



여수대교의 시공 및 형상관리

Construction and Geometry Control for Cable-Stayed Bridge in Yeosu Bridge Project

김정구 Jeong-Gu Kim
지에스건설(주)
여수대교현장 설계과장

주진상 Jin-Sang Joo
지에스건설(주)
여수대교현장 현장소장

이군우 Kun-Woo Lee
지에스건설(주)
여수대교현장 설계팀장

1. 머리말

여수국가산단 진입도로는 여수~묘도~광양간을 연결하는 총 연장 9,582km, 총 공사비 9,695억원의 신설 국도로 총 5개 공구로 구분되어 시공 중에 있다. 본 공사는 여수산업단지와 광양산업단지를 연결하는 기존의 국도 17호선을 대체하여 광양만권 광역도시 건설을 위한 순환 교통망 역할을 목적으로 지역 경제 및 광양컨테이너 부두 활성화, 그리고 광양만권 경제자유 구역의 투자촉진을 위한 기반조성을 목적으로 계획되었다.

여수대교는 전라남도 여주시 월내동과 묘도동을 연결하는 여수국가산단 1공구(총연장 1,945km)의 주교량으로 주경간장은 430m, 폭이 25.9m인 왕복 4차선 강합성 사장교(전체 760m)이며, 총 공사기간은 60개월(2007년 11월 ~ 2012년 10월)로 계획되었다(그림 1).

2. 여수대교 개요

여수대교는 사장 케이블의 보강형 정착을 별도의 정착거더(anchor girder)에 정착시키는 국내 최초로 도입한 간접 정착 방식의 사장교로 사장 케이블 장력을 가로보를 통해 정착거더와 보강거더로 분산시킴으로써, 보강거더의 단면을 최적화 하였다(그림 2).

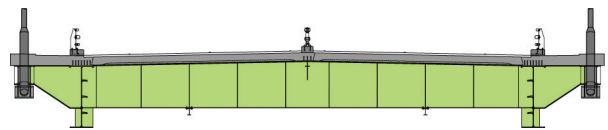


그림 2. 보강형 일반도



그림 1. 여수대교 조감도

또한 측경간에 중간교각을 배치하여 부반력 발생을 최소화 하였으며, 발생하는 부반력에 대하여는 Counter weight와 Tie-down Cable을 적용함으로써 측경간 보강거더에 발생하는 응력을 최소화 하였다 <그림 3>.

여수대교의 구성 및 제원은 다음과 같다.

- (1) 경간 구성 : 60+105+430+105+60=760m
- (2) 보강형 형식 : 강합성 보강형
- (3) 주탑 형식 : 연직 H형 콘크리트 주탑(H=166m)
- (4) 케이블 제원 : Multi Strand(22EA~61EA)

3. 여수대교 계획의 특징

3.1 가설공법 변경

여수대교는 착공과 동시에 여수세계 박람회(2012년 5월)의 성공적인 개최를 위하여 개막 전 임시 개통에 대한 사회적 요구가 증대되었으며, 발주처도 이에 부응하여 2012년 3월 조기개통을 요구하였다. 따라서 시공사에서는 원 설계의 가설공법 및 공정 계획을 엄밀히 분석하여 시공 계획을 변경하였으며, 이를 통해 약 7개월 이상의 공기를 단축할 예정이다.

공기 단축 방안은 독립 주탑과 측경간 보강형을 동시에 병행 시공하여 독립 주탑 시공 완료 이후 중앙경간의 보강형 가설만으로 여수대교가 준공될 수 있도록 하였다. 측경간 보강형의 강형 가설은 ILM(Incremental Launching Method) 공법을 적용하여 종점부는 Launching Yard, 시점부는 임시 지지 거더를 설치하여 시공하였으며, 측경간 보강형의 바닥판은 강형 압출이 완료된 직후 현장타설 공법으로 연속 시공하였다.

