

## 사장교 주형 단면에서의 풍압분포계측

### Measurement of Wind Pressure Distribution on a Deck of a Cable Stayed Bridge

김상범† · 임덕기\* · 김창현\*\* · 김재민\*\*\* · 박현우\*\*\*\*

Kim, Saang Bum; Im, Dukki; Kim, ChangHyun; Kim, JaeMin and Park, HyunWoo

#### 1. 서론

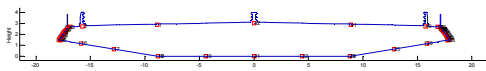
사장교의 풍응답 특성을 분석하기 위하여, 주형단면에서의 풍압분포와 가속도 응답을 측정할 수 있는 무선 풍진동 계측 시스템을 개발하였다. 교량의 경간장이 길어질수록 바람에 의한 영향이 교량을 설계하는 지배적인 요소가 되며, 특히, 현수교나 사장교와 같은 장대 케이블 교량에서는 내풍 안정성을 확보하는 것이 매우 중요해진다. 일반적으로 장대 케이블 교량에 작용하는 풍하중과 풍응답을 분석하고 내풍 안정성을 평가하기 위해서는 풍동실험을 수행하게 된다. 그러나 주어진 환경에 적합한 교량 구조 시스템과 단면 형상을 풍동실험을 통하여 설계하기 위해서는 많은 시간과 자원이 소요된다. 또한 주경간장이 수백 m 를 넘고 단면폭이 수십 m 에 이르는 장대교량에 대한 풍동실험을 위해서는, 적절한 상사법칙을 바탕으로 축소된 모형을 사용하게 되며, 풍동실험시설의 용량제한으로 인하여 많은 경우에 매우 낮은 Reynolds 수에 대해서만 실험이 가능하게 된다. Kubo 등은 중앙경간 260m, 단면폭 11m 인 5경간연속 PC 사장교에 대한 실교량 풍압계측을 수행하였다 (Kubo et al., 1997). 또한 Matsuda 등은 대형풍동을 사용하여 1:10 scale 교량 단면에서 Reynolds 수가  $1.5 \times 10^6$  까지 높은 경우에 대한 풍동실험을 수행하여, 교량 단면의 내풍 특성에 대한 Reynolds 수의 영향을 분석하였다 (Matsuda et al., 2001). 그러나 최근에 건설되고 있는 장대교량은 규모가 매우 커서, 대형풍동을 사용하는 경우에도 Reynolds 수를 한계풍속에 가깝게 가져가는데에 많은 제약이 있다. 실교량에서 계측된 풍향-풍속값은, 바람과 교량의 상호작용에 의한 영향으로 인해 큰 영향을 받으며, 계측된 값으로부터 교량의 풍응

답을 분석하기는 매우 어렵다 (Jones et al., 2001). 실교량에서의 풍압계측은 교량에 작용하는 하중을 직접 구함으로써, 보다 직접적인 풍응답 분석이 가능해지나, 계측기의 설치 및 운영이 어렵고, 계측기에 의해 왜곡된 풍압을 적절히 보정하기가 어렵다. 또한 계측된 풍압을 기존의 풍응답 해석기법을 사용하여 정량적으로 분석하기 위해서는, 결국 풍향-풍속에 인한 보정이 필요하다. 최근에는 초소형 풍압센서의 개발과 무선 계측시스템의 구현 등으로 풍압계측에 대한 제약을 많이 극복할 수 있으며, 교량 건설 지역에서 계측된 풍향-풍속 자료에 대한 공간-추계적인 분석을 통해 풍향-풍속에 의한 영향도 어느 정도 고려가 가능하다. 이 연구에서는, 실교량에서의 단면내 풍압분포를 계측하기 위하여 무선센서네트워크에 기반한 풍진동 계측 시스템을 개발하였다. 교량에 작용하는 풍하중을 추정하기 위하여, 교량 단면에서의 풍압분포를 직접 계측하였으며, 계측된 풍압분포는 교량상에서의 풍향-풍속 계측 결과와 교량이 건설된 지역에서의 공간-추계적인 분석을 통해 보정하였다.

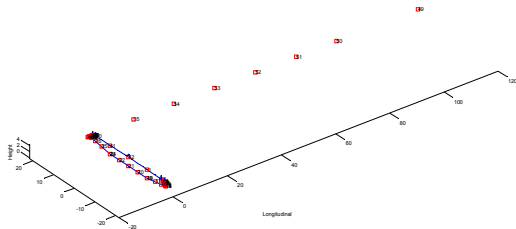
#### 2. 실교량 풍압계측 시스템의 개요

개발된 풍진동 계측 시스템을 주경간 800m 인 강박스 사장교의 풍응답 특성 분석에 활용하였다. 최대 255 nodes 를 갖는 센서 네트워크를 구축할 수 있으며, 이 연구에서는 각각의 55 nodes 에서는 풍압이나 혹은 3 축 가속도를 각각 100Hz 와 1kHz 로 Sampling 하여 계측하였다. 무선 센서 네트워크에 기반한 시스템임으로, 계측의 목적에 따라 다양한 센서 배치를 비교적 손쉽게 구성할 수 있으며, 특히, 단면내 풍압분포와 풍압의 공간 상관관계를 분석하기 위하여, 주형의 Fairing 상부에 풍상/풍하측 각각에 11 공씩, 단면상부에 7 공, 하부에 13 공을 설치하여, 단면내 총 42 공의 압력 Tube 를 설치하였으며, 교측방향으로 공간상관관계를 분석하기 위하여 13 공의 압력 Tube 를 거리를 달리하여 설치하였다. 설치된 가속도와 풍압 센서의 배열을 다음 그림에 나타내었다.

