

비대칭 1주탑 사장교, 완도대교의 케이블 형상관리 및 시공

Geometry Control and Cable Erection for Cable-Stayed Bridge, Wando Bridge



손제국*
Je-Kuk Son



최현석**
Hyun-Seok Choi



신천호***
Chun-Ho Shin



김재석****
Jae-Seok Kim

1. 개요

군위-남창 도로 확장 공사 현장은 국도 13호선 중 완도군 군외면 영풍리에서 원동리 구간의 국도 확포장 사업으로써 전남 남부지역의 물동량 수송 및 국도의 균형발전 도모를 위해 추진되었다. 대표 교량인 완도대교는 공사 구간 중 원동 IC와 달도 IC를 연결하는 교량으로 1주탑 2면식 비대칭 사장교로써 비대칭 분할과 독립 주탑의 독창적 경관을 나타낸다. 교량 연장은 총 500 m로서 사장교 주경간은 200 m이며, 교량 폭원은 25.9 m이다. 완도대교는 A형 강재 주탑, 강상판상형의 보강형과 16쌍 2면으로 32개의 케이블로 구성되어있다. 케이블은 효율적인 배치가 가능하며, 케이블 규모 축소로 시공성 및 구조성이 유리하고 비대칭 사장교에 적합한 팬형으로 선정하였다.

2. 완도대교 형상관리 계획

완도대교의 경우 가설하중의 비대칭성으로 인하여 처짐 및 응력의 변동 폭이 크고, 얇은 수심, 큰 조수간만의 차 그리고 완도

지방의 강한 풍속 등 지리적 여건으로 인하여 가설시 안정성 확보와 중단선형 확보의 어려움을 극복하기 위해 ‘가벤트+대블럭 가설 공법’을 적용하여 시공하였다. 완도대교의 형상관리는 각 시공단계별 보강형과 주탑의 전체 형상 및 케이블의 긴장력에 대한 관리치를 제시함으로써 최종적으로 가설이 완료되는 시점에서 전체 사장교의 형상 및 부재의 하중 분배가 완성계의 목표치와 부합하도록 하는데 목적이 있다.

완도대교의 형상관리를 위하여 해석 모델링 <그림 2>에서 보는 바와 같이 구조계를 구성하였다. 완도대교의 해석은 범용 프로그램인 RM2006을 이용하여 3차원 구조해석을 수행하였으며, MIDAS2009를 이용하여 상호 검토하였다. 보다 정확한 해석을 수행하기 위해 케이블 자체의 자중으로 인한 세그(sag)의 영향과 주탑 및 보강형의 기하비선형을 고려하여 수행하였다. 그리고 주탑과 주형에 반영된 제작 캠버를 해석 모델링에 반영하였다. 또한 <사진 1>에서 보는 바와 같이 보강형 세그먼트의



그림 1. 완도대교 조감도

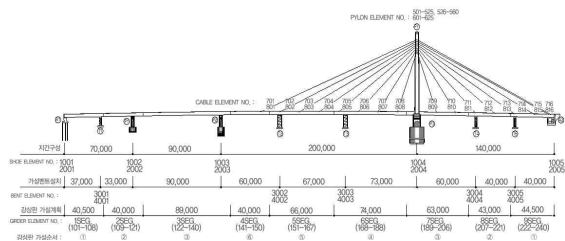


그림 2. 해석 모델링의 전체 구조계



(a) 시험전경

(b) 로드셀

사진 1. 보강형 세그먼트 중량 측정

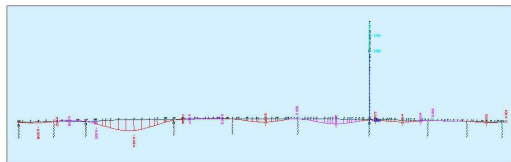
* 정희원, (주)삼성물산 기반기술연구소 선임연구원
sonjekuk@hanmail.net
** (주)삼성물산 군위-남창도로 현장, 현장 소장
*** (주)유신, 군위-남창도로 현장, 감리단 부장
**** 정희원, (주)후레씨네코리아 설계팀 부장

실중량을 측정을 통해 해석에 반영된 하중을 검증하여 형상관리 오차를 최소화하였다. 대블럭 가설공법을 적용한 완도대교의 시공단계는 각 지점과 가설벤트 가설 후, 보강형의 세그먼트(1 seg ~ 9 seg)와 주탑을 일괄 가설하였다. 각 케이블은 주탑을 중심으로 대칭적으로 최내측에서 최외측의 순서로 케이블 No. 8 → No. 9 → No. 7 → No. 10 → ... → No. 1 → No. 16인 시공순서로 시공하였다. <그림 3>에서 시공단계해석에 따른 주탑 및 보강형의 변위를 나타내고 있다.

