

# 온도와 변위데이터를 이용한 공용중 사장교의 단위온도신축량 분석

## Analysis of Variation Rate of Displacement to Temperature of Service Stage Cable-Stayed Bridge Using Temperatures and Displacement Data

이기상\*      이철규\*\*      김현중\*\*\*      문대중\*\*\*\*      홍지철\*\*\*\*\*  
Lee, Ki-Sang      Lee, Chul-Kyu      Kim, Hyun-Joong      Moon, Dae-Joong      Hong, Ji-Chul

### Abstract

Because stage cable-bridge have long spans and large members, their movements and geometrical changes by temperatures tend to be bigger than those of small or medium-size bridge. Therefore, it is important for maintenance engineers to monitor and assess the effect to temperature on the cable-supported bridges. To evaluate how much the superstructure expands or contracts when subjected to changes in temperature is the first step for the maintenance. Thermal movements of a cable-stayed bridge in service are evaluated by using long-term temperatures and displacements data.

### 1. 서 론

케이블 교량은 교량의 길이가 길고 규모가 크기 때문에 온도에 의한 이동량과 형상변화가 일반 교량에 비해 크다. 따라서 케이블 교량의 유지관리를 위해서는 공용 중 온도영향을 분석, 평가하는 것이 매우 중요하며 온도의 영향 평가는 온도변화에 따른 교량 상부구조계의 신축거동을 평가하는 것이 가장 기본적인 분석방법 중 하나로 알려져 있다. 최근, 케이블 교량의 공용 주기가 길어지고 축적된 데이터가 많아짐에 따라 구조계를 좀 더 명확하게 평가하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다.

이 연구에서는 케이블 교량의 온도영향을 분석하기 위해 기존 분석 방법으로 사용했던 신축변위계 또는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 데이터를 이용한 단일 계측 방법에서 벗어나 통계적 신뢰성을 높일 수 있도록 서로 다른 데이터를 이용하여 온도신축거동을 평가한 분석사례를 바탕으로, 현재 공용 중인 케이블교량의 온도 데이터와 GNSS 변위 데이터를 이용하여 단위 온도당 신축량을 산정하여 이론값과의 비교를 통해 교량의 건전성을 확인하였다.

### 2. 대상 교량 및 데이터 수집 방법

\* (주)이제이텍 기술연구소 과장, 공학석사  
\*\* (주)이제이텍 기술연구소 과장, 공학석사  
\*\*\* (주)이제이텍 기술연구소 부장, 공학박사, 교신저자 (hjkim@ejtech.net)  
\*\*\*\* (주)이제이텍 기술연구소 상무, 공학박사  
\*\*\*\*\* 충청북도 도로관리사업소, 팀장

## 2.1 대상교량

이 연구에 적용된 교량은 충청북도 체천에 위치한 청풍대교로, 총연장 472m(중앙 327m, 측경간 57.5m, 교대부 30m) 폭 13m의 5경간 연속 복합사장교로 측경간은 RC단면, 주경간은 프리캐스트 콘크리트 바닥판과 I형 강재 단면으로 구성된 합성형 단면을 갖는다. 주탑은 높이 103m의 H형 콘크리트 단면으로 2012년 5월에 준공되어 현재 SHMS(Structural Health Monitoring System)이 적용되어 운용중에 있다.

## 2.2 데이터 수집 방법

청풍대교의 신축량 측정에 활용된 센서는 Fig. 1과 같이 기준에 설치된 GNSS 수신기 8개 중 중앙 거더에 위치한 2개의 수신기와 기준국 2개를 제외한 나머지 4개의 GNSS와 보강형 4/1 지점에 설치된 부재온도계를 이용하여 데이터를 수집하였다. 데이터 수집 기간은 2014년 1월 1일부터 2014년 12월 31일까지 1년의 데이터를 수집하였으며 평균 10분 데이터를 활용하여 GNSS 교축방향 변위간 상관성 분석을 수행하였다. GNSS데이터는 dN, dE, dH로 3성분으로 구성되어있으며, 방향성의 경우 Y축이 정북(N), X축이 정동(E)일때, 방위각을 반시계방향으로 22°만큼 회전시켜 교직 및 교축으로 방향성을 정의하였다.