3.2 공정별 세부 변경 내용

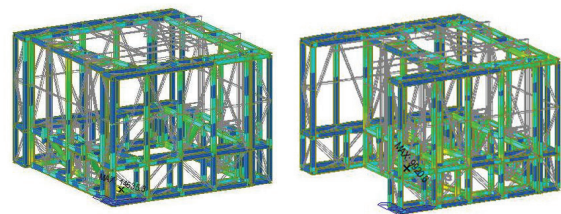
3.2.1 주탑 시공을 위해 자체 개발한 거푸집 시스템 적용

기존의 콘크리트 주탑 시공을 위한 거푸집 시스템은 유압 인상 시스템을 적용한 브라켓 지지형식의 ACS(auto climbing formwork system)이 주로 적용되었다. 여수대교에서는 기존의 ACS에 비해 상대적으로 더 큰 인양 능력과 작업공간의 확대, 그리고 손쉬운 거푸집 재배치 등 시공성이 뛰어난 전동모터의 기계식 인상 시스템을 적용한 일체형 프레임 형식의 ACS를 자체 개발, 적용하였으며<사진 1>, 이를 통해 탑 기둥의 로트(lot)당 작업 공기를 줄임으로서 전체 독립 주탑의 시공 공기를 약 2개월 단축할 수 있었다.

일체형 프레임 형식의 ACS는 시공단계별 경계조건, 하중조건을 각기 반영하여 설계하였으며<그림 4>, 각 단계별 검토 조건은 아래와 같다.



사진 1. 기계식 인상 시스템을 적용한 일체형 프레임 형식의 ACS



(a) 일반 작업 조건시 (b) 프레임 최대 변형 단계

그림 4. ACS 구조 해석 결과

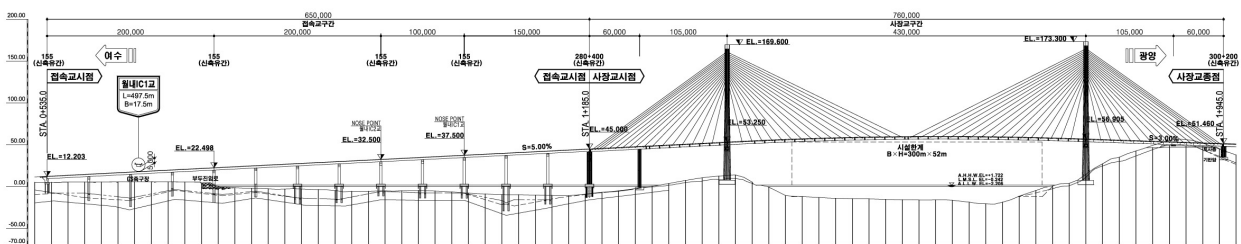


그림 3. 여수대교 종단면도

- ① 일반 작업 조건 시 : 프레임 및 인상용 강봉 지지
- ② 프레임 인상 전 단계 : 프레임지지 및 인상용 강봉 해체
- ③ 프레임 인상 단계 : 인상용 강봉만 지지
- ④ 프레임 최대 변형 단계 : 탑정부에서의 일반 작업 조건

3.2.2 측경간 보강형 가설 공법 변경

원 설계에서 종점부 측경간 보강형은 ILM 공법으로 시공되는 반면, 시점부 측경간은 F/C(floating crane)를 이용한 대블럭 가설과 캔틸레버(free cantilever method, 이하 FCM)공법으로 계획되었다. 이에 시공사에서는 시점부 측경간 보강형 가설을 종점부 측경간과 같이 ILM 공법을 적용하여 가설 공법의 일원화를 통한 장비의 효율성과 시공성 개선을 유도하였으며, 특히 측경간 보강형 가설을 독립 주탑 시공과 병행 수행함으로써 전체적인 공기를 단축시킬 수 있었다.

시점부 측경간을 ILM 공법으로 가설하기 위하여 종점부와 같이 중간교각인 P14와 주탑(PY1) 사이에 2개의 가설 벤트를 배치하였으며, 보강형 압출을 위해 측경간 단부 교각 P13과 중간교각 P14에 각각 가설벤트를 1개소씩 설치 한 후, 가설벤트를 지점으로 임시 지지 거더를 설치 하였다<사진 2, 3>.

3.2.3 측경간 보강형 바닥판 가설 공법 변경

측경간 보강형의 바닥판은 중앙경간 바닥판과 같이 사장 케이블 공정에 따라 케이블 긴장 후 해당 구간을 프리캐스트 판넬을 이용하여 시공하는 것으로 설계되었으나 측경간 강형 시공 완료 직후 현장타설 공법을 적용하여 독립 주탑과 동시 시공이 될 수 있도록 변경하였다. 측경간 보강형의 콘크리트 바닥판까지 선시공을 완료함으로써 중앙경간과 달리 상부공 가설을 위한 케이블 긴장은 1회 긴장으로 완료됨으로써 상부공 가설을 위한 전체적인 공기 단축을 유도할 수 있었다.

