



낙동대교(FCM)의 설계와 시공

Design and Construction of Nakdong Grand Bridge(FCM)

02

이대우 Dae Woo Lee
 동일기술공사
 도로감리사업본부
 상무보

박순호 Soon Ho Park
 한국도로공사 부산외곽순환
 고속도로 건설사업단
 공사관리팀장

송승후 Sung Hu Song
 한국도로공사 부산외곽순환
 고속도로 건설사업단
 제8공구 주감독

최문실 Moon Shil Choi
 한국도로공사 부산외곽순환
 고속도로 건설사업단
 공사관리팀 공사과장

이재구 Jae Koo Lee
 대우건설(주)
 부산외곽8공구현장
 공사팀장

1. 머리말

고속국도 제600호선 부산외곽순환고속도로는 경상남도 김해시 진영읍 우동리와 부산광역시 기장군 일광면 화전리를 잇는 48.8km 길이의 고속도로이다. 이중 대우건설에서 시공하는 제8공구의 낙동대교는<그림 1> 김해시 대동면 월촌리와 부산광역시 북구 금곡동을 연결하는 교량이며, 총공사 기간은 2011년 11월부터 2017년 12월까지 1,500일이다. 2014년 3월에 상부공 공정을 시작하여 2017년 7월 마지막 케이블 시공을 목표로 추진 중이다. 본 기사에서는 설계상 일반적인 FCM과 다른 주요특징과 본 교량에서만 적용한 시공방법 및 개선사항을 소개하고자 한다.