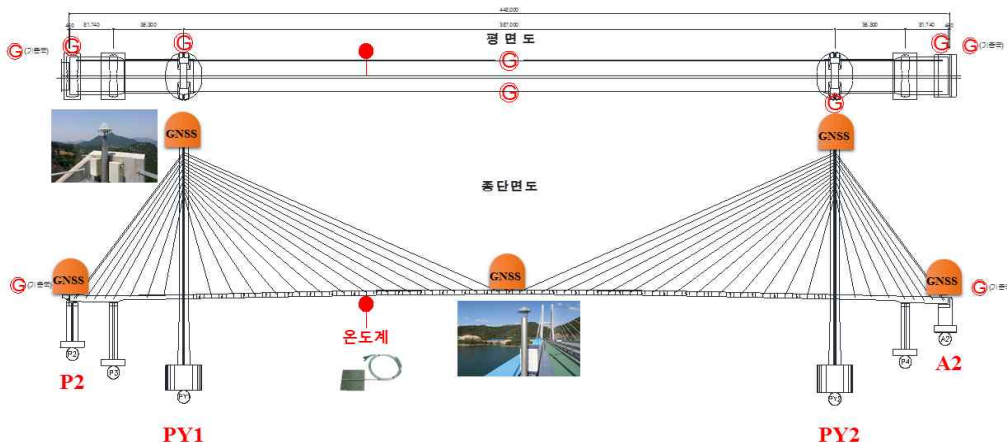


Fig. 1 Installation place of GNSS and Thermometer

## 2.3 단위온도신축량 분석방법

구조물의 온도변화에 의한 신축량  $\Delta L_t$ 은 계산식 (1)과 같이 정의할 수 있다, 여기서,  $\Delta T$ 는 온도변화,  $L$ 은 신축길이,  $\alpha$ 는 재료의 선팽창계수를 의미한다. 계산식 (1)에서  $\alpha$ 와  $L$ 은 각각 사용된 재료 및 부재길이에 따른 경계조건 값이 된다. 이는 신축량과 온도의 선형관계임을 알 수 있으며, 다음과 같은 계산식 (2)로 정의할 수 있다.  $S_T$ 는 온도변화에 의한 신축의 변화량인 단위온도신축량 (mm/°C)로 정의한다.

$$\Delta L_t = \alpha \times \Delta T \times L \quad (1)$$

$$\Delta L_t / \Delta T = \alpha \times L = S_T \quad (2)$$

계측 데이터를 이용한 단위온도 신축량은 계산은 두 변수의 계측값  $\beta_0, \beta_1$  으로부터 선형회귀식 (3)을 최소제곱법 (4)으로 추정하며 그 식은 다음과 같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (3)$$

$$\tilde{\beta}_1 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (4)$$

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)/n \quad (5)$$

$$S_{xx} = \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2/n \quad (6)$$

### 3. 분석 결과

계측 데이터 분석을 통해 신축방향을 고려한 유효온도와 각 계측위치에서 측정된 신축량을 두 변수로 하여 산포도를 나타낸 결과 Fig. 2와 같이 높은 상관성을 확인하였다. 선팽창계수는 Fig. 3과 같이 선형회귀식을 이용하여 기울기를 계산한 결과 0.00001으로 나타났다. 이론에 의한 단위온도 신축량은 계측을 통해 분석된 선팽창계수를 식 (2)에 적용하여 Table 1과 같이 산정하고 식 (4)에 적용하여 온도와 변위 데이터의 단위온도 신축량을 Table 2와 같이 비교하였다.

