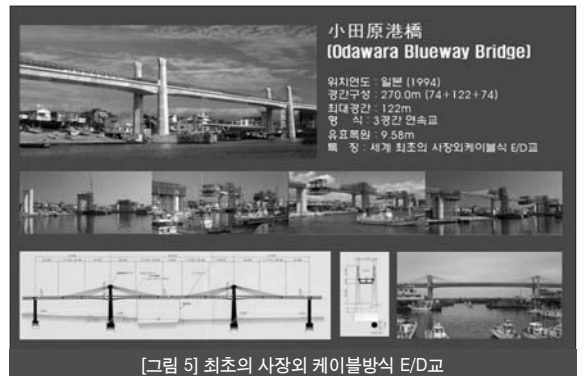
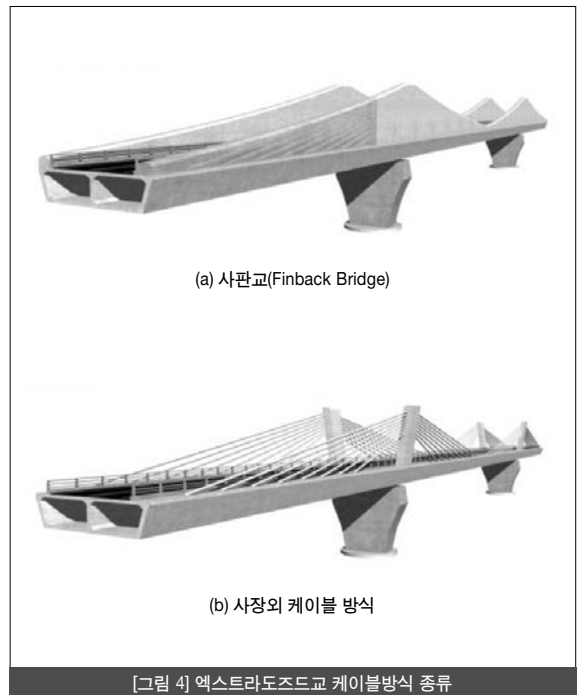
사전적인 의미로는 ‘범위 외에 보강된’ 이라는 뜻으로 다시 말해 ‘사재 케이블로 보강된 PSC 박스거더교’라 표현 할 수 있다.

1988년 프랑스의 Jacques Mathivat에 의해 이론적 발전을 거듭하여 ‘Extradosed Prestressed Bridge’라는 용어가 세상에 나오게 되었고, 사재에 의해 보강된 교량이라는 점에서 사장교와 유사하나, 주거더의 강성으로 단면력에 저항하고, 사재에 의해 대편심 모멘트를 도입, 거동을 개선한 구조형식이므로 Extradosed교의 주거더는 거더교에 가까운 특징을 가진다.

2-2. Extradosed교의 발전과정

초기 Extradosed교는 케이블을 콘크리트 벽체 속으로 배치한 사판교 형식이었으며 1994년 일본에서 케이블을 외부로 노출시킨 사장 외 케이블 방식의 Odawara(小田原)교 건설 이후로 비슷한 형태의 교량이 많이 시공이 되어 오고 있다.

국내에는 1997년 제2양평대교(양근대교)에 사판방식으로 처음 적용되었고, 2002년 이후 여수에 평여2교나 녹산대교 등 사장 외 케이블 방식이 첫 선을 보인 이후로, Extradosed교가 PSC 콘크리트 교의 경제성과 사장교의 경관성을 동시에 추구할 수 있는 형식으로 인정받으며 최근 설계·시공에 각광을 받고 있다.





3. 대안 입찰시 교량 계획

3-1. 1차 교량 상부 형식 선정

대안입찰 당시에 '교량의 주경간장은 원안(그림 8)과 동등하거나 그 이상이어야 한다'는 대안설계 지침에 따라 [그림 6]과 같이 FCM공법을 이용한 PSC 박스거더교, Extradosed교, 사장교 등을 비교한 결과, 경관성에서 우수하고 옥정호의 유심부를 통과하는 곳에만 주경간교를 계획하여 경제성에서도 우수한 비교 3안의 Extradosed교와 5안의 사장교 형식을 중점적으로 검토하였다.