2. 낙동대교 상부공의 설계

낙동대교는 비대칭 곡선형 1주탑 콘크리트 사장교 형식이며, 상하행선 일체 교량으로 총 길이는 1,440m이며 너비



그림 1. 낙동대교 평면도 및 위치도

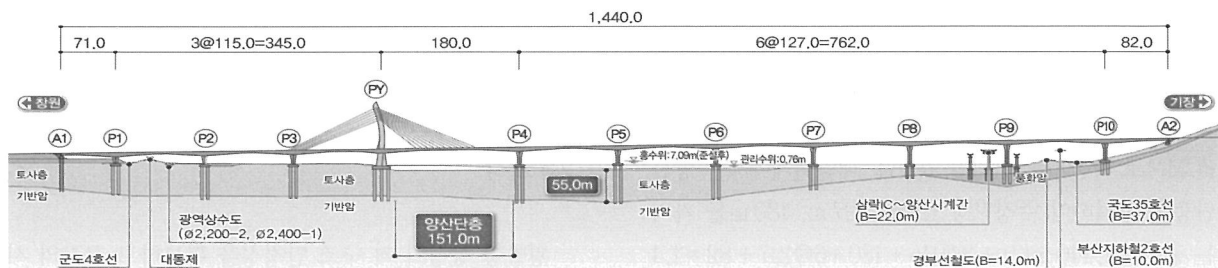


그림 2. 낙동대교 종단면도

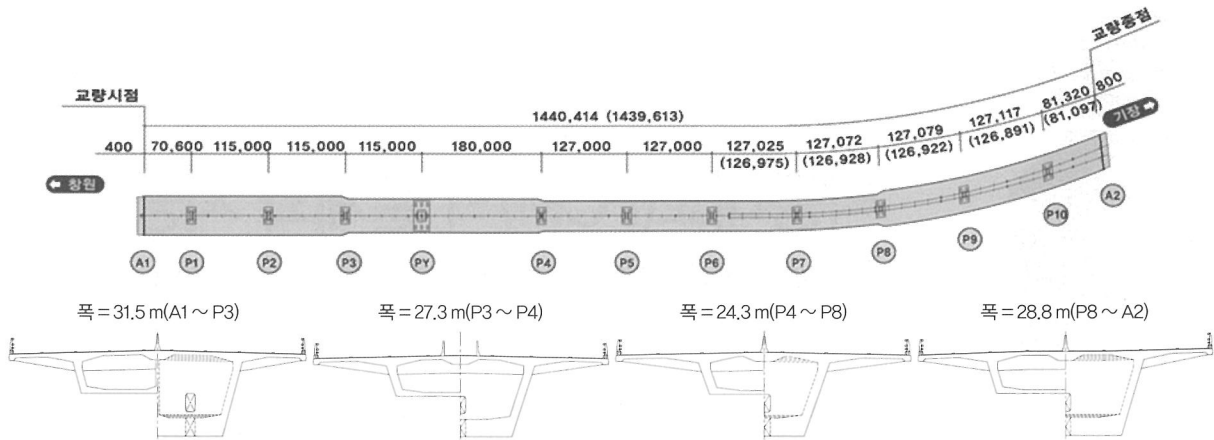


그림 3. 낙동대교 종평면도 및 횡단면도

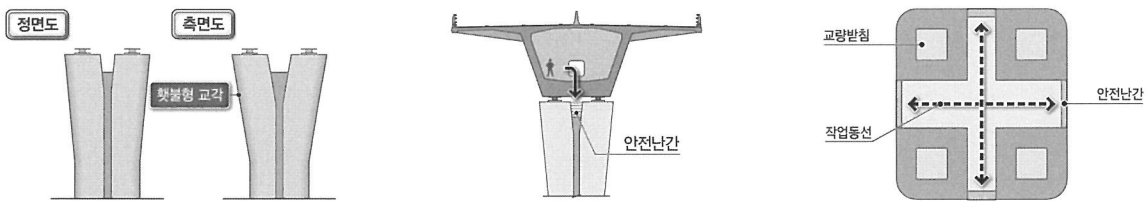


그림 4. 낙동대교 교각 일반도 및 점검 통로

24.3~31.5m, 단면 높이 7.0m~3.5m, 케이블은 1면 팬형식의 배치형태를 갖는 PWS 케이블을 적용하였다(그림 2).

2.1 주탑 사장교

인접한 대동화명대교 사장교(2주탑 사장교)와 차별된 교량형식과 주변 환경과 대비되는 형태미를 연출하고 낙동강의 새로운 볼거리를 제공하기 위해 1주탑 사장교로 설계하였다. 주탑과 교각 간의 조화와 비례미 적용에 따른 시각적인 균형감을 연출하기 위해 상부공 상단에서 78.0m 높이의 주탑을 설계하였다.

2.2 경간장의 변화

제8공구는 대안입찰 공구이며, 원안의 낙동대교는 주경간 116m, 124m으로 총연장 1,433m(65+10@116+124+84)의 PSC박스 거더교로 FCM으로 시공계획이 되어 있었다. 대안설계에서는 양산 단층을 고려하여 주경간장 115m, 127m, 180m를 가지는 총연장 1,440m(71+3@115+180+6@127+82=1,440)의 PSC박스 거더사장교로 설계되었다(그림 2, 3).

2.3 단면 기하구조의 변화

원안의 낙동대교는 3cell 박스단면으로 설계되어 있었다. 대안 설계에서는 본선과 램프의 접속(김해휴게소)을 고려하여 교량 시점은 31.5m, 1면 케이블이 배치되는 구간은 27.3m(분리형 중앙분리대 적용), 일반 구간은 24.3m, 마지막으로 금정터널과 접속을 고려하여 28.8m의 폭으로 설계하였다. 단면 형태는 단면 폭에 따라 2cell 구간(A1~P3)에서, 1cell 구간(P3~A2)으로 변화한다(그림 3).

2.4 케이블

주탑의 좌측은 2열 6개(케이블 간격 3.5~5.0m), 우측은 1열 11개의(케이블 간격 8.0m) 케이블을 배치하였다. 케이블은 최소 Ø7×163(7mm 케이블 163가닥)에서 최대 Ø7×367(7mm 케이블 367가닥)을 사용하였다.

2.5 교각

횡방향 강성이 커 구조 안정성을 확보하고 교각의 시공성이 우수한 햇불형 교각으로 설계되었다. 교각 상단

표 1. 낙동대교 시공 단계별 주요 특징 요약

	A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	A2			
지간장	71m	115m	115m	115m	180m	127m	127m	127m	127m	127m	127m	82m			
교량폭	31.5m			27.3m			24.3m				28.8m				
세그수	FSM	13	13	13	13	13	28	14	14	14	14	14	FSM		
F/T구분(kN)	FSM	1,530			1,410	1,240	1,440	1,240	1,310	1,100			1,310	1,500	FSM
F/T 운용순서	FSM	P3(L)→P2(L)→P1(L) P2(R)→P1(R)			P3(R)	P4(L)→PY(L) P4(R)→PY(R)			P5(L)→P7(L)→P6(L) P5(R)→P7(R)→P6(R)			P8(L)→P9(L)→P10(L) P8(R)→P9(R)→P10(R)			FSM
Key Seg접합순서	6	10	5	3	12	1	7	9	2	4	8	11			
F/T Form	o	o		o	o	o	o	o	o		o	o			
Key Seg Form			o							o					
가고정해체순서		9	5	3	강결	1	10	6	8	2	4	7			
영구 카운터웨이트				o(50 kN/m)						o(44 kN/m)					
임시 카운터웨이트						o(1,500 kN)				o(2,000 kN)					

에는 깊이 1,500 mm block-out으로 별도의 교량 점검 시설 없이 점검할 수 있도록 하였다(그림 4).

