

An Application of a Wind Pressure Sensor to Measure Wind Speeds of Bridge Members

Jae Kyu Park[#], Ki Nam Hong⁺, Kyu San Jung, Yeong Mo Yeon

School of Civil Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, Korea

Abstract

This paper tries to find the efficient way of measuring the wind speeds of bridge members with a prototype wind pressure sensor. We installed six wind pressure sensors at the tower and the girder of a bridge and calculated the average wind speeds per 10 minute of the northeast and the southeast winds. We used the equation for converting wind pressure to wind speeds and the Korean high way design code for revising the altitude of the tower and the girder. For the sensitive analysis of our measurement, we conducted the same test by installing the sensor on a car. From the test, we find that the winds are more likely to come from the northeast and the speeds converted from wind pressure are greater than one measured by wind speed sensors. However, there is no significant difference of wind speeds between two methods at CH3. Therefore, we argue that the method of measuring wind speeds covered from wind pressure is effective in evaluating the wind speeds of a bridge member.

Key words: anemometer, bridge member, wind pressure, wind pressure sensor, wind speed, wind rose

1. 서론

국내의 경우 80년대부터 현재까지 전국적인 도로 노선망을 구축함으로써, 경제가 발전되는데 크게 기인하였다. 특히, 서·남해안 지역은 섬이 많은 지역임에도 불구하고 육지와 섬 사이를 케이블 교량으로 연결하여 교통 이동을 원활하게 하였다. 케이블 교량은 대표적으로 사장교와 현수교가 있다. 이러한 교량들은 대부분 해안선과 나란히 있는 경우가 대부분이며, 바다에서 불어오는 바람의 영향을 많이 받는다.

최근 기후변화로 인해 돌풍 및 태풍 등의 강풍이 해안지역에서 자주 발생되고 있는 실정이다. 물류를 주로 이동시키는 소형 및 대형트럭 등은 해안에서 불어오는 바람으로 인해 차량이 경로를 이탈하거나 전도되는 사고가 자주 발생된다. 선진국에 경우 바람에 의한 사고가 도로에서 발생하는 사고에 약 2% 정도를 차지한다고 보고하고 있다(KICT, 2015).

과거 국내의 경우 바람에 의한 사고를 크게 인식하지 않았지만, 최근 광안대교에서는 트레일러의 컨테이너가 횡풍에 의해 2차로 쪽으로 넘어지면서 승용차를 덮

[#] The 1st author: Jae Kyu Park, Tel. +82-43-261-2404, Fax. +82-43-261-2377, e-mail. kaga0618@hanmail.net

⁺ Corresponding author: Ki Nam Hong, Tel. +82-43-261-2378, e-mail. hong@chungbuk.ac.kr

치는 사고가 발생되었으며, 서해대교에서는 5t 트럭이 강풍에 의해 전도 되었다. 국외의 경우 영국 에든버러에서 대형트럭이 횡풍에 의해 전도되었으며, 캐나다 몬트리올의 샹플레인 교량에서 횡풍에 의해 7대의 트레일러가 전복되는 사고가 발생되었다(KICT, 2015).

이렇게 바람에 영향으로 차량사고가 빈번히 발생됨에 따라 사고를 예방하는 통행지침을 제안하여 적용하였다. 대표적으로 미국의 금문교, 영국에 Erskine교는 풍속이 30m/s 이상일 때 통행을 전면통제 하고 있으며, 일본의 Akashi교는 25m/s 이상일 경우 전면 통제를 시행하고 있다(KICT, 2015). 이와 같이 국내에서도 바람에 의한 사고를 예방하기 위해서 통행 관리 지침을 제안하고 적용하는데 노력을 기울여야한다. 바람에 의한 차량 통행 규정을 제정하기 위해서는 가장먼저 정확한 풍향과 풍속을 측정하고 예측할 필요가 있다(Yoon, 2003). 일반적으로 풍속을 측정하기 위해서 교량 주탑과 거더에 각각 풍향-풍속계를 설치하고 있다. 하지만, 대부분의 풍향-풍속계는 설치 개수가 적기 때문에 계속된 데이터의 신뢰성을 평가하는데 있어 어려움이 있다. 또한, 교량의 경간장이 길어질수록 바람에 의한 영향이 지배적이기 때문에 풍향·풍속계의 수를 늘려야 하지만 현실적으로 가격이 고가이기 때문에 추가적으로 설치하는데 어려움이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해 최근 저비용으로 풍속을 측정할 수 있는 풍압센서가 개발되었다. 풍압센서는 최근 고층빌딩에 풍속 분포 및 계수를 산정하기 위해서 사용되었으며(Datin, *et. al.*, 2006; Kusiak, *et. al.*, 2011; Nozu, *et. al.*, 2015; Yu, *et. al.*, 2015; Zou, *et. al.*, 2015), 공동주택단지를 모형으로 구현하여 풍압 분포를 측정하는데 사용되었다(Jo, & Sohn, 2007). 또한, 센서 개발을 통해 적용을 검증하고 있는 추세이다(Choi, 2002).