† 김상범; 삼성물산(주) 건설부문  
E-mail : saangkim@gmail.com  
Tel : (02) 2145-6483, Fax : (02) 2145-6500  
\* 임덕기; 삼성물산(주) 건설부문  
\*\* 김창현; 삼성물산(주) 건설부문  
\*\*\* 김재민; TESolution(주)  
\*\*\*\* 박현우; withRobot(주)



(a) 주형 단면내 풍압 및 가속도 센서 배열



(b) 풍압의 공간상관분석을 위한 교축방향 배열  
그림 2. 계측 대상 사장교

### 3. 사장교 주형 단면에서의 풍압 계측

개발된 무선 풍진동 계측 시스템을 사용하여 사장 주형단면에서의 풍압분포를 계측하였다. 다음은 계측시 주형 위에 설치된 풍향-풍속계에 의해 계측된 Wind Rose 이다. 바람의 주된 성분이 교축직각방향임을 알 수 있다.

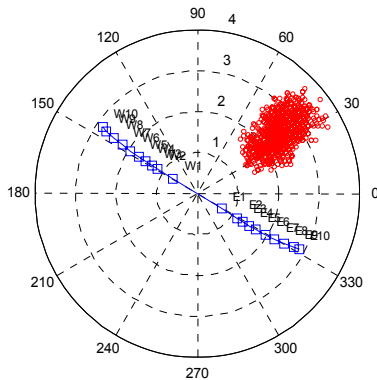


그림 3. Wind Rose

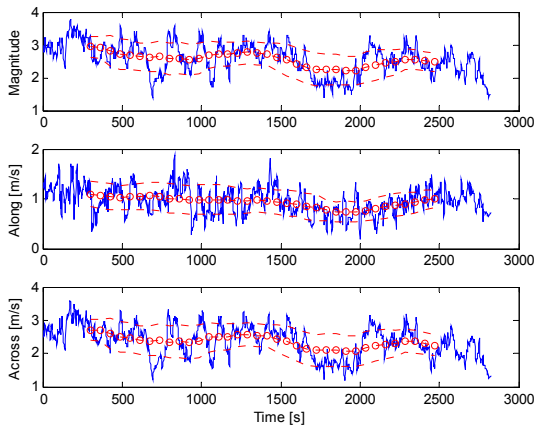


그림 4. 교축 및 교축 직각방향 풍속

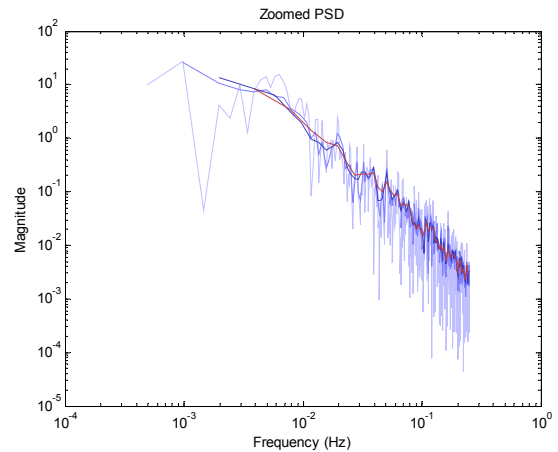


그림 5. 교축 직각방향 풍속의 PSD

Fairing 상부에서 계측된 풍압을 단면 위에서 계측된 풍속을 풍압과 같은 차원으로 변환시킨 값 ( $\frac{1}{2} \rho_{\text{air}} D_{\text{Deck}} v_w^2$ )과 함께 다음 그림에 나타내었다.

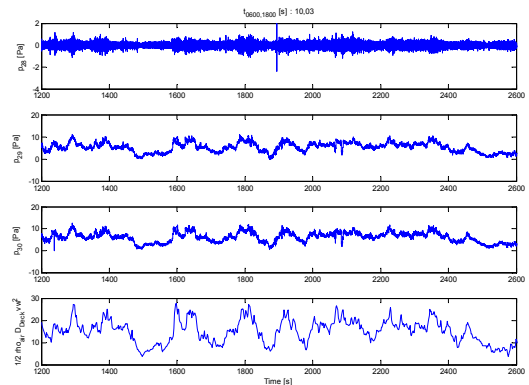


그림 6. 주형 상부 7 센서에서 계측된 풍압분포

### 4. 결론

사장교의 내풍특성을 분석하기 위하여 실교량에서의 풍압분포와 가속도 응답을 계측할 수 있는 무선 센서네트워크에 기반한 풍응답 계측 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 검증하기 위하여 풍동실험을 수행하였으며, 주경간 800m 사장교 주형에서의 풍압분포를 계측하였다. 향후 연구과제는 다음과 같다. 1) 계측된 풍압분포로부터 단면내 풍압 계수를 구하고, 2) 풍압 특성의 공간상관관계를 분석하며, 3) 계측된 풍압분포와 가속도 응답을 풍응답 해석과 비교한다. 개발된 풍응답 계측 시스템은 교량의 풍응답 특성을 보다 잘 이해하게 함으로써, 장대교량의 내풍 특성을 평가하고 향상시키는 데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.