

상·하단 Multi-Cable을 이용한 무주탑 보도현수교 설계

The Design of Towerless Suspension Foot Bridge Using Top and Bottom Multi-Cables



신상훈*



김윤철**



권경일***



강성일****

* (주)케이블브릿지 구조부 전무
 ** (주)케이블브릿지 구조부 이사
 *** (주)케이블브릿지 구조부 과장
 **** (주)케이블브릿지 구조부 대리

1. 개요

본 교량은 포천 어메이징파크 내 과학관과 치유의 숲을 연결하는 보도현수교로서 주변 자연환경과 어울리며 통행 경로를 최소화하여 시설 이용자의 접근성을 증대시키는데 목적이 있다. 국내 최초로 중앙경간 120m의 무주탑 출렁다리 형식으로 계획되었으며 구조적 안정성, 시공성 및 경제

성, 주변환경에 미치는 영향 등을 을 고려하여 설계되었다.

현재 교량의 시공은 완료되었으며 과학관의 개관과 함께 개통될 예정이다. 본 교량에서는 시공성을 고려하여 상·하단에 4개의 주케이블을 이용한 일체형 프레임 시공 방식을 선정하여 성공적으로 시공이 완료 되었으며 완공된 교량의 사진은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 교량 전경

2. 교량계획

교량의 총 연장은 120.0m, 폭원 1.5m이며, 주케이블 양단 정착은 지반여건을 고려하여 콘크리트 중력식 앵커리지로 계획되었다.

산악지역에 시공되는 보도현수교로서 주변 자연환경과의 조화를 이루기 위하여 무주탑 현수교로 계획하였으며, 시공의 편의성을 고려한 교량계획을 수립하였다. 교량의 현황은 Fig. 2와 같다.

주케이블은 바닥프레임 및 난간포스트 상·하단에 4가닥을 적용하였고, 이때 4개의 주케이블이 하중을 동시에 분담하도록 계획하여 동일한 규격의 케이블을 상·하단에 적용하였다.

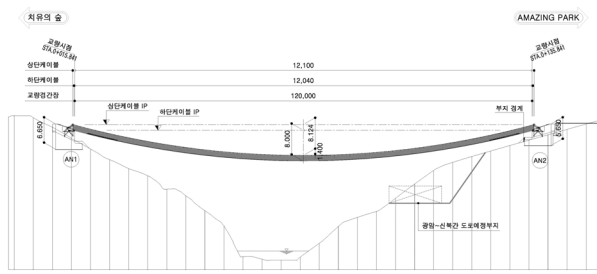


Fig. 2 교량 현황

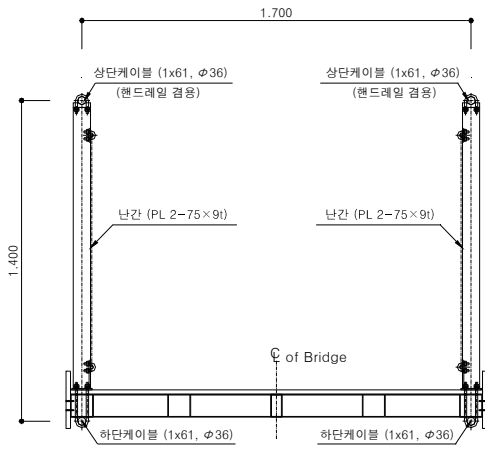


Fig. 3 단면 계획



Fig. 4 프레임 제작 및 교량 완공 사진

바닥프레임의 계획은 시공의 편의성 및 안전성을 고려하여 4.0m의 동일 규격 프레임을 블록단위로 공장제작하여 난간을 포함한 일체식 시공하는 것으로 계획하였다. 공장 제작으로 현장 시공공기 단축 및 품질관리가 용이하며 바닥프레임과 난간의 연결을 프레임 구조로 하여 바람에 의한 진동을 최소로 하였다. 프레임 공장제작 및 시공완료 교량현상은 Fig. 4와 같다.

