

# 사장교 콘크리트 주탑의 온도영향 평가

## Evaluation of Thermal Effect on the Concrete Pylon of a Cable-stayed Bridge

박 종 철\*      김 영 진\*\*      최 성 권\*\*\*      이 충 표\*\*\*\*  
 Park, Jong Chil      Kim, Young Jin      Choi, Sung Kwon      Lee, Chung Pyo

### ABSTRACT

In this paper, an actual behavior of the pylon of Seohae Grand Bridge which is a cable stayed bridge and has been constructed 4 years ago was analyzed by using data acquisition system. As a result, the pylon of cable stayed bridge behaved normally with respect to the change of temperature. The annual displacement of the top of pylon(PY1) ranged from -71.4mm to +181.7mm in the longitudinal direction of the bridge.

In the case of the longitudinal displacement, the displacement of PY1 was bigger than that of PY2 because PY1 is movable and PY2 is fixed in terms of the constraint condition of super structure. For the long term, PY1 will be sloped gently to the direction of Dangjin and PY2 will be also sloped gently to the direction of Pyongtaek by the effect of creep and shrinkage in the case of the longitudinal direction. The result of structural analysis showed good agreement with the result mentioned above.

### 1. 서 론

최근 사회간접자본에 대한 투자와 확충이 증가하면서, 토목분야에서 장대교량 공사가 크게 증가하고 있으며, 현재 계획·설계중인 장대교량 프로젝트에서 사장교가 대부분을 차지하고 있다. 사장교가 국내에 처음 도입된 역사는 20년이 훨씬 넘었지만, 서해대교 건설(2000년) 이후 본격적으로 적용되었다. 비록 짧은 기간임에도 불구하고 국내 사장교 기술력은 높은 수준의 설계와 시공 기술력을 확보하고 있는 반면에 많은 경험과 오랜 시간이 요구되는 유지관리에 대한 기술력이 제대로 축적되지 못한 것이 현실이다.

최근에야 유지관리의 중요성이 부각되면서 장대교량을 중심으로 다양한 유지관리 기법을 도입하고 있다. 서해대교의 경우에도 준공단계부터 유지관리 기법의 하나로 계측시스템을 도입하여 교량의 거동을 감시하는 한편, 유지관리를 위해 필요한 계측 데이터를 장기적으로 축적하고 있다. 본 논문에서는 서해대교의 축적된 계측 데이터로부터 사장교 주탑의 실제 거동을 분석하였으며, 이를 유사교량의 설계, 시공 및 유지관리를 위한 유용한 정보로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

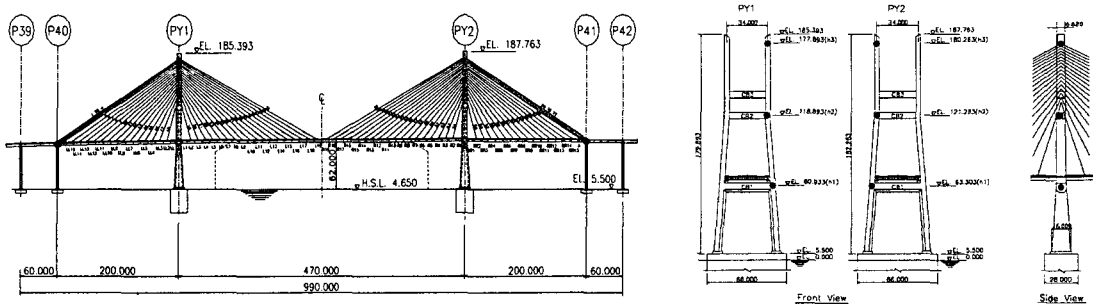


그림 1. 서해대교 사장교구간 일반도

\*정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · E-mail: pjseven@freeway.co.kr  
 \*\*정회원 · 삼보기술단 구조부 공학박사 · E-mail: kimyjsb@dreamwiz.com  
 \*\*\*정회원 · 삼보기술단 구조부 이 사 · E-mail: sbesc@chol.com  
 \*\*\*\*정회원 · 삼보기술단 구조부 전 부 · E-mail: sbesc@chol.com