4. 여수대교 시공 중 형상관리

4.1 형상관리 개요

여수대교는 케이블 길이 관리법으로 형상관리를 수행



(a) 임시지지 거더 설치



(b) 시점부 측경간 압출 완료

사진 2. 시점부 측경간 보강형 가설 순서



(a) Launching장에서 강형 압출



(b) 종점부 측경간 압출 완료

사진 3. 종점부 측경간 보강형 가설 순서

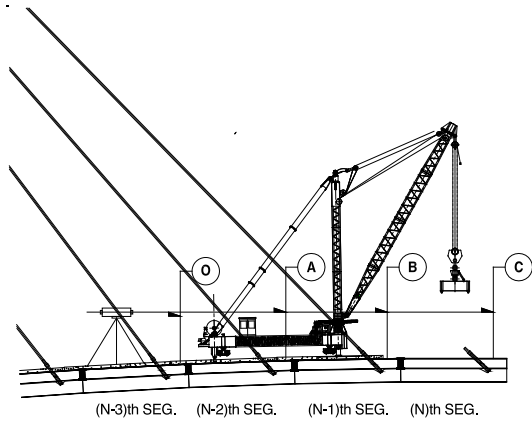


그림 5. 형상관리를 위한 보강형 단부의 local 측량(level 측량)

하였으며, 그에 따라 아래의 2가지 항목을 관리하여 목표선형으로 시공을 유도하였다.

- 1) 세그먼트 접합각 관리
- 2) 케이블 무응력장 관리

세그먼트간의 접합각 관리는 시공단계해석에 기초한 제작캠버가 반영된 세그먼트의 접선연결을 기본으로 하며, 케이블의 무응력장 관리는 부재 제작 및 독립 부재 완공시를 기준으로 한 제작오차와 상부거더 시공 중 발

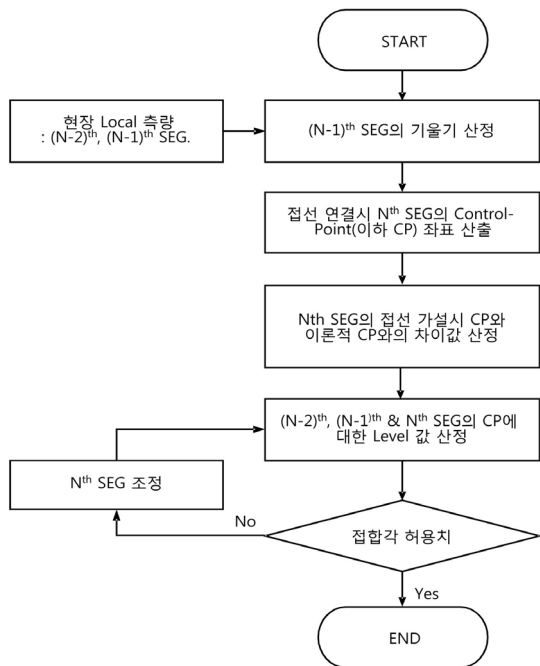


그림 6. 접합각 산정 및 관리 흐름도

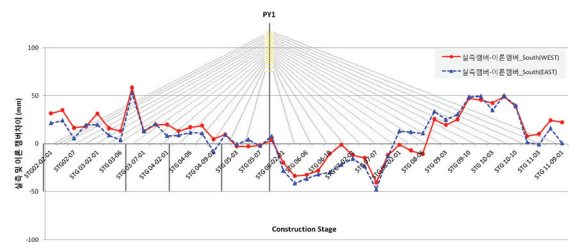
생하는 거더의 종방향 오차, 그리고 주탑의 연직방향 오차를 반영하여 무응력장을 보정하였다.

4.2 시공 중 형상관리의 주요 내용

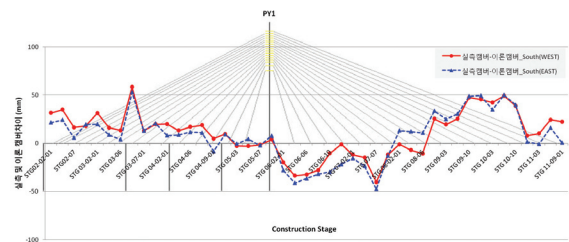
4.2.1 세그먼트 접합각 관리

케이블로 지지되어 유연한 외팔보 구조계를 형성하고 있는 기 시공 보강형에 신설 세그먼트의 연결은 부재의 생성과 동시에 추가 하중 작용으로 세부 시공 단계별 캔틸레버 단부의 변위는 크게 변화한다. 따라서 신설 세그먼트의 접합은 가조립 단계에서의 부재 접합각을 기준으로 관리하며, 이러한 부재 접합각은 시공단계 해석의 제작캠버가 반영된 값으로 이를 정밀하게 관리하는 것은 사장교 형상관리의 중요한 관리 항목이다(그림 5).