풍압센서의 장점은 크기가 작고 비용이 경제적이기 때문에 교량 부재마다 여러 곳에 설치가 가능하며, 부착 위치 설정이 유리하다. 또한, 각 부재가 받는 바람의 세기를 각각 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 주탑과 거더에 풍압센서를 설치하여 풍압을 측정하였으며, 풍압을 풍속으로 변환하여 실제 풍향-풍속계 데이터와 상호 비교하여 신뢰성을 평가하였다.

II. 대상교량 및 해석모델

1. 대상교량 및 풍압센서 설치

1) 대상교량

본 연구의 대상교량은 전남 해남군 학동리와 진도군 녹진리 사이의 울돌목 해협에 위치한 진도대교이다. 진도대교는 한국 최초의 사장교로 1984년에 준공되었으며, 주 경간 484 m, 단면 폭 12.2 m의 제원을 가지는 교량이다. 진도대교는 연간 최대 22~24m/s의 풍속이 발생된다.



Figure 1. Target bridge

2) 풍압센서

풍압측정 원리는 바람이 불어 풍압센서에 측정 면을 타격하면, 풍압이 측정기에 입력되어 측정 장치 안에서 풍압에 따른 출력 값이 발생된다(Do, 2013). 이 때 발생된 출력 값은 기기 안 데이터 수집 장치를 통해 무선으로 송신된다. 송신된 데이터는 블루투스 USB 어댑터가 연결된 모니터링 기기에 수신하고, 수신된 데이터는 프로그램에 의해 풍압 값으로 변환되어 표현된다. 풍압센



Figure 2. Wind pressure sensor

Table 1. Specification of wind pressure sensor

	Value	Note
Resolution	1Pa	-
Measurable range	0~1800Pa	Measurable range of real wind speed : 0~50m/s
Measurement method	10Hz	Dynamic (Sampling rate : 2~50Hz)
Size	107×107×27 mm	-
Power supply	Infilled battery	950mAh
Communication method	Wireless communication	Bluetooth

서 데이터는 초당 2개씩 확보되게 프로그램화 하였다. <Figure 2>에 풍압센서를 나타내었으며, <Table 1>에 풍압센서의 사양을 나타내었다.

3) 풍압센서 설치위치

풍압센서 설치 대상은 제 2 진도대교이며, 주탑(CH1,

CH2)과 거더(CH3, CH4, CH5, CH6)에 각각 <Figure 4>와 같이 설치하였다. 설치 방향은 교축에서 직각(90°)으로 불어오는 바람 이외에 반대쪽에서 불어오는 바람(270°)을 평가할 필요가 있다고 판단되어 주탑과 거더에 각각 풍압센서를 설치하였다. 풍압센서의 위치는 제 2 진도대교에 기 설치되어 있는 풍향·풍속계와 가장 근