## 2. 대상교량

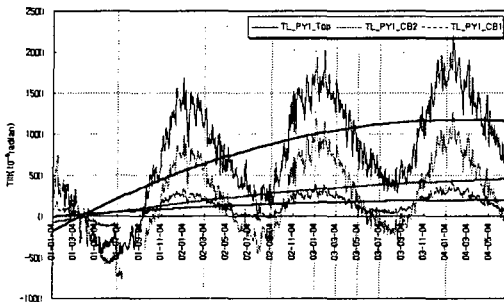
서해대교는 사장교는 그림 1과 같이 5경간 연속교(60m + 200m + 470m + 200m + 60m = 990m)로 구성된 형식이다. 폭이 34m인 보강형은 강형(steel girder)과 프리캐스트 콘크리트 바닥판으로 구성되어 있다. H형의 주탑은 높이가 182m로써 사용 재료는 콘크리트이다. 케이블은 양쪽 주탑을 중심으로 마치 부채꼴 모양으로 좌우로 배치되어 주탑과 보강형을 서로 연결한다. 사용된 케이블은 총 144본으로 각각의 길이가 54~247m에 이른다. 케이블 한 개는 37~91가닥의 강연선(strand,  $\phi 15.7\text{mm}$ )으로 구성되며, 지름 18~28cm의 고밀도폴리에틸렌관(HDPE tube)에 둘러 쌓여 외부환경으로부터 보호되어 있다.

## 3. 주탑의 장기거동 분석

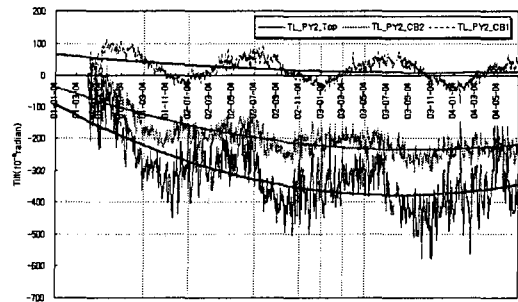
### 3.1 주탑 형식 및 계측위치

서해대교 사장교의 두 개 주탑(PY1, PY2)이 상부구조와 케이블을 통해 전달되는 하중을 지지하는 형식이며, 각 주탑은 두 개의 기둥(leg)이 가로보(CB1, CB2, CB3)에 의해 연결되어 있다. 각 기둥은 유지관리 시설 설치를 위해 비어 있으며, 단면은 직사각형 형태로 높이에 따라서 크기와 모양이 변한다. 상부구조와 주탑의 구속조건은 PY1 위치에서는 가동, PY2 위치에서는 고정이며, 지진과 바람 같은 동적하중에 대해서는 양 주탑이 고정단 역할을 하여 하중을 분담하도록 설계되었다.

콘크리트 주탑은 온도, 바람, 차량 등에 의한 하중변화로 인한 경사와 크리프나 건조수축에 의하여 장기적인 경사변화가 생기게 된다. 서해대교 양 주탑에는 이러한 장·단기적인 경사변화를 분석하기 위해 그림 2와 같이 각각 3개의 2축 경사계가 높이별로 설치되어 있으며, 교축방향과 교축직각방향의 경사를 측정할 수 있다. 계측은 매 10분마다 자동으로 이뤄지며, 측정 결과는 데이터베이스에 축적되고 있다.