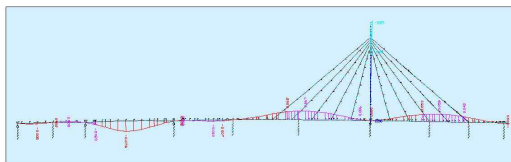
3. 완도대교 케이블 시공 및 형상관리

케이블 가설 전에 완도대교 보강형 및 주탑에 대한 대블럭 가설작업을 <사진 2>에서 보는 바와 같이 3,600톤급 해상크레인 (삼호4000호)을 사용하여 14일에 걸쳐 작업하였다. 초기 형상 오차는 보강형의 경우 약 ± 25 mm 이내로 조정하여 초기 형상 오차를 최소화 할 수 있었다.

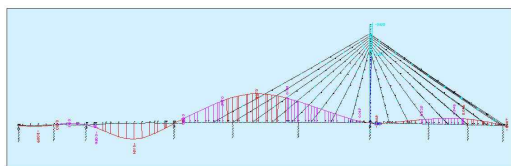
완도대교는 비대칭 케이블 배치에 따라 측경간 지점에 부반력이 발생하게 된다. 따라서 <사진 3>에서 보는 바와 같이 측경간 보강형에 발라스트 콘크리트를 타설하여 보강형의 중량을 증



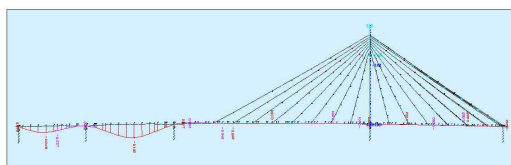
(a) STG 080(구조물 가설 완료)



(b) STG 180(케이블 13 가설)



(c) STG 240(케이블 16 가설)



(d) STG 260(2차 하중 제한)

그림 3. 시공 단계별 변위 해석 결과



(a) 보강형 세그먼트

(b) 주탑

사진 2. 대블럭 가설 작업



사진 3. 발라스트 콘크리트 타설 전경

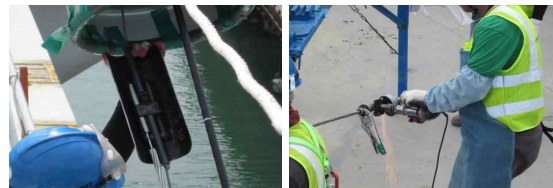
가시켜 부반력을 억제하였다. 보강형 제작시 설치한 홀을 통하여 콘크리트를 타설하였으며, 타설시 양측 거더에 동일한 양을 순차적으로 타설함으로써 보강형의 이동현상을 방지하였다.

발라스트 콘크리트 타설, 정착구 설치 및 덕트 용착 등 케이블 가설 준비 후 각 케이블을 시공하였다<사진 4>. HDPE 덕트와 준비된 Master Strand(이하 M/S)를 주탑으로 인상하고, M/S를 인장한 후, 나머지 Normal Strand를 가선하여 1차 긴



(a) 덕트 용착

(b) M/S 덕트 인상



(c) 강선 운반

(d) 킹와이어 추출



(e) 강선 인상

(f) 강선 긴장

사진 4. 강선 인상 및 긴장

장을 실시하게 된다. 정확한 형상관리를 위해 케이블 도입 장력의 70%를 긴장하는 1차 긴장과 2차 긴장으로 나누어 실시하였다. 각 단계별로 긴장 후 보강형, 주탑 측량과 장력 측정을 통하여 형상을 확인한다. 이를 각 케이블 시공에 반복 실시하였다.