3. 낙동대교 상부공의 시공

주둥부를 중심으로 PSC박스 거더를 캔틸레버로 점진적으로 시공하는 FCM의 경우 시공이 진행됨에 따라 콘크리트 자중, 콘크리트 건조수축 및 크리프, Form Traveller(이하 F/T), 프리스트레싱, 케이블 긴장의 영향을 받아 처짐이 발생한다. 따라서 시공 전 공사 기간, 투입 장비(F/T) 대수를 고려하여 시공 순서도를 작성하고

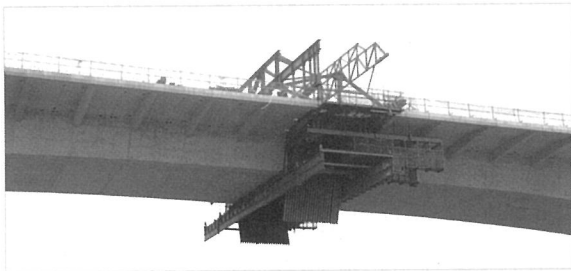


사진 1. 낙동대교 Key Seg 시공 전경
(위 : F/T 이용, 아래 : Key Seg Form 이용)

처짐 관리를 통하여 상부공을 시공한다. 대안 설계에서는 4조(8대)의 F/T를 계획하였으나, 공사 기간과 공정을 고려하여 9대의 F/T로 시공하고 있다.

3.1 상부공 1cycle

상부공 1cycle은 폼 설치/이동, 철근과 거푸집, 콘크리트 타설 및 양생, 텐던 긴장, 그라우팅 주입으로 구성되며 일반적인 세그먼트는 15일/seg, 주경간 케이블 블록 세그먼트는 27일/seg(케이블 블록, 보강벽, 케이블 설치 인장 등 고려) cycle 공정으로 시공하고 있다.

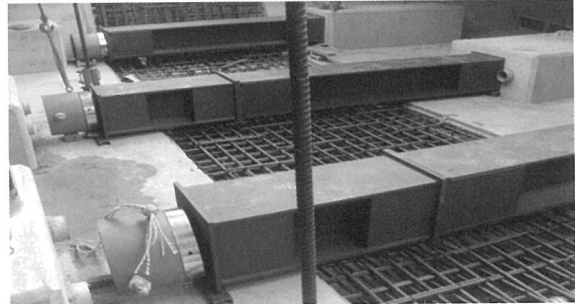
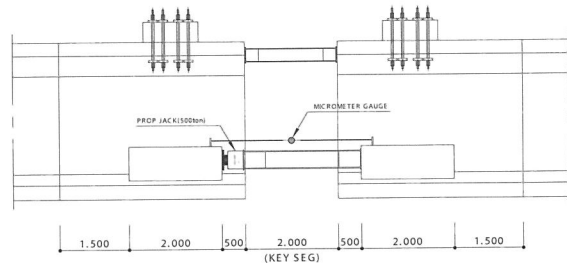


그림 5. 낙동대교 Key Seg H-Prop 개선
(H-Prop + 500톤 강연선 Jack 조합)



P3	4개 세그먼트 16m 구간 타설
P4	3개 세그먼트 12m 구간 타설
P8	7개 세그먼트 28m 구간 타설



P3	-
P4	1,500 kN 재하
P8	2,000 kN 재하

사진 2. 낙동대교 카운터웨이트
(위 : 영구 카운터웨이트, 아래 : 임시 카운터웨이트)

3.2 상부공 시공

시공단계별 모델링은 범용 구조해석 프로그램인 RM 2006 v8i를 사용하여 전체공정을 3차원으로 모델링 하였으며, CEB-FIP 1990 모델을 적용하여 크리프, 건조 수축의 영향을 고려하였다. 형상관리의 목표값으로 상부공은 지간 길이/2,000, 주탑은 주탑 높이/1,000, 케이블 장력은 이론적 장력 값의 ±10%를 적용하여 관리하고 있다. 시공 단계의 주요 특징은 <표 1>과 같다

3.3 가고정 콘크리트 받침 및 가고정 강봉

FCM 가설 시 발생하는 불균형 하중에 대한 안전장치로 가고정 장치(콘크리트 받침, 강봉)를 사용하게 된다. 본 교량의 콘크리트 받침은 강도 45 MPa를 사용하였고, 교량 점침을 위한 block-out을 이용하여 일반 FCM에 비해 크기가 3~4배 큰 관계로 균열을 방지하기 위하

여 H13 철근을 배치하였다. 가고정 강봉은 직경 75 mm 를 사용하였으며, 필요 강봉 계산 시 전도에 대한 안전을 1.5를 적용하였다.