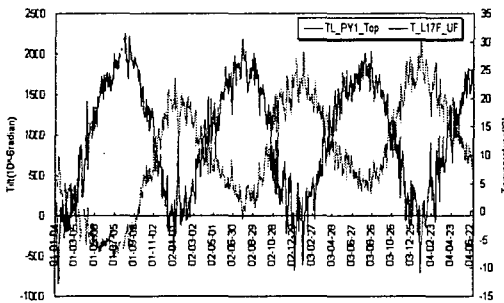


(a) PY1 교축방향 연간 경사변화

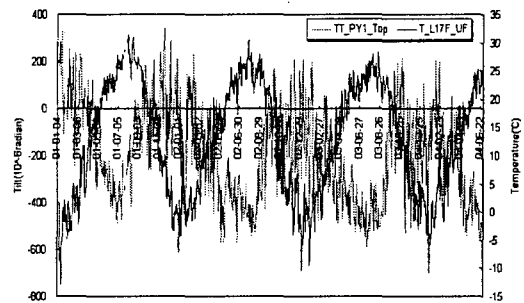


(b) PY2 교축방향 연간 경사변화

그림 2. 주탑의 연간 경사변화

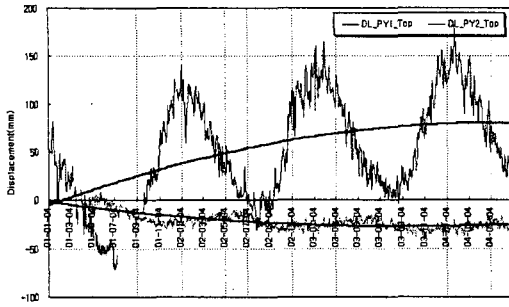


(a) PY1 교축방향

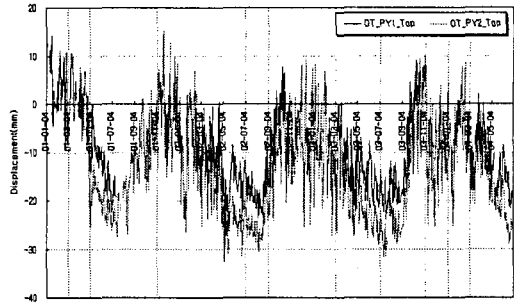


(b) PY1 교축직각방향

그림 3. 주탑 경사와 온도의 상관관계



(a) 교축방향



(b) 교축직각방향

그림 4. 주탑의 연간 변위변화

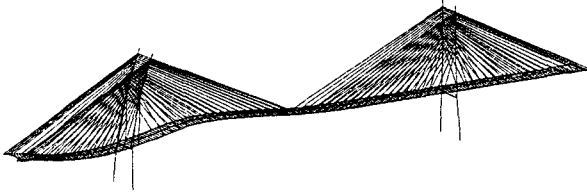


그림 5. 온도하중(T=-15°C)에 의한 주탑 경사

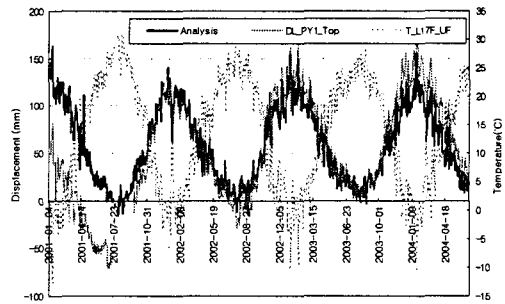


그림 6. PY1 계측-해석값 비교

### 3.2 주탑의 연간 경사변화

2001년 1월부터 2004년 6월까지의 주탑의 연간 경사변화를 일평균 계측 데이터를 기준으로 그림 2에 나타내었다. 여기서 계측값은 2001년 4월을 기준으로 정규화(normalized)하였으므로 제시된 값은 2001년 4월에 대한 상대적인 변화값이다. 그림 3은 주탑 경사와 온도의 상관성을 나타낸 것이다. 여기서 경사는 PY1 탑정부의 경사이며, 온도는 보강형의 가로보 상부플랜지에 설치된 온도계를 사용하였다.

양의 기울기는 당진측(P42), 음의 기울기는 평택측(P39)으로의 기울어짐을 의미한다. 즉, PY1의 경우, 온도 상승기(겨울 → 여름)에는 평택방향, 온도 하강기(여름 → 겨울)에는 당진방향으로 기울어지는 경향을 보이며, 계측된 경사각의 연간변화 범위크기는 Top > CB2 > CB1의 순으로 나타났다. PY2의 경우, PY1과 유사한 경향을 보이나 경사 변화량이 PY1에 비해 아주 작다. 이것은 PY1은 가동단 역할을 하여 상부구조 신축으로 케이블을 통해 주탑에 하중이 전달되나, 고정단 역할을 하는 PY2는 고정단 역할을 하기 때문에 상부구조를 제외한 케이블과 주탑 자체의 온도에 대한 영향만 받기 때문이다.