3. 교량설계

교량설계를 위한 전산해석프로그램은 MIDAS Civil을 사용하였다. 모델링은 고정하중, 활하중에 의한 현수교의 연직거동은 물론 풍하중 및 지진하중에 의한 수평거동 및 비

전체교량

프레임상세

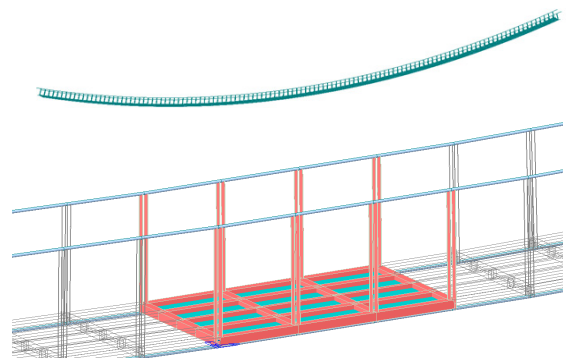


Fig. 5 모델링

Table 1 주케이블 제원

구분	제원	케이블단면도
사용단면	1×61(KISW)	
단면적	784.0 mm ²	
단위중량	0.063 kN/m	
절단하중	1049.0 kN	
허용하중	420.0 kN	
탄성계수	1.6 × 10 ⁵ MPa	

틀림의 영향을 고려할 수 있도록 케이블 및 프레임을 일체로 모델링 하였다. 적용 모델링은 Fig. 5와 같다.

3.1 케이블 설계

주케이블의 Sag비는 1/15를 적용하였다. Sag비의 결정은 무주탑 현수교의 특성에 따라 보행자의 교행이 가능하도록 적절한 Sag비를 산정하였으며 교량의 시·중점 부근은 중앙보다 경사가 급하므로 보행자의 편의를 위한 계단을 설치하였다.

케이블은 Table 1과 같이 국내 자재조달이 수월하며 시공실적이 다수 있는 현수구조용 로프(1×61(KISW))로 선정하였다.

구조해석 결과는 Fig. 6, Fig. 7과 같이 연직하중(고정하중, 활하중)에 의한 케이블의 장력분포는 초기의 해석가정 사항과 같이 상·하단 4개의 케이블에서 동등하게 분포되는 경향을 보였으나, 수평하중(풍하중, 지진하중)에 의한 케이블 장력은 하단케이블 단부에 다소 집중되는 것으로 나타났다. 이는 일체형 프레임 특성상 하단 바닥판 측이 강성이 높아 수평하중에 의한 저항이 큰 영향이라고 판단된다. 그러나 수평하중에 의한 하중조합 발생장력(COM03, COM04)이 연직하중에 의한 하중조합 발생장력(COM01, COM02)보다 작고, 상·하단 케이블 모두 발생장력이 허용장력의 90% 이내로 구조적 안정성을 확보하였다.

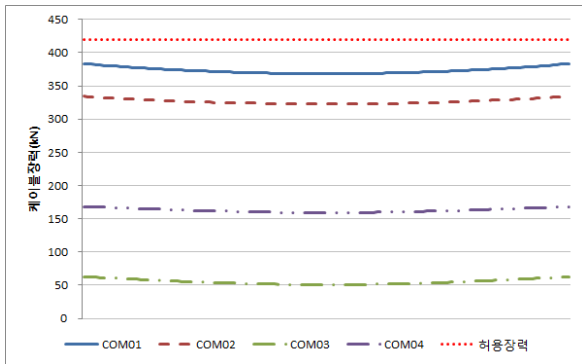


Fig. 6 상부 케이블 장력 검토

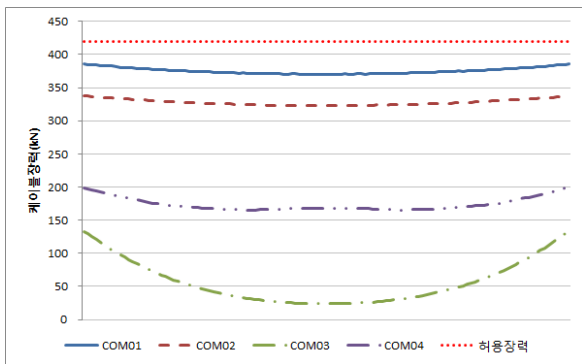


Fig. 7 하부 케이블 장력 검토

3.2 바닥프레임 설계

본 교량의 보강형은 일반적인 현수교의 보강형과 달리 각관을 사용한 프레임 형식을 적용하였다. 각각의 프레임을 4m단위의 동일 블록으로 제작하였는데, 이는 보행자에게 불안감을 줄 수 있는 진동 및 과도한 변형을 저감할 수 있는 강성을 확보함과 동시에 시공시 편의성을 고려한 구조형식이다.