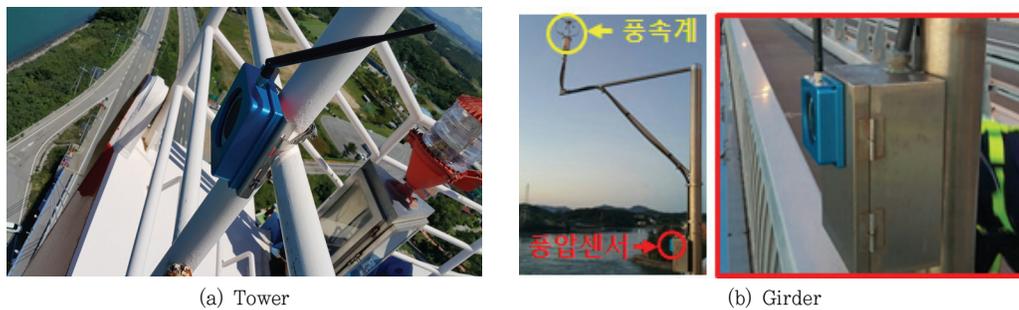


Figure 3. Installation at tower and girder

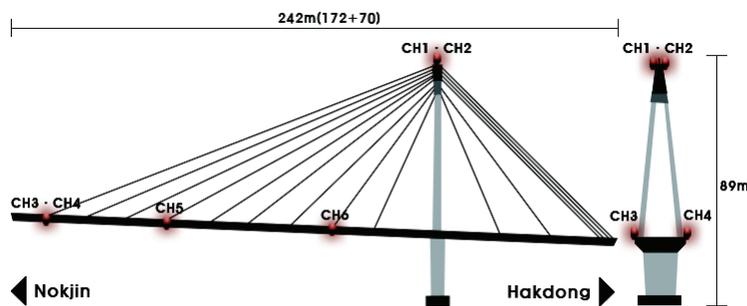


Figure 4. Installation position in wind pressure sensor at target bridge

접한 위치로 선정하였으며, 직접적으로 부는 방향을 최대한 측정하기 위해 주탑은 난간 밖으로 설치하였으며, 거더는 가로등에 설치하였다. 설치 후 풍압측정 기간은 총 11주를 측정하였다. <Figure 3>은 교량의 주탑과 거더에 설치된 풍압센서를 보여주고 있다.

2. 풍압을 풍속으로 변환하기 위한 해석모델

물체를 미는 압력인 풍압은 식 (1)과 같이 정의되며, 풍향은 센서와 직각방향인 90°로 설정하였다. 측정된 풍압을 사용하여 풍속을 구하기 위해 식 (1)을 풍속으로 정리하면 식 (2)와 같다. 풍압은 풍향·풍속계에서 측정되는 것과 같이 10분 평균으로 데이터를 정리하였다.

$$P = \frac{1}{2} \rho C_D G V^2 \sin^2 \theta \quad (1)$$

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\rho C_D G}} \sin^{-1} \theta \quad (2)$$

여기서, P 는 풍압, ρ 는 공기밀도, C_D 는 항력계수, G 는 거스트 영향 계수, V 는 풍속, θ 는 풍향 이다.

공기력 계수는 각 부재의 단면 형상에 따라 결정되는데, 이는 풍하중 산정에 영향을 주는 계수이다. 공기력 계수는 크게 항력, 양력, 모멘트의 3가지 성분인데 본 연구에서는 항력만을 고려하였다. 양력 및 모멘트는 항력에 비해 미치는 영향이 상대적으로 미비하기 때문이다. 거더와 주탑의 형상이 다르므로 형상에 따라 결정되는 항력 계수 역시 거더와 주탑이 각각 다르다. 항력 계수는 거더의 경우 1.68, 주탑의 경우 1.60으로 결정하였으며, 거스트 영향 계수는 1.90을 사용하였다 (Kong, 2002).

풍압센서를 통해 측정·변환된 풍속은 센서와 직각 방향을 가리킨다. 그러므로 실제 풍향·풍속계에서 측정된 풍속은 풍압센서와 직각 방향이 아니므로 이를 보정해 주어야 하며, 식 (3), (4)와 같다.

$$V_\alpha = V \times \sin(45 - \theta) \quad (3)$$

$$V_\beta = V \times \sin(225 - \theta) \quad (4)$$

여기서, V_α 는 교축과 90°인 풍속, V_β 는 축과 180°인 풍속, V 는 풍향·풍속계에 의해 측정된 풍속, θ 는 풍향·풍속계에 의해 측정된 풍향이다.

교량의 풍향·풍속계와 설치된 풍압계는 약 4 m의 고도차를 보이기 때문에 실제 풍속과 풍압을 풍속으로 변환한 데이터를 비교할 때에는 이러한 영향을 고려해 주어야 한다. 고도 보정은 도로교설계기준(Korean Highway Bridge Design Standard, 2012)에서 제시한 식을 이용하여 풍향·풍속계에서 측정된 풍속을 풍압센서의 고도에 맞게 보정하여 사용하였다. 고도 보정은 식 (5)와 같다.

$$V_D = 1.723 \left(\frac{Z_D}{Z_G} \right)^\alpha V_{10} \quad (5)$$

여기서, V_D 는 고도 보정 후 풍속, V_{10} 은 고도 보정 전 풍속, α 는 지표조도 지수, Z_D 는 고도, 그리고 Z_G 는 200 m 이다.