1차 교량형식 비교안

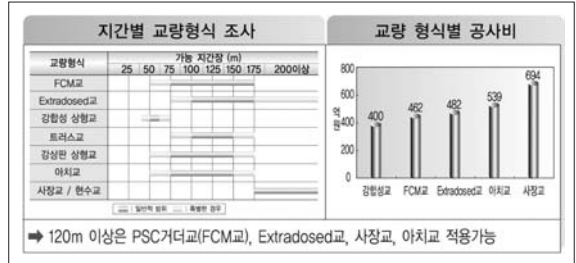
- 기본조건 : 주경간부는 490m 이상의 콘크리트(PSC)교량형식
- 상기조건을 만족하는 1차 교량형식 비교후 경관성·경제성에서 적합한 2차 교량형식 비교안을 선정

구분	종 단 면 도	특 징	선정
비교 1안		<ul style="list-style-type: none"> 원안과 같은 형식의 구조계 주두부 형고가 과다하여 개방감 확보 미흡 지역적 상징성을 나타내기에는 다소 부족한 교량형식 	
비교 2안		<ul style="list-style-type: none"> 천구간을 같은 형식의 FCM 공법으로 하여 통일성 강조 육상공작인 사장부도 FCM을 적용하여 경제성 불리 경관성 및 인자성 다소부족 	
비교 3안		<ul style="list-style-type: none"> 수상구간인 주경간교에 Extradosed교를 설치하여 경관성, 경제성 및 시공성을 모두 만족 주두부 형고 축소 및 표준 경간장 확대로 개방감 개선 	●
비교 4안		<ul style="list-style-type: none"> 운암대교 천구간을 Extradosed교로 계획 개방감 및 경관성은 우수하나 시공시 안정성 및 경제성은 매우 불리 	
비교 5안		<ul style="list-style-type: none"> 수상구간에 사장교를 계획하여 지역적 Landmark 역할 기대 보강형 형고가 최소화되어 다리밑 공간 개방감 우수 높은 주탑은 경관적으로 부담 	●
비교 6안		<ul style="list-style-type: none"> 주경간부에 Landmark적 이미지를 강하게 부여할 수 있는 3주탑의 사장교 형식 사장교 구간을 넓게 계획하여 경제성은 불리 	

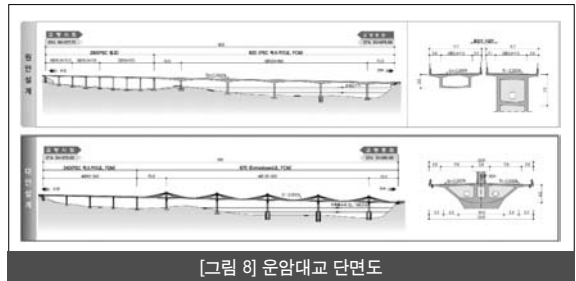
검 토 결 과

- 경관성에서 우수하고 옥정호의 유심부를 통과하는 곳에만 주경간교를 계획하여 경제성에서도 우수한 비교 3안의 Extradosed교와 비교 5안의 사장교 형식을 중점적으로 검토

[그림 6] 1차 교량형식 비교안



[그림 7] 지간별 교량형식 비교



3-2. 2차 교량 상부 형식 선정

VE 평가 결과(그림 9) 사장교는 상징성과 조형적 미관성은 우수하나 교량 설치 주변 경관을 고려해 봤을 때 높은 주탑은 오히려 위압감을 조성하므로 경관의 조화성이 떨어짐을 알 수 있다. 반면에 Extradosed교의 낮은 주탑 형상은 경관과의 일체감을 주며 상징성과 조형적 미관성 및 경제성 또한 사장교보다 우수함을 알 수 있다. [그림 10]에서 보듯이 주변 자연 경관과 조화적 측면에서 Extradosed교 형식을 선정하게 되었다. 만약에 운암대교가 넓게 트인 해상에 위치한 교량이었다면 사장교가 유리한 선택을 받았을 것이다.





[그림 10] 경관 조화성 검토

2차에 걸친 교량형식 비교결과(그림 11)와 같이 VE/LCC 평가 대안1(6경간 Extradosed교 1면 주탑 케이블)이 타안에 비해 가치점수가 월등하고 옥정호 통과 교량으로서 주변 경관과 조화가 우수함을 알 수 있다.

3-3. 최적 경간장 검토

Extradosed교는 주탑 개수에 따라 형식을 구분 할 수 있는데 1면 주탑형식(경간장 L=130m, 6경간)과 2면 주탑형식(경간장 L=160m, 5경간)을 항목별로 평가한 결과는 [그림 11]과 같다.