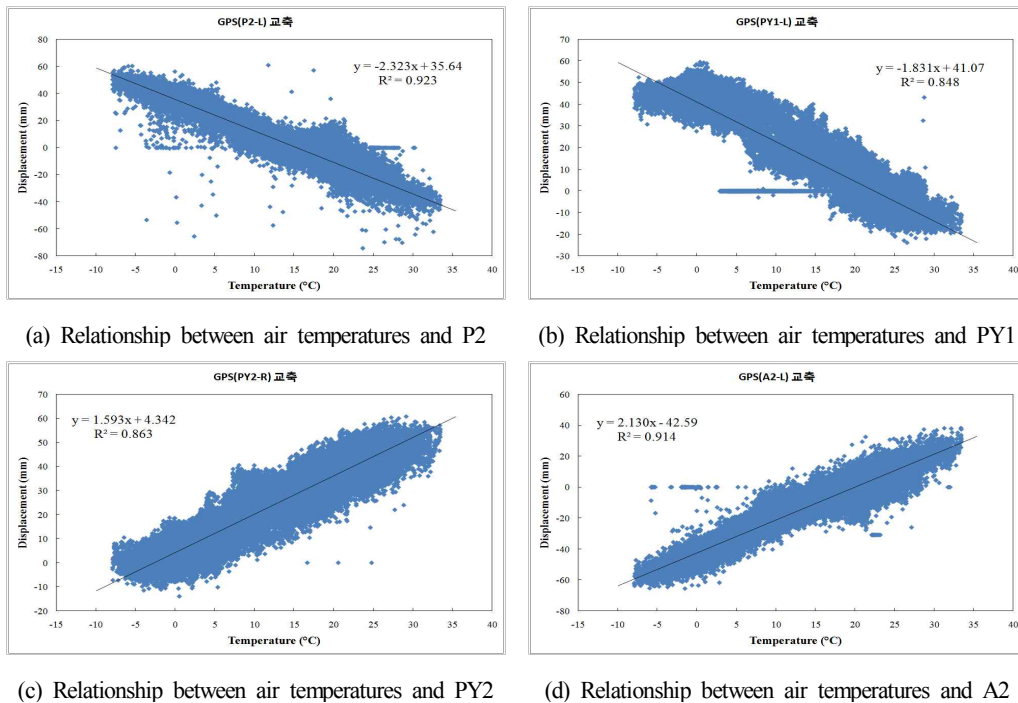


Fig. 2 Relationship between air temperatures and displacement

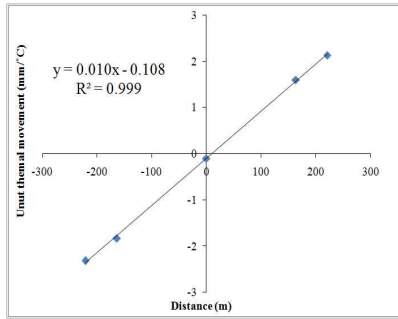


Fig. 3 Relationship between expansion Length and  $S_T$

Table 1 Analytical Comparison of Variation Rate of Displacement to Temperature

P2	$\Delta L_t = \alpha \times \Delta T \times L_{P2}$ $= 0.00001 \times 1 \times 221 = 2.21mm/^\circ C$
PY1	$\Delta L_t = \alpha \times \Delta T \times L_{PY1}$ $= 0.00001 \times 1 \times 163.5 = 1.635mm/^\circ C$
PY2	$\Delta L_t = \alpha \times \Delta T \times L_{PY2}$ $= 0.00001 \times 1 \times 163.5 = 1.635mm/^\circ C$
A2	$\Delta L_t = \alpha \times \Delta T \times L_{A2}$ $= 0.00001 \times 1 \times 221 = 2.21mm/^\circ C$

Table 2 Comparison of Variation Rate of Displacement to Temperature

Location		P2	PY1	PY2	A2
L (m)		-221	-163.5	163.5	221
$S_T$ (mm/°C)	Measurement	-2.323	-1.831	1.593	2.13
	Theory	2.21	1.635	1.635	2.21

#### 4. 결론

온도변화와 데이터와 GNSS 교축변위 데이터를 통해 상관관계를 분석(2014년1월1일부터 2014년12월31일까지)한 결과, 두 변수간의 높은 선형의 상관성을 확인하였으며 청풍대교의 선팽창계수는  $1.00E-05/^\circ C$ 임을 확인하였다. 또한 이론적인 단위온도신축량과 계측에 의한 단위온도신축량의 비교 결과 매우 유사한 결과를 나타냈다.

일반적으로 건전한 구조체가 온도변화에 따라 신축거동이 강한 선형의 상관성을 보이는 것을 고려하고, 건전성을 평가할 수 있는 단위온도신축량 비교를 통해 청풍대교의 구조체와 장기온도신축거동은 건전한 것으로 평가된다. 향후 보다 정확한 건전성 평가를 위해서는 다양한 온도 데이터에 대한 다각적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구는 충청북도 도로관리사업소의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 충청북도, (주)이제이텍, “제천 청풍대교 계측데이터 분석보고서”, 2014
2. 박종철, “온도와 변위 데이터를 이용한 사장교의 온도신축거동 평가“ 대한토목학회 논문집, 2015. Vol. 35, No.4: 779-789