III. 실험 결과 및 고찰

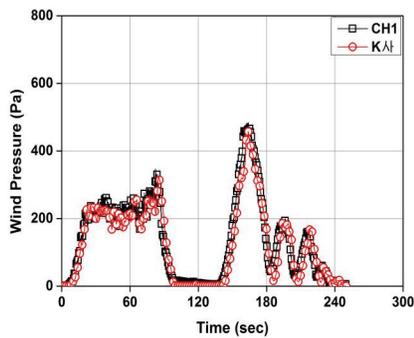
1. 풍압센서의 정밀도 시험 결과

설치할 풍압센서에 대한 정밀도를 측정하기 위해 차량에 센서를 설치한 후 도로 주행을 실시하였다. 데이터에 대한 비교 대상으로 K사의 풍압계를 풍압센서와 동일한 위치에 설치하고 시험을 수행하였다. 바람에 대한 영향은 직각방향으로 부는 바람과 와류에 대해서 평가하였으며, 약 4~8분정도 측정하였다. 풍압센서의 정밀도 평가방법은 <Figure 5>와 같이 수행하였다.

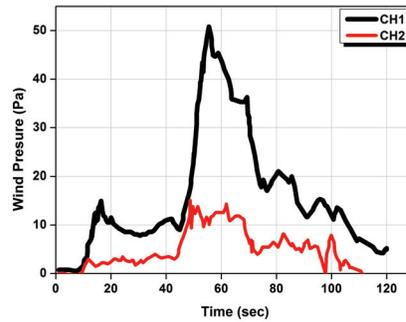
<Figure 5> (a)와 같이 정면에서 불어오는 바람에 대해 평가한 결과, <Figure 6> (a)과 같이 풍압센서(CH1)의 경우 최대 풍압이 약 483Pa 정도 나타났으며, K사의 풍압계는 약 457Pa의 값을 보였다. 값에 차이는 26Pa 차이로 유사한 풍압측정 값을 나타내었으며, 측정 시간동안



Figure 5. Precision test for wind pressure sensor



(a) Result of perpendicular direction test



(b) Result of vortex direction test

Figure 6. Precision test for wind pressure sensor

풍압 패턴이 매우 유사하게 나타나는 것을 확인하였다.

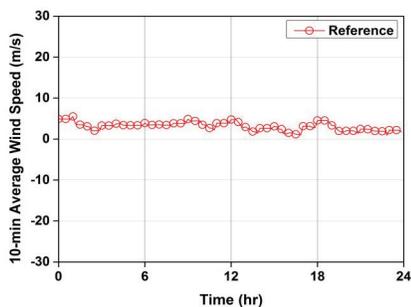
〈Figure 6〉 (b)와 같이 와류를 고려한 시험결과, CH1과 CH2의 풍압측정 결과를 비교하였을 때 CH1, CH2 모두 풍압 측정 경향이 매우 유사하게 나타났으며, CH1은 다소 풍압이 크게 나타나는 것을 확인하였다. CH1의 결과를 볼 때, 제 2 진도대교 풍압측정 결과도 다소 크게 나타날 수 있을 것이라 판단된다.

2. 주탑과 거더에 측정된 실제 풍향 및 풍속측정 결과

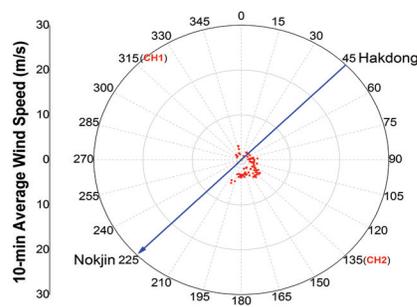
〈Figure 7〉과 〈Figure 8〉은 풍향·풍속계로 측정된

주탑과 거더의 10분 평균 풍속과 풍향을 나타내고 있다. 〈Figure 7〉의 결과를 보면, 주탑의 최대 10분 평균 풍속은 5.51m/s이며, 평균 풍속은 3.08m/s로 나타났다. 풍향은 남동풍이 주로 발생되었다. 자정을 기점으로 오전 12시까지 풍속이 크게 나타났으며, 새벽 1시에 최대 풍속을 나타내었다.