1면 주탑형식이 선정된 이유는 다음과 같다.

- ① 상부 구조적 안전성이 우수함.
- ② 주두부 형고가 낮고 세그먼트 길이가 일정하여 F/T(Form Traveler)작업이 용이하며, 기초 규모는 상대적으로 작아 시공성이 좋음.
- ③ 전면교체가 필요 없는 케이블 시스템(VSL SSI 2000, Multi tube 방식)사용 및 1대의 이동식 점검차로 상시 점검이 가능한 등단면 형식임.
- ④ 운전자가 수려한 주변 경관을 잘 볼 수 있도록 시거확보가 용이함.
- ⑤ 2면 주탑 형식에 비해 기초 규모가 작아 기초 공사비를 적게 할 수 있는 장점들이 있다.

그래서 최종적으로 경간장 L=130m 6경간 엑스트라도즈드교를 주교량 최적안으로 선정하였다.

구분		대안 1 (선정안)	대안 2	대안 3	대안 4
교량형식	종단면도				
	횡단면도				
항목	가중치				
성능	시공성	• 세그먼트가 일정하면 단면에서 F/T작업성 용이 • 기초규모 축소로 현장작업기간 최소화	• 세그먼트가 일정하지 않아 F/T작업성 불리 • 기초 규모가 커져서 장비사용 및 시공 난이도	• 시공중 정력관리 및 덤퍼관리 난이도 • 주탑규모가 크고 보강형 중앙차 과다하여 시공 난이도	• Floating 시스템 적용으로 가설중 시공관리 난이도 • 보강형 중앙차 적어서 F/T운용은 용이
	환경성	• 수질오염 최소화 가능한 교량형식	• 수질 오염 최소화가 가능한 교량형식	• 수질오염 최소화가 가능한 교량형식	• 수질오염 최소화 가능한 교량형식
	유지관리	• 중앙3개 주탑을 감경하여 유지관리 유리 • 이동식 점검차 사용이 가능한 등단면 계획	• 중앙2개소 주탑을 감경하여 유지관리 최소화 • 이동식 점검차 사용이 불리한 등단면	• 케이블 및 정착구가 외부에 노출되어 유지관리 불리 • 경간마다 이동식 점검차 설치가 필요	• 케이블 및 정착구가 외부에 노출되어 유지관리 불리 • 이동식 점검차 사용이 가능하도록 면적발생 배제
	구조적 안정성	• 주탑 규모를 축소하여 지진하중 및 온도하중에 유리 • 주탑부 강성차리로 가설시 및 지진시 안정성 유리	• 주탑 높이에 비해 경간장 과다로 온도하중 증가 • 세그수 많고 가설기간 길어 대안1에 비해 불리	• 2면 케이블 배치 및 주탑 강성률 가설시 안정성 확보 • 옥정호 경관에 비해 과도한 주탑이 주변에 압박감	• 주변경관에 비해 높은 주탑이 주변에 압박감 • 시간성 및 Landmark성은 우수하나 지역적으로 부적절
	경관성	• 연속적인 5개의 주탑으로 인한 상징적 경관 연출 • 등단면 계획, 1면 케이블 배치를 개방감 우수	• 반단면 계획으로 다리길 공간 압박감 • 수위변화에 대한 2면 케이블 주탑형식 대응성 부족	• 시간성 및 Landmark성은 우수하나 지역적으로 부적절 • 공사비 : 570.5억(380만원/m ²)	• 공사비 : 530.3억(335만원/m ²)
경제성	• 공사비 : 465.9억(302만원/m ²)	• 공사비 : 486.3억(320만원/m ²)	• 공사비 : 896	• 공사비 : 773	
종합평가	• 시공성, 구조적 안정성, 경관성, 경제성 우수	• 구조적 안정성, 경제성 불리	• 시공성, 구조적 안정성, 경제성 불리	• 시공성, 구조적 안정성, 경제성 불리	
성능	VE/LCC 평가	• 설계가능점수(F) : 973점 • LCC : 756억원 • 상대LCC(C) : 1.00 • 가치점수(V=F/C) : 973점	• 설계가능점수(F) : 896점 • LCC : 788억원 • 상대LCC(C) : 1.04 • 가치점수(V=F/C) : 861점	• 설계가능점수(F) : 773점 • LCC : 870억원 • 상대LCC(C) : 1.18 • 가치점수(V=F/C) : 655점	• 설계가능점수(F) : 746점 • LCC : 846억원 • 상대LCC(C) : 1.12 • 가치점수(V=F/C) : 666점
	(VE평가)				

[그림 11] 2차 교량 형식 비교안



4. 공종별 시공 순서

작업 순서는 중앙의 P5를 시작점으로 P9방향으로 FCM구간을 시공하고, FSM구간은 P1방향으로 시공하게 된다.