교축직각방향의 경우, CB1과 CB2 위치에서의 연간 경사변화는 아주 작다. 이것은 주탑 기둥이 가로보에 의해 강결된 라멘구조여서 교축직각방향으로는 변위를 구속하는 효과가 있기 때문이다.

### 3.3 주탑의 연간 변위변화

그림 4와 표 1은 주탑 정부의 연간 변위를 산정한 것이다. 교축방향 변위의 경우, 앞서 설명한 것처럼 주탑의 구속조건에 의해 PY1은 253mm로써 PY2의 49mm보다 크게 나타났다. 그림 5는 온도하중에 대한 완성계의 처짐 형상으로 앞서 설명하였듯이 온도 하강기(여름 → 겨울)에는 당진방향으로 기울어지는 경향을 알 수 있다. 온도에 대한 PY1 Top의 계측값과 실측값을 비교한 그림 8에서 알 수 있듯이 온도변화에 거의 유사한 거동을 나타내었으며 해석 모델을 이용하여 온도하중에 대한 주형, 주탑, 케이블의 영향을 평가한 결과, 기온의 연변화에 대한 주형 신축이 지배적임을 알 수 있다.

특기할 만한 점은 그림 4의 추세선에 알 수 있듯이, 장기적으로 PY1은 당진방향(≈80mm), PY2는 평택방향(≈25mm)

으로 완만히 기울고 있다는 것이다. 이것은 크리프와 건조수축에 의한 효과로 판단되며, 구조해석결과의 경향과도 일치한다. 구조해석시 크리프와 건조수축에 의한 주탑 정부의 변위는 표 2와 같다. 계측결과가 구조해석에 의한 변위보다 약간 큰데, 이에 대해서는 추후 해석모델, 계측값 신뢰도, 시공조건, 측량 등을 고려하여 정밀 분석할 필요가 있다.

표 1. 주탑의 연간 변위 극값

구 분	PY1 정부(mm)		PY2 정부(mm)	
	최 소	최 대	최 소	최 대
교축방향	-71.4	+181.7	-40.7	+8.1
교축직각방향	-26.3	+14.2	-32.6	+15.3

표 2. 크리프와 건조수축에 의한 주탑 변위

해석조건	PY1 정부(mm)	PY2 정부(mm)
○ LC#98 OPEN TO TRAFFIC(515days)	23.633	-8.050
○ LC#99 30YEARS(10000days)	57.740	-19.824

#### 4. 결 론

본 논문에서는 준공 후 4년이 지난 서해대교 사장교 주탑의 실제 거동을 계측 데이터를 이용하여 분석하였다. 분석결과, 사장교 주탑은 온도변화에 따라 정상적인 거동을 보이고 있다.

PY1 탑정부 연간 변위는 교축방향 -71.4 ~ +181.7mm, 교축직각방향 -26.3 ~ + 14.2mm, PY2 탑정부 연간 변위는 교축방향 -40.7 ~ +8.1mm, 교축직각방향 -32.6 ~ + 15.3mm으로 산정되었다. 교축방향 변위의 경우, PY1의 변위가 PY2의 변위보다 크다. 이것은 상부구조의 구속조건이 PY1 위치에서 가동이고, PY2 위치에서 고정이기 때문이다. 교축직각방향 변위의 경우, PY1과 PY2의 변위 범위가 비슷하고, 변위의 방향도 같은 경향을 보인다.

교축방향의 경우, 장기적으로는 크리프와 건조수축의 영향으로 PY1은 당진방향, PY2는 평택방향으로 완만히 기울며, 이는 구조해석결과와도 일치하는 경향이다.

#### 참고문헌

1. 박중철, 박찬민, 송필용 (2004) 계측자료를 이용한 서해대교 사장교 구간의 구조거동 평가, 대한토목학회 논문집, 제24권, 제2A호, pp. 249-257.
2. 박찬민, 박중철 (2003) 계측자료를 이용한 서해대교 사장교구간의 거동분석, 2003년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 571-576.
3. 서해대교관리소 (2004) 서해대교 계측보고서(2003년), 한국도로공사.
4. 서해대교건설사업소 (2000) 서해안고속도로 서해대교 건설공사 구조 및 수리계산서, 한국도로공사.