〈Figure 8〉의 최대 10분 평균 풍속은 3.62m/s로 나타났다으며, 평균 풍속은 1.85m/s로 측정되었다. 풍향은 주로 북서풍이 주를 이루었다. 전반적으로 거더는 12시간 별로 평균 풍속을 비교하였을 때 약 1.8m/s로 풍속



(a) 10-min Average wind



(b) 10-min Average wind direction

Figure 7. Results of wind speed and direction of tower

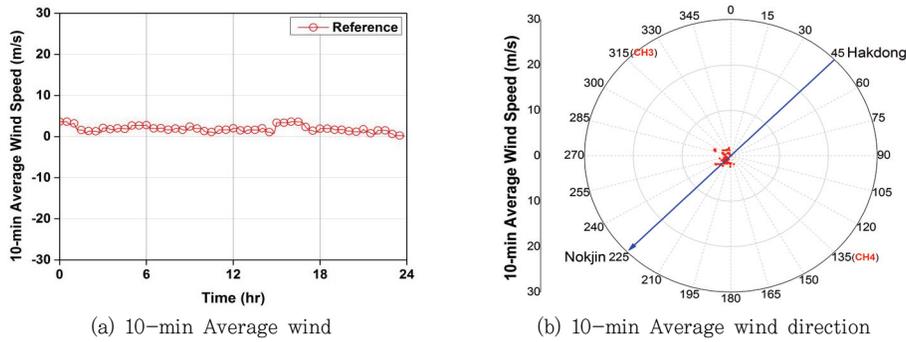


Figure 8. Results of wind speed and direction of girder

의 변화가 크지 않았다.

주탑과 거더의 실제 풍속을 비교하였을 때, 최대 풍속과 평균 풍속이 주탑에서 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 주탑과 거더의 고도차에 의해 나타난 것이라 판단된다.

3. 주탑과 거더에 측정된 풍압측정 결과

〈Figure 9〉는 풍압센서로 측정된 주탑의 10분 평균 풍압을 나타내고 있다.

당일 풍압의 최대 값은 CH1에서 106Pa이며, 평균 풍압은 90Pa로 나타났다. 평균적으로 CH1은 자정에서 정오까지 85Pa의 풍압이 발생되었으며, 정오에서 24시간까지는 94Pa로 나타났다. 당일 풍압의 변화는 실제 풍속과 마찬가지로 일정하게 발생되었다.

CH2의 최대 풍압은 311Pa로 나타났으며, 평균 풍압은 259Pa를 나타내었다. 오전 6시부터 18시까지는 풍압이 약 236~239Pa로 낮 시간 때 풍압은 평균 풍압보다 낮게 측정되는 것으로 나타났으며, 그 이후에 측정

된 풍압은 262~298Pa로 평균 풍압보다 높게 측정되는 것을 확인하였다.

CH1과 CH2의 풍압 비교결과 남동쪽에서 불어오는 바람의 풍압이 크게 측정되는 것을 확인할 수 있었으며, Wind rose의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다.

〈Figure 10〉은 풍압센서로 측정된 거더의 10분 평균 풍압을 나타내고 있다.

먼저 거더 중앙에 설치된 CH3과 CH4의 풍압 측정결과를 보면, CH3과 CH4의 최대 풍압 값은 각각 59Pa, 192Pa로 측정되었으며, 평균 풍압은 각각 24Pa, 140Pa를 나타내었다. 시간 때 별로 자정(0시)에서 오전 12시까지 풍압은 31~35Pa의 풍압을 나타내었으며, 오전 12시부터 자정(24시)까지는 12~18Pa의 풍압을 나타내었다. 풍압은 12시를 기점으로 다시 증가하는 경향을 보였다.

〈Figure 10〉 (c)는 거더의 부재마다 설치된 풍압 측정결과를 나타내었다. 측정결과 CH3, CH5, CH6의 최대 풍압은 각각 59Pa, 74Pa, 222Pa로 나타났으며, 평

