

일면지지식 Extradosed교의 계획 및 설계

Plan & Design Of Extradosed Bridge Supported by Single Plane Cables

이 종 대* 이 두 화** 권 소 진*** 김 중 수**** 손 준 상*****
Lee Jong-Dae Lee Doo-Wha Kwon So-Jin Kim Chong-Soo Son Joon-Sang

ABSTRACT

The aim of this paper is to open up a relatively new type in bridge engineering by introducing plan and design of extradosed bridge which is implemented in Sungnam-Janghowon T/K project. The topic encompasses parametric study including the behavior of the bridge relevant to the cable layout, the distance from pier table to the first cable's location, the height of pylon, the stiffness of cross section and wind vibration to ascertain sectional type of bridge and span length. For the purpose of the knowledge base presented here, the important feature of design is recommended such as modeling method, camber control, finite element analysis and heat hydration of pier table. We can verify the issue related to the characteristics of extradosed bridge as a result of study and design endeavor.

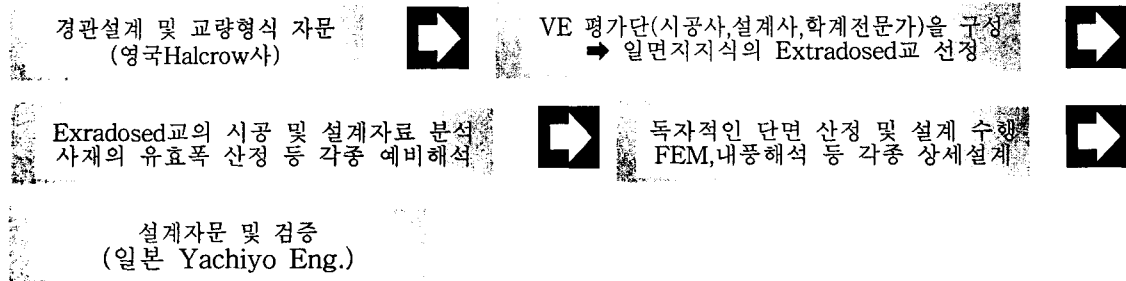
1. 서론

대표적 교량형식 중의 하나인 프리스트레스트 콘크리트교는 일방향 휨에 대하여 특히 유리한 구조로서 그 사용성이 날로 증대되고 있으며, 긴장재를 콘크리트 속에 배치하여 프리스트레스를 도입하는 이른바 내적 프리스트레싱이 종래에 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근에는 긴장재를 주형단면의 외측에 배치하여 포스트텐션방식으로 프리스트레스를 도입하는 이른바 외적 프리스트레싱(external prestressing)을 채택하는 경우가 많아졌다. 이와 같이 콘크리트 단면 밖에 배치되는 긴장재를 외부긴장재 또는 외부케이블이라 하고 콘크리트 속에 배치해온 내부케이블과 구별하고 있다. 특히, 외부케이블을 단면의 유효높이 이상으로 대담하게 이동하여 단면의 경제성을 제고하고 외관을 향상시킨 새로운 형식의 교량을 Extradosed교라 한다. 본고에서는 금년(2001년)에 시행한 성남~장호원간(2공구) 건설공사 일괄입찰에서 현대산업개발과 삼보기술단이 시도하였던 새로운 개념의 교량형식인 6차로 일면지지식 Extradosed교가 안전성, 경제성 및 경관 측면에서 향후 도로교 계획시 적용성이 많을 것으로 판단되어 이를 소개하고자 한다.

- * 정회원, 삼보기술단 구조부 부장
- ** 정회원, 삼보기술단 사장
- *** 정회원, 현대산업개발(주) 토목설계팀 부장
- **** 정회원, 현대산업개발(주) 토목설계팀 대리
- ***** 정회원, 삼보기술단 구조부 대리

2. 교량의 계획

2.1. 설계수행과정



2.2. 가설지역의 현황

본 교량은 광주시 및 국도43호선의 조망권으로서 주거 및 농경지에서 낮은 산지로 이어지는 주변 경관의 Skyline과 어우러지고 상징성이 우수한 Landmark적 교량형식과, 경안천 유수 영향의 최소화 및 수질오염이 적은 재료선정이 요구되었다. 또한, 장래 국도43호선 및 지방도 389호선의 4차로 확장시 충분한 형하공간을 확보하여야 하며, 특히 지방도389호는 본 교량과 20°이내의 예각으로 교차되어 4차로 확장시 최소 65.0m의 경간장이 필요한 것으로 분석되었다.