여수대교에서의 세그먼트의 접합각 관리는 신설 세그먼트가 데릭 크레인에 지지되는 단계와 세그가 연결되어 기 시공 세그먼트에 지지되는 단계로 구분하여 관리하였으며, 관리 기준값은 강교 제작단계에서 검수된 가조립 검수 결과에 기초하여 산정되었다. 형상관리를 위한 세그먼트의 접합각 산정은 신설 세그먼트와 인접 세그먼트의 상대적인 레벨값으로 표현되며, 신설 세그먼트의 목표 레벨값(setting out instruction; 이하 SOI)을 산출하여 이를 기준으로 세그먼트의 접합각을 관리한다(그림 6).



(a) 남측 주탑(PY1)기준 보강형 단부 시공단계별 변위 이력



(b) 북측 주탑(PY2)기준 보강형 단부 시공단계별 변위 이력

그림 7. 시공단계별 보강형 단부 변위 이력(=이론치-실측치)

4.2.2 케이블 무응력장 관리


케이블 무응력장 관리를 통한 형상관리는 케이블과 주탑 그리고 보강형으로 이루어지는 삼각형의 정확한 치수 제어를 통해 주탑과 보강형의 변위를 제어할 수 있다는 이론적 가정에 근거한다. 이는 주요 부재의 제작 또는 시공 과정에서 발생하는 영구적인 오차를 케이블에 장력 도입 과정에서 장력 조절을 통해 임의로 조정하는 것이 아니고, 케이블의 무응력장을 수정하여 케이블의 도입 장력은 최초 이론적인 값과 동일하게 관리한다는 것을 의미한다.

4.3 여수대교 시공 중 형상관리 성과

현재 시공 중에 있는 여수대교의 각 시공단계별 케이블 가설 후 보강형의 연직변위에 대한 형상관리 결과를 <그림 7>에 나타내었다. <그림 7>은 10항차까지의 시공 단계별 보강형의 변위 이력을 표현한 것으로 오차가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 여수대교의 시공 중 형상관리는 엄격한 관리 방안과 그에 따른 관리 기준 하에 성공적으로 시공되고 있다고 볼 수 있다.

5. 맺음말

여수대교는 착공과 더불어 여수세계 박람회라는 국제행사의 성공적 개최를 위해 예정된 공정보다 약 7개월 이상의 공기를 줄여 2012년 3월에 조기 개통을 목표로 현재 시공에 박차를 가하고 있다. 절대적인 공기 단축의 필요성에 의한 주요 공정에서의 가설 공법 변경은 힘겨운 과정이었으나 가설 벤트와 임시 지지 거더를 사용한 공중에서의 ILM 공법의 적용 등은 강합성 사장교의 가

설을 위한 새로운 방안을 제시하였다고 사료된다. 또한 케이블 길이 관리 방안을 적용한 시공 중 형상관리의 성공적인 수행으로, 향후 사장교의 형상관리 기술 발전에 큰 기여를 할 것으로 사료된다. 

담당 편집위원 : 김도학(GS건설(주) 기술연구소)
dohkim@gsconst.co.kr



김정구 과장은 한양대학교 토목공학과에서 석사학위를 취득 후 2000년 GS건설 기술본부 토목구조팀에 입사하여 현재 여수대교 현장의 설계과정으로 근무하고 있으며, 여수대교의 시공 중 형상관리를 담당하고 있다.

kjk1020@gsconst.co.kr



주진상 소장은 충남대학교 토목공학과를 졸업한 후 1995년 GS건설 토목사업본부에 입사하여 현재 여수대교 현장의 소장으로서 재직하고 있다.

jsjoo@gsconst.co.kr



이군우 과장은 울산대학교 토목공학과를 졸업한 후 2001년 GS건설 토목사업본부에 입사하여 현재 여수대교 현장의 설계팀장으로 재직하고 있다.

lekww@gsconst.co.kr