제작된 프레임 블록은 난간 일체식으로 공장제작하여 품질관리가 양호하며 시공시 공중 조립작업이 없이, Fig. 9와 같이 블록단위로 인출하여 설치하므로 작업자의 안정성이 확보된다. 또한 공기를 단축시켜 경제적인 시공이 가능하다.

현수교의 행어 역할을 하는 난간은 평철을 사용하여 상부케이블과 하부케이블을 연결하는 구조를 적용하였다. 난간과 바닥프레임은 U볼트를 사용하여 강결 하였으며 활하중에 의한 반복하중으로 인하여 U볼트가 풀리지 않도록 풀림방지 볼트를 사용하여 강성을 확보하였다. 바닥프레임의 응력검토 결과는 Fig. 10과 같다.

적용강종은 SS400으로 응력검토 결과 발생응력이 허용응력 이내로 안정하며, 응력의 분포가 전 교량에 걸쳐 고르게 분포하는 것을 볼 수 있다.

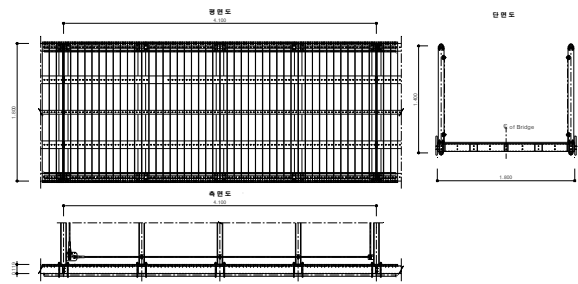


Fig. 8 바닥프레임 일반도

Table 2 바닥프레임 제원

구분	제원	강종
외측프레임, 가로보	□-100×100×3.2t	SS400
내측프레임	□-100×50×3.2t	SS400
난간	PL-75×9t	SS400



Fig. 9 프레임 블록인출

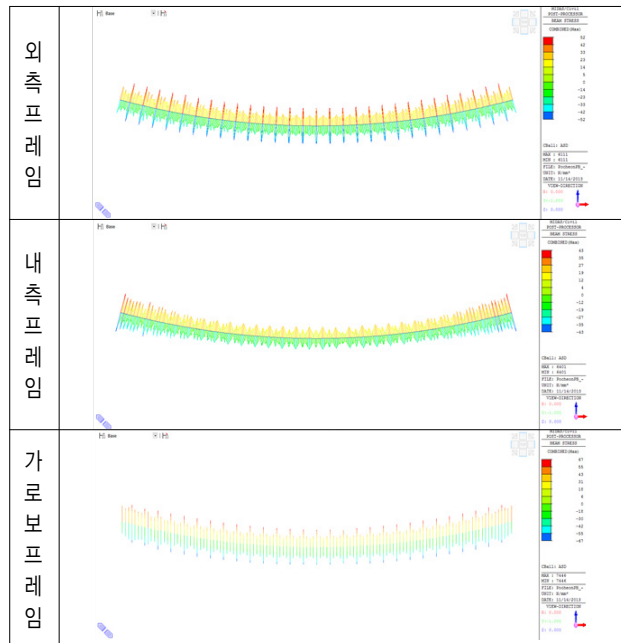


Fig. 10 응력도

3.3 내진 설계

재현주기 500년의 내진 II 등급교량으로서 응답스펙트럼 해석법에 의한 내진 설계를 수행하였다. 주요모드에 대한 고유치 해석결과는 다음과 같다.

Table 3 주요모드

구 분		주기(sec)	진동수(Hz)	Mode
수평모드	대칭1차	5.64	0.18	1
	역대칭1차	2.89	0.36	3
연직모드	대칭1차	2.31	0.43	4
	역대칭1차	3.34	0.30	2
비틀모드	대칭1차	1.86	0.54	5