그림 1 경안교 조감도

2.3. 형식선정

- (1) 상수원보전특별대책지역의 수질오염을 최소화하는 콘크리트교 계획
- (2) 경관설계 수행으로 주변 경관과 조화되는 교량 계획 : 성남~장호원 전 구간의 최장대 교량
- (3) 국도43호선과 지방도 389호선의 확장계획을 반영한 장경간 Extradosed(3주탑 4경간)교 계획
- (4) 중앙부 케이블이 분리대를 형성하여 시계가 양호하며 상징성과 미관이 양호한 일면지지식 선정

2.4. 교량의 개요

- (1) 상부형식 : 일면지지식 6차로 Extradosed교
- (2) 연장 : $L = 75 + 2@130 + 75 = 410.0\text{m}$
- (3) 폭원 : $B = 29.9\text{m}$ (2@14.95m, 양방향 6차로 일체형)
- (4) 하부형식 : 도자기형 중공교각
- (5) 기초형식 : 우물통 기초
- (6) 가설공법 : F.C.M공법

2.5. Extradosed교의 특징

- (1) 외관은 사장교와 유사하나, 구조적으로는 거더교의 특징을 가진다.
- (2) 거더의 높이는 표준적인 거더교에 비해 낮다.
- (3) 사장교의 cable에서 필수적으로 요구되는 인장조정(tension adjustment)이 불필요하고, stayed cable을 거더교의 일반적인 텐던(허용응력을 $0.6f_{cm}$ 를 사용)과 같이 취급할 수 있다.
- (4) 주탑의 높이는 일반적인 사장교에 비하여 절반정도로 할 수 있으므로 시공이 용이하다.
- (5) 활하중에 의한 응력변동이 작으므로 Stayed Cable에 대한 정착(Anchorage)방법이 거더교의 텐던과 유사하게 할 수 있어서 정착시스템의 공사비가 약 1/6 정도로 대폭 절감 된다.

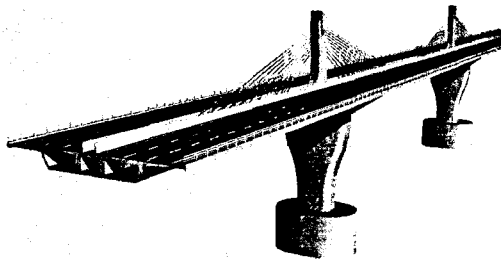


그림 2 경안교 단면도



그림 3 경안교 전경

3. 교량의 설계

3.1. 예비설계(Parametric Study)

3.1.1. 사재의 배치 형상 및 최초 사재의 위치(a)

구조적으로 가장 합리적인 Radiate형과 사재가 평행하게 분포되어 경관이 우수함과 동시에 사재의 집중 배치를 지양하여 응력 집중을 완화한 Harp형의 장점을 결합해 Fan형으로 사재를 배치하였으며, 정·부의 휨모멘트는 상호 보완적이므로 Extradosed교의 가설공법과 경제성 및 단면력의 증감, 사재의 연직하중 분담률을 고려하여 $a/L=0.15$ 로 사재 정착위치를 결정하였다.

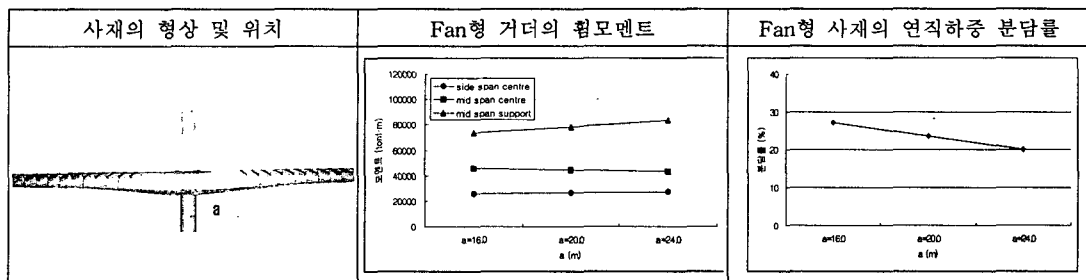


그림 4 사재의 배치형상에 따른 거동 양상

3.1.2. 주탑의 높이(h)

주탑의 높이가 증가함에 따라 연직성분의 증가로 거더의 휨모멘트는 감소하나, 연직하중 분담율이 증가되어 피로에 대한 사재의 안정성 및 활하중 피로응력이 불리하게 된다. 또한 가설시를 고려한 고정

하중에 대한 사재의 효과적인 이용과 거더의 휨모멘트 및 연직하중 분담율의 조화로 Extradosed교의 구조 특성을 효과적으로 이용할 수 있도록 13.3m(L/9.77)를 적용하였다.