케이블 가설 및 1차 긴장에 앞서 측량을 통해 케이블 실거리를 파악하고, 이론적으로 산정된 값과 비교를 통해 현장오차를 적용하였다. 이를 바탕으로 무응력 길이와 SMP(stressing mark position)를 산정하여 M/S와 케이블의 장력값을 예측하였다. 케이블 가설 시 장력은 M/S의 SMP를 이용하여 무응력 길이로 관리하는데, 이는 케이블 가설 동안에 일시적인 하중이나 주변 환경에 민감하지 않기 때문이다. M/S 긴장 완료 후 나머지 강선에 대해서는 ISO-Tensioning을 실시하여 가설하였다. 1차 긴장량은 이론값에 현장 시공오차를 고려하여 산정하였다. 2차 긴장량은 1차 긴장 결과를 바탕으로 케이블의 단위 길이 변화에 대한 영향매트릭스를 산정한 후 최소자승법에 의한 최적화기법으로 보강형과 주탑 형상에 미치는 영향을 파악하여 2차 긴장력을 산정하였다. 2차 긴장도 1차 긴장과 같이 길이에 의한 장력 도입을 실시하므로 SMP를 이용하여 M/S를 긴장하고, 나머지 강선에 대해서는 ISO-Tensioning을 실시하였다. 1차 및 2차 긴장 완료 후 케이블에 도입된 장력을 측정하기 위해 실시하는 장력 측정에 두 가지 방법을 적용하였다. M/S에 설치되어 있는 로드 셀(load cell)의 계측값과 모노 잭(mono jack)을 이용하여 팝 오프(pop off 혹은 lift off)실험을 6회 실시한 평균값을 이용하였다. 케이블 가설 단계시에 장력 조정은 시공단계별 측량값과 해석값의 차가 형상관리 기준값(보강형: ± 60 mm, 장력: ± 10%)을 벗어나지 않을 경우에는 실시하지 않는 것으로 하였다. 케이블 가설 완료 후 보강형의 형상 측량 및 케이블의 장력을 계측한 후 형상관리 기준치와 비교하여 장력 조정 여부를 결정하도록 계획하였다.

4. 완도대교 형상관리 결과 및 성과

보강형, 주탑의 대블럭 가설 후 보강형 연직 변위와 각 시공단계에 따른 케이블 가설 후 주탑의 수평변위와 보강형의 연직변

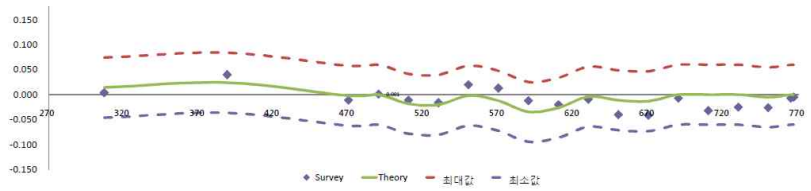


그림 4. 대블럭 가설 후 보강형 연직 변위

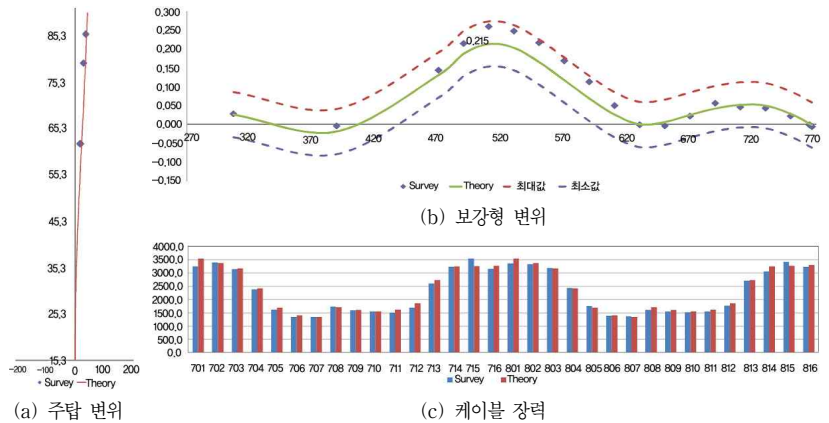


그림 5. 최종 케이블 가설 후 변위 및 장력 결과

위 그리고 케이블 장력 등의 형상관리 결과는 각각 <그림 4, 5>와 같다. 최종 케이블의 가설 후 보강형의 연직변위는 최대 58 mm, 주탑 수평변위는 최대 30 mm, 케이블 장력은 10% 범위에서 발생하여 모두 허용값 내에 관리되었다. 포장 하중 등 2차 사하중 재하 시 보강형 연직변위와 주탑 수평변위의 오차 모두 더욱 줄어들 것으로 추정되므로 이와 같은 완도대교에서는 장력 조정이 필요하지 않을 것으로 판단하였다.

5. 맺음말

완도대교를 통하여 대블럭 가설 공법을 적용한 비대칭 사장교의 형상관리 및 시공법을 살펴보았다. 이에 대하여 해석 모델링과 시공단계별 해석, 사장교 시공 시의 형상관리 오차에 대한 영향 분석, 오차를 최소화하기 위한 고려사항을 되짚어 보았다.

완도대교는 2009년 11월부터 2010년 10월까지 보강형 및 케이블 가설을 완료하였으며, 2011년 후반기 시공완료를 목표로 하여 강상관 포장과 부대공사를 계획 및 수행 중에 있다. 1주탑 비대칭 사장교인 완도대교는 완도의 진입 관문으로 랜드마크적인 교량이 될 것이며, 다양한 사장교 형식의 설계/시공 기술 발전에 큰 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다. □

담당 편집위원 :
문도영(경성대학교) mdy8762@empal.com