[그림 12] 운암대교 시공순서

4-1. FCM구간(주경간교)

1) 설계 개요

교량 형식 : Extradosed 연속교

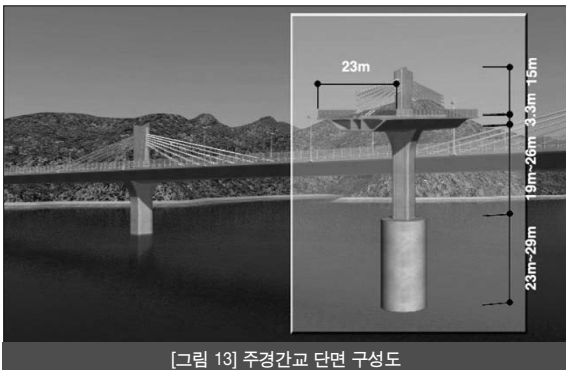
가설 공법 : FCM(Free Cantilever Method)

경간 구성 : 75m + 4@130 + 75m = 670m(6경간 연속교)

교량 폭원 : 23.0m (왕복 4차로)

기초 형식 : 우물통 기초 3기 및 직접기초 2기

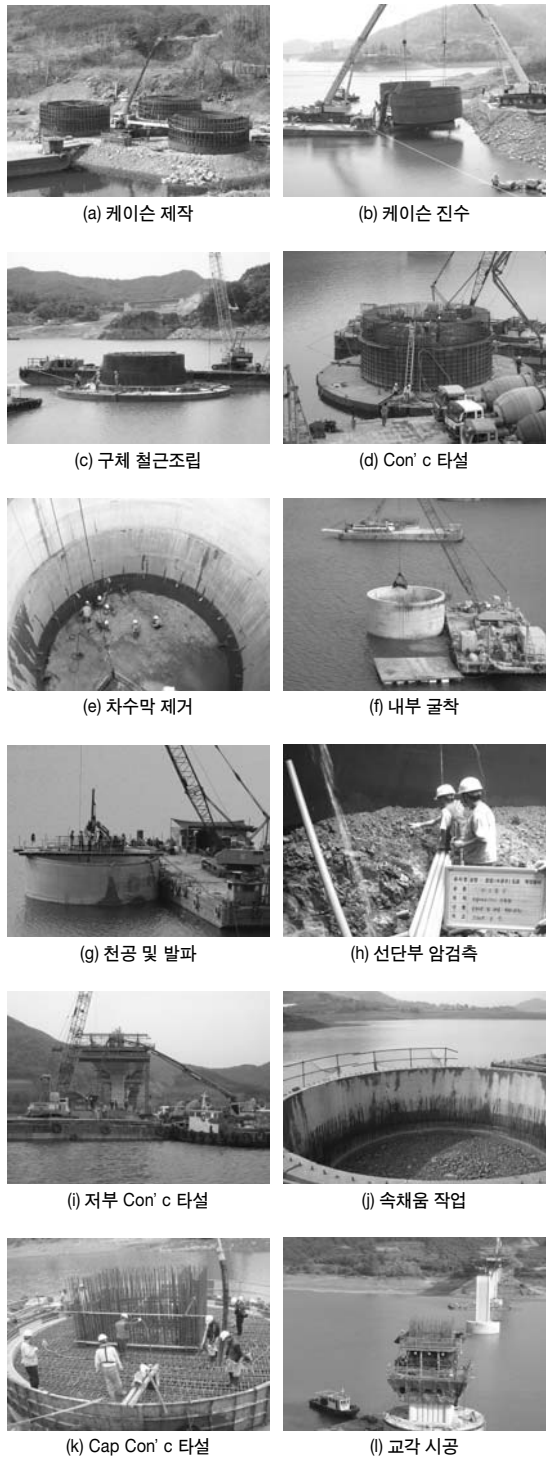
상부 주형 : 3Cell 형식



[그림 13] 주경간교 단면 구성도

2) 하부공 시공

우물통기초 및 직접기초는 굴착을 통해 소정의 지지암반층에 기초를 설치하는 공법으로 지지층 심도 및 수심을 고려하여 설계하였다. 옥정호는 수위변화가 심하여 저수위시 빠른 교각 시공을 하기 위해 Slip-form공법을 채택하였다. 공정순서를 사진을 통해 살펴보면 다음과 같다.