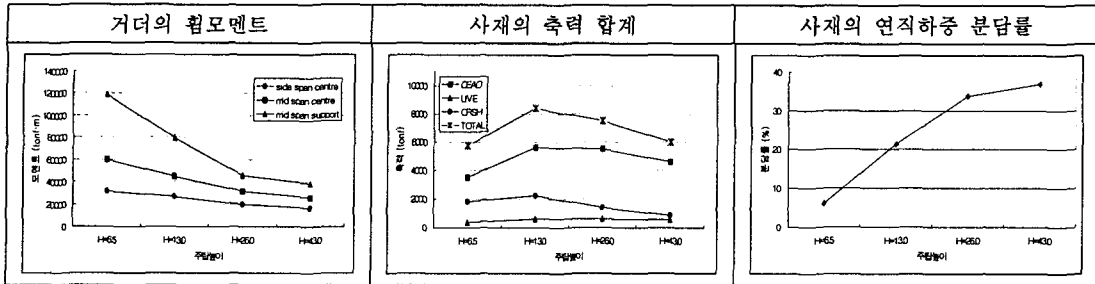


그림 5 주탑의 높이에 따른 거동 양상

3.1.3. 거더의 강성

시행착오법을 통하여 결정된 설계단면은 사재의 연직하중 분담율이 Extradosed교의 효율적인 범위에 포함되어 피로응력을 고려할 때 사재의 효율성을 최대화할 수 있으므로 경간장 및 경간분할, 주탑의 높이 및 사재의 위치를 고려할 때 최적의 단면으로 분석되었다.

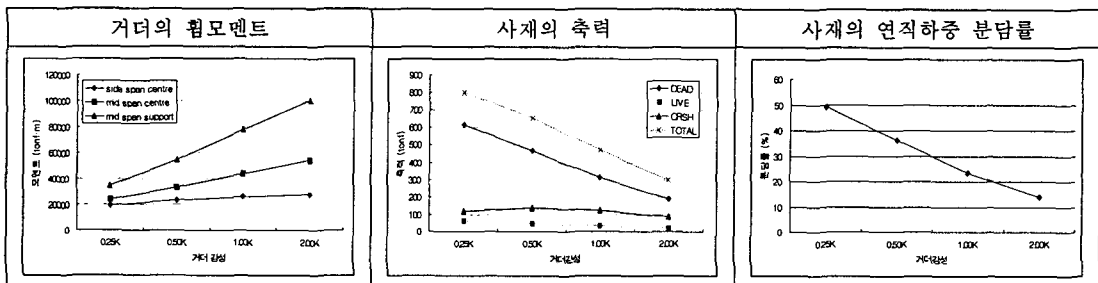


그림 6 거더의 강성에 따른 거동 양상 (K=현 설계 단면의 강성)

3.1.4. 일면지지 교량의 풍하중에 대한 안정성 검토

일면지지 6차로 교량에 대한 CFD에 의한 사전 내풍검토를 수행하여 안정성을 사전 검토한 결과 1차 모드의 와류진동 풍속은 43.8m/sec > 40.2m/sec, 안정성 판정기준 ($L \times U_d / B$)는 174.80 < 200로 분석되어 교량의 형식 및 단면선정 과정에서 구조물의 안정성 향상을 확보하였다.