3.4 Key Segment의 시공


Key Segment(이하 Key Seg)는 일반적으로 30일/1개 소의 공정으로 F/T를 이용하여 시공을 하나, 본 교량에 서는 단면형태, 단면 폭의 변화와 공사 일정 때문에 F/T와 Key Seg Form을 이용하여 시공하였다<사진 1>.

Key Seg 시공 시 온도에 의한 신축 거동을 제어하기 위하여 H-Prop를 박스단면 상·하부에 설치한다. 그 중 박스 하부에 사용하는 H-Prop은 시공 후 절단 해체하여 재사용할 수 없었지만 본 교량에서는 H-Prop과 500톤 강연선 Jack 조합으로 변경하여 H-Prop을 재사용이 가능하도록 하였다<그림 5>.

3.5 카운터웨이트

교량 폭의 변화로 세 교각(P3, P4, P8)의 시공 중 캔틸레버 상태에서 자중에 의한 불균형모멘트가 발생한다. 검토 결과 시공 단계 중 허용균열응력을 최대 23% 초과하여 균열 발생 우려가 있고, 균열이 발생하면 비선형적인 구조 거동으로 시공형상 관리(캠버 관리)에 어려움이 예상되었다. 이에 대한 대책으로 영구 및 임시 카운터웨이트를 재하하여 시공하였다<사진 2>.

4. 맺음말

낙동대교는 현재 첫 번째 케이블 거치를 준비 중이며, 2017년 7월 마지막 케이블을 시공할 예정이다. 위에서 설명한 바와 같이 본 교량은 비대칭 곡선형 콘크리트 1주탑, 경간장, 단면폭 및 단면 형태의 변화 등의 설계 특징이 있다. 또한 시공 중 Key Seg 시공방법 개선, 불균형모멘트 발생제어를 위한 영구, 임시 카운터웨이트 재하 등의 시공 특징을 갖는 교량으로 완공 후 낙동강의 새로운 랜드마크 교량이 될 것이다. 

담당 편집위원 : 신성진(한맥기술) sungjin@hanmaceng.co.kr



이대우 상무보는 영남대학교 대학원에서 구조공학을 전공하였으며, 대우건설, VSL KOREA, COWI KOREA에서 근무하였다. 주로 PSC 콘크리트 교량을 설계, 현장기술지원 및 시공엔지니어링을 담당하였고, 현재 동일기술공사 도로감리사업본부 소속으로 부산외곽순환도로 8공구에 재직중에 있다.
lee.daewoo@gmail.com



박순호 공사팀장은 아주대학교에서 교통공학을 전공하였으며, 1993년에 한국도로공사에 입사하여 냉정~구포 확장공사를 시작으로 내서~냉정 확장공사 및 부산~울산 고속도로 건설공사에 참여하였고, 풍부한 현장경험 및 지식을 바탕으로 한국도로공사 감사실을 거쳐 현재 부산외곽순환고속도로 건설사업단 공사팀장으로 재직하고 있다.
shpark@ex.co.kr



송승후 주감독은 영남대학교에서 토목공학을 전공하였으며, 1998년 한국도로공사에 입사하여 2004년 목포~광양 현장 감독을 시작으로, 진주~마산 고속도로 건설공사에 참여하면서 고속도로 건설사업 경험을 쌓았고 현재 비대칭 1주탑 사장교(낙동대교)를 포함하고 있는 부산외곽순환고속도로 제8공구 주감독으로서 재직중에 있다.
sunghu@ex.co.kr



최문실 공사과장은 동의대학교에서 토목공학을 전공하였으며, 1998년 한국도로공사에 입사하여 부산~울산 고속도로 건설공사에서 현장 전문감독을 시작으로 공사대리로서의 경험을 쌓고 냉정~부산 고속도로 건설공사에서는 공사과장으로 근무하였으며 현재 부산외곽순환고속도로 건설사업단 공사과장으로 재직하고 있다.
moonc@ex.co.kr



이재구 차장은 서울대학교 대학원에서 구조공학을 전공하였고, 2009년에 대우건설에 입사하여 거가대교, 교동연륙교 건설공사에 참여하면서 특수교량 시공 경험을 쌓았고 현재 비대칭 사장교인 낙동대교를 포함하고 있는 부산외곽순환고속도로 제8공구 현장 공사팀장으로 재직중에 있다.
jaekoo.lee@daewoenc.com

<http://www.kci.or.kr>



KOREA CONCRETE INSTITUTE