(a) 케이슨 제작

(b) 케이슨 진수

(c) 구체 철근조립

(d) Con' c 타설

(e) 차수막 제거

(f) 내부 굴착

(g) 천공 및 발파

(h) 선단부 암검측

(i) 저부 Con' c 타설

(j) 속채움 작업

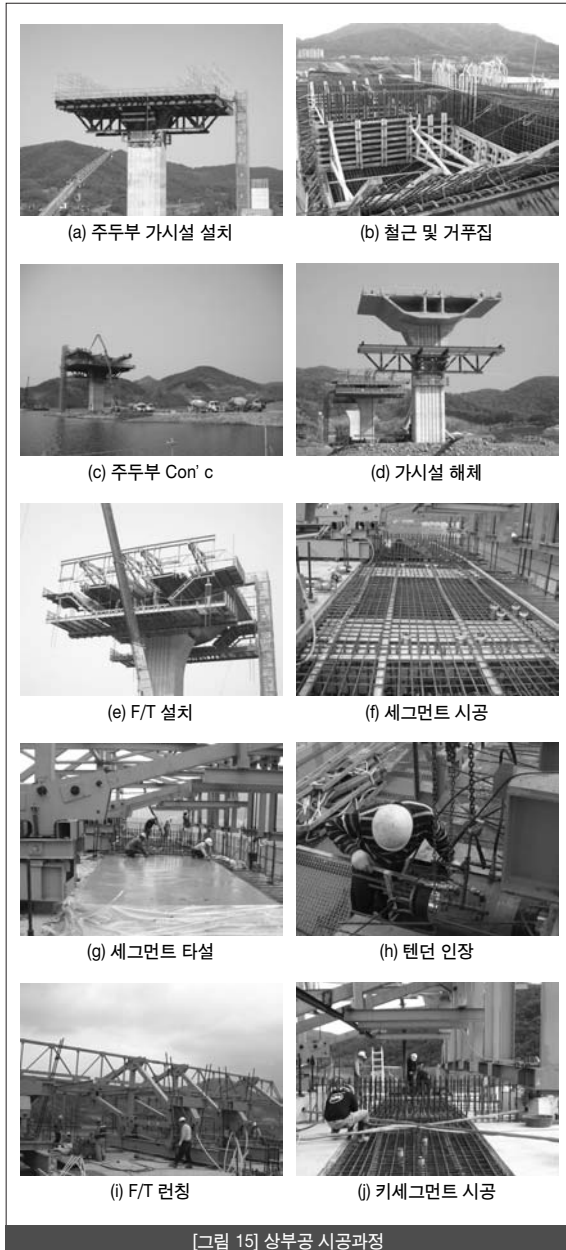
(k) Cap Con' c 타설

(l) 교각 시공

[그림 14] 주경간교 하부공 시공과정

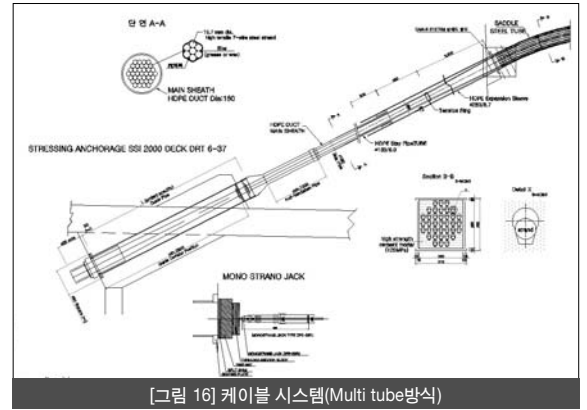
3) 상부공 시공

코핑부 시공이 마무리 되면 F/T(Form Traveler) 설치를 위하여 주두부(L=14m)를 시공한다. 세그먼트(segment) 시공순서로는 F/T 설치 → (철근 및 거푸집 작업 → Con'c 타설 → 텐던인장 작업 → F/T 런칭) → Key segment 시공 순이다. ()안의 작업은 세그먼트 마다 반복작업을 하며 1Cycle은 평균 15일 소요된다.