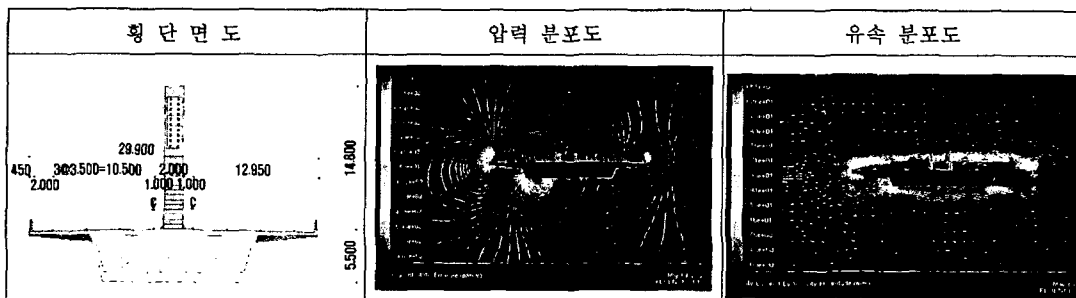


그림 7 거더의 횡단면도 및 내풍 안정성 검토 결과

3.2. 구조설계

3.2.1. 종방향 및 횡방향 설계

RM Space Frame Prestress Module 을 이용하였으며, 가설 단계별 사재의 영향을 고려한 3차원 Frame요소로 Modeling 하였다. 또한 FCM의 가설 특성을 고려하여 가설시 지점 및 단면계수의 변화와 크리프, 건조수축 등 시간의존적 거동에 대한 시공단계별 해석으로 공사관리의 기준치를 제시하고 구조물의 안전성을 향상시켰다.

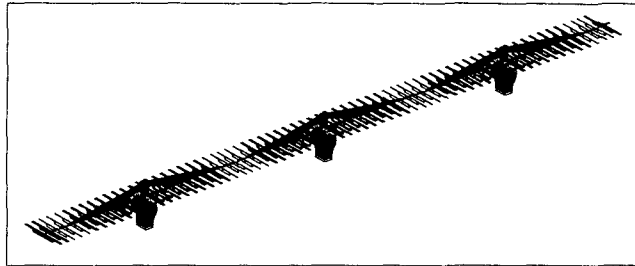


그림 8 해석 모델

3.2.2. F.C.M 시공 순서를 고려한 솟음관리

설계시 예측한 기상조건, Cycle Time 및 시공기간의 차이와 크리프와 건조수축의 시간의존적 장기처짐을 고려한 캠버 관리 해석으로 시공 솟음관리도(Camber Control Diagram)를 작성하여 해석치와 시공 제측결과의 Feed-Back조정이 용이하도록 하였다.

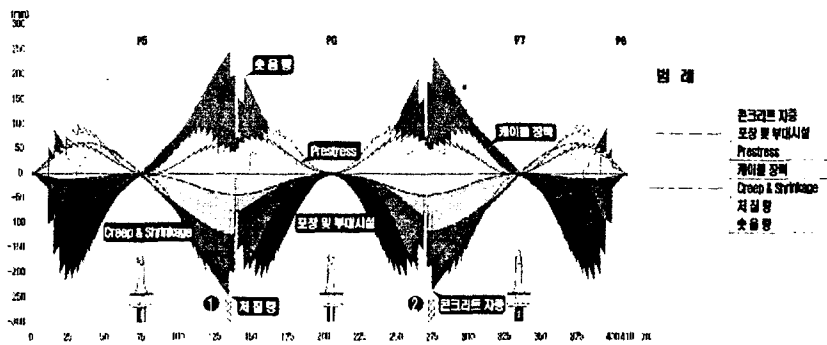


그림 9 솟음관리도(Camber Control Diagram)

3.3. 상세설계

3.3.1. 주탑 Saddle 정착부 및 정착블럭 안전성 검토

사재 케이블의 수직분력이 집중되는 주탑 Saddle부에 대한 FEM 상세해석을 통하여 응력 집중부에 합리적인 보강철근을 배치함으로써 구조부재에 대한 시공성 향상과 안전성을 확보하였다.

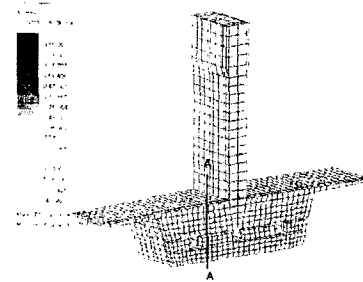


그림 10 교축 직각방향 응력도

3.3.2. 주두부 콘크리트의 수화발열반응(Heat Hydration)에 대한 온도응력 해석

주두부는 단위시멘트량이 큰 부배합 고강도콘크리트를 사용하는 매시브한 구조체이므로 균열발생 가능성이 가장 큰 위치 및 재령에서의 온도균열지수를 평가(1.2이상을 유지)하여 균열폭을 제어함으로써 균열에 대한 안전성을 확보하였다.