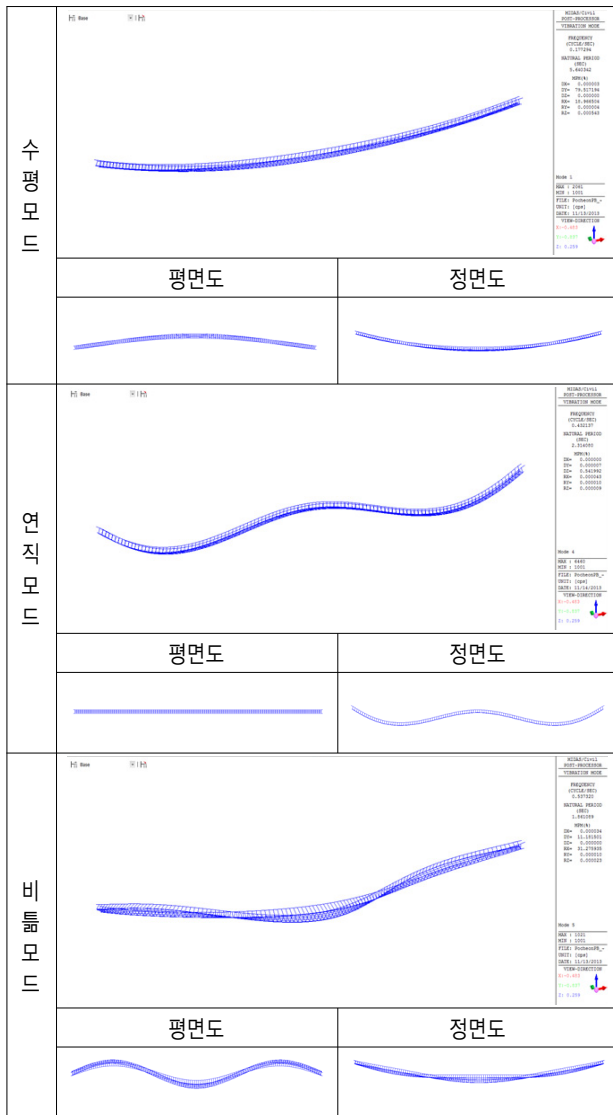


Fig. 11 주요모드 형상

Table 4 진동사용성 검토

구 분	수직진동수(Hz)	수평진동수(Hz)
기 준	$1.25 \leq f_i \leq 2.3$	$0.5 \leq f_i \leq 1.2$
1차 Mode	0.43	0.18
2차 Mode	0.30	0.36
검토 결과	O.K	O.K

3.4 진동 사용성 평가

보도교의 경우 보행자가 불편감을 느끼지 않도록 진동 사용성을 평가할 필요가 있다.

현재 국내 지방서 규정은 보행자의 보행주기 2Hz전후를 피하도록 권고하고 있는 것이 유일하므로, 보다 상세한 유로코드를 기준으로 본 교량의 진동 사용성을 평가하였다.

고유진동수 해석에 의한 교량의 진동사용성 평가는 Table 4와 같다.

고유진동수 검토 결과 주요모드에 대한 수직 및 수평 진동수가 국내 및 해외기준의 위험 범위를 벗어나므로 진동 사용성에 대하여 안정할 것으로 판단된다.

4. 맺음말

본 교량은 국내 최초의 중앙경간 120m 무주탑 출렁다리 형식의 보도현수교로서, 일체형 프레임 블록 형식 보강형을 적용한 교량이다.

일체형 프레임 블록 적용으로 인하여 출렁다리의 과도한 진동 및 변형을 방지하여 보행자의 불안감을 해소시키고, 시공성 향상은 물론 구조적 안정성을 확보하였다.

상·하단 주케이블의 장력 검토 결과 주요하중인 고정하중과 활하중 조합에서 케이블 장력이 4개의 케이블에 고르게 분포하여 는 것을 알 수 있었고, 행어역할을 하는 난간 포스트를 강재 평철로 적용함으로써 4개의 케이블만을 이용한 경제적인 교량 계획이 가능하였다.

또한, 진동사용성에 대한 검토를 수행하여 출렁다리 보도교로서의 사용성을 검증하였다.

교량이 가설되는 동안 프레임 블록 형식의 가설 방법에 대한 시공성을 확인하였으며 구조적 안정성을 확인 하였다. 이는 국내 보도교의 새로운 형식으로 앞으로 많은 사용성 확대가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 대한토목학회 (2006) 케이블 강교량 설계지침
한국도로교통협회 (2010) 도로교 설계기준
포천 Amazing Park Suspension Bridge 실시설계 보고서(2013)
포천 Amazing Park Suspension Bridge 구조계산서(2013) 