4) 주탑 및 케이블공 시공

케이블은 마찰 고정방식으로 주탑의 강재 새들(Saddle)에 고정되며, 새들은 1차 타설한 주탑 위에 정확한 위치와 높이로 셋팅되어야 한다. PSC 거더교와 달리 주탑에 설치된 사재 케이블이 교량의 거동을 개선하게 되는데, 케이블은 개별 슈스 강연선(아연도금+그리스+HDPE피복)을 사용하여 강연선 부식 및 기계적 손상을 막을 수 있게 하였다.





(g) 인장 작업

(h) 전경

[그림 17] 주탑 및 케이블공 시공과정

또한, HDPE 보호관은 현장에서 용착장비를 이용하여 접합을 하며 소정의 인장강도를 확보해야 한다. VSL SSI 2000 System은 새들 부에서의 마찰조정방식을 채택하여 내부 그라우팅을 하지 않으므로 향후 유지보수시 개별 Strand 교체나 재인장 작업이 가능한 공법이다.

4-2. FSM구간(접속교)

1) 설계 개요

교량 형식 : PSC 박스 거더교

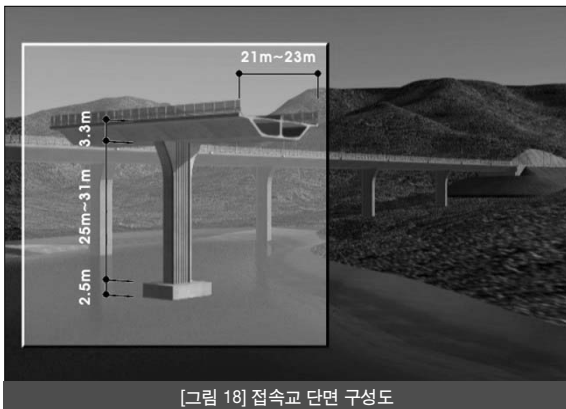
가설 공법 : FSM(Full Staging Method)

경간 구성 : 4@60.0m = 240m (4경간 연속교)

교량 폭원 : 21.2m ~ 23.0m (왕복 4차로)

기초 형식 : 직접기초 4기

상부 주형 : 2Cell 형식



[그림 18] 접속교 단면 구성도

2) 하부공 시공

접속교 기초는 주경간교와 동일 단면을 채택하여 통일화된 경관과 시공성을 높였다.



(a) 기초 터파기

(b) Lean 콘크리트



(c) 기초 작업

(d) 기초 타설 전경



(e) 교각 시공

(f) 코핑 시공

[그림 19] 접속교 하부공 시공과정

3) 상부공 시공

FSM(Full Staging Method)공법은 동바리를 이용하여 가설하는 공법으로 당 현장은 지주식 강재 Bent를 사용하였다. 거푸집은 시스템 폼을 이용하여 크레인을 이용한 설치 및 원치를 활용하여 신속한 해체가 용이하도록 하였다.



(a) Bent 기초 작업

(b) Bent 설치



(c) 거푸집 설치(외부)

(d) 철근 조립(B&W)

[그림 20] 접속교 상부공 시공과정



최근 건설되는 도로에는 국토의 효율적인 활용을 위해 해상이나 하천과 계곡 등에 100m이상 되는 중·장경간의 대형 교량들이 많이 건설되고 있다. 또한 이 대형 교량들은 단순히 길고 큰 것에만 의미를 두지 않고, 지역적 특성 및 주변 환경과 조화로운 교량 형식을 갖추어야 한다. 운암대교는 사장교처럼 거대하고 웅장하지는 않지만 100~200m 경간장에서 가장 경제적이고 상징성까지 갖춘 엑스트라도드(Extradosed)교로 시공되어 지고 있다. 교량에서 바라보이는 옥정호 주변은 한 폭의 산수화를 연상시키는 풍경을 담고 있어 시공이 완료되면 수려한 자연 환경과 어우러져 지역의 대표 경관이 될 것으로 기대한다. S



참고문헌
순창-운암(4공구) 도로확장공사 설계보고서, 2004, 쌍용건설㈜

5. 결론

운암대교는 전주시 관내 국도 우회도로와 연계한 국도 27호선 확장공사 중 옥정호를 통과하는 교량으로 2010년 11월 준공을 목표로 시공 중이다.

현재 상부 시공에 필요한 우물통과 교각이 완료 되었고, 주경간교 2경간과 접속교 PSC 박스거더 60%가 시공되어진 상태이다.