4. 교량의 가설

교각주두부는 Form Traveller의 거치 및 운용을 위하여 16m로 계획하였으며 Segment 길이는 4.0m로 하여 최대 중량 350 tonf에 적합한 Form Traveller를 설계하였다. 또한 철근 등 시공 자재의 인양 효율 극대화를 위해 폭이 넓은 4점지지식의 Below Type으로 특수 제작하도록 설계하였다.

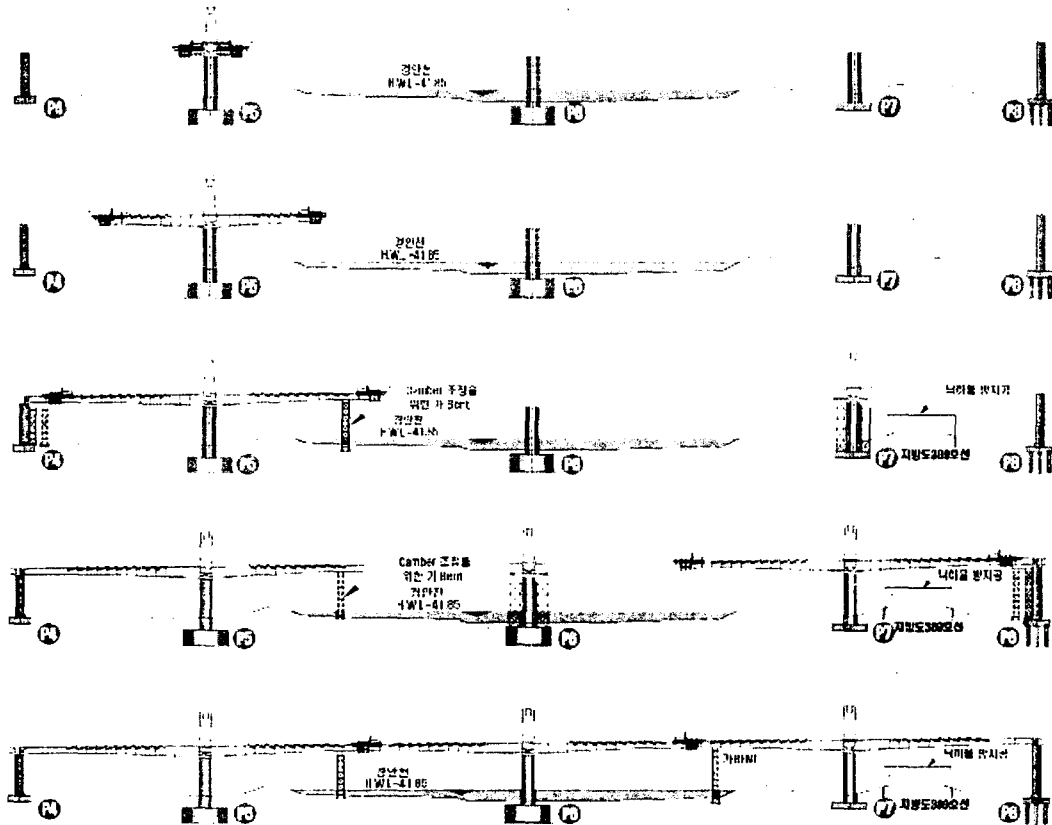


그림 11 가설 순서도

5. 결 론

- (1) Extradosed교는 새로운 형식의 교량으로서 시공이 사장교에 비하여 매우 단순하고, 외관은 사장교의 현대적 직선미를 가지는 경제적인 교량형식으로 여수우회도로에서 적용이 결정된 이래 향후 국내 교량기술의 발전을 위하여 지속적 연구를 수행해야 할 것으로 판단된다.
- (2) 해외 기술진과 구조해석 결과에 대한 상호 검토 및 충분한 토의를 통하여 새로운 형식의 교량에 대한 적합성을 검증함으로써 완전한 기술이전을 이루어, 향후 교량 설계시 신기술·신공법 도입 및 설계 개선을 통하여 국내 교량의 계획 및 설계, 시공분야에서 진보된 기술발전의 밑거름이 되기를 기대하는 바이다.
- (3) 국내의 Extradosed교는 수 차례의 설계 실적을 보유하고 있으므로 향후 해외업체와의 기술제휴를 통한 외화 유출보다는, 시공중 발생하는 문제점과 개선사항 등을 공개함으로써 설계와 시공의 Feedback이 활성화되어 국가경쟁력의 향상을 기하는 기술자의 자세가 요구되어진다.