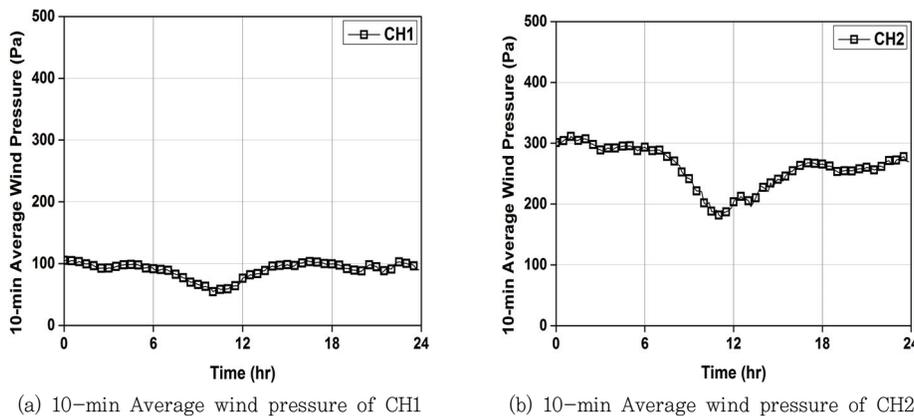


Figure 9. Results of wind pressure at tower

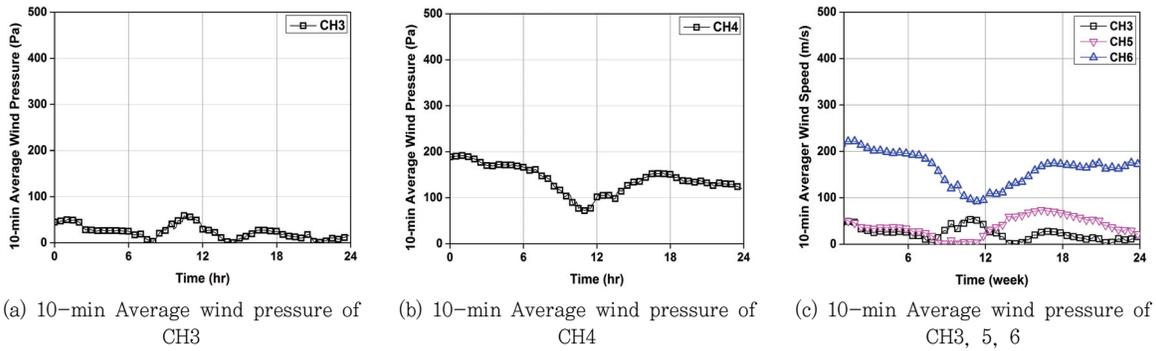


Figure 10. Results of wind pressure at girder

균 풍압은 각각 24Pa, 39Pa, 165Pa로 측정되었다. 동일한 측정 위치에서 CH6이 최대 및 평균 풍압이 가장 크게 나타나는 것을 확인하였다. CH3, CH5는 CH6보다 낮은 풍압 측정 값은 작지만, 유사한 풍압 측정 경향을 보였다.

거더에 설치된 CH3-CH4와 CH3-CH5-CH6을 비교한 결과 CH6 > CH4 > CH5 > CH3 순으로 풍압이 크게 측정되었다. 여기서, CH6과 CH4에서 측정된 풍압이 같은 거더 위치보다 크게 측정되었는데 이와 같은 이유는 CH4 센서 앞쪽으로 1진도대교가 있으며, CH6은 거더 앞쪽에 주탑이 위치하고 있다. 이로 인해 바람이 불어올 경우 CH4, CH6 주위로 와류가 형성되며, 풍압이 크게 측정된 것으로 판단된다.

4. 실제풍속 및 풍압센서로 변환된 풍속의 결과

<Figure 11>과 <Figure 12>는 풍압센서에 측정된 데이터를 변환한 풍속과 실제 측정된 풍속에 풍향과 고도

를 보정해준 데이터를 비교한 것이다. 데이터 비교 및 분석방법은 풍향과 고도를 보정한 Reference 값이 0m/s이상의 풍속 값을 가질 때 비교 대상으로 선정하여 분석하였다.

<Figure 11>은 주탑의 변환된 풍속을 상호 비교하여 나타내었다. CH1의 비교 대상 시간 때는 15~17시와 22~23시 구간이며, CH2의 경우 CH1의 대상구간을 제외한 나머지 시간 때이다.

CH1과 Ref.의 최대 풍속은 각각 7.42m/s, 2.40m/s이며, 평균값은 각각 7.28m/s, 1.11m/s를 나타내었다. 최대값은 약 5m/s의 차이를 보였으며, 평균 풍속은 약 6.17m/s의 차이를 보였다. CH2와 Ref.의 경우 최대 풍속은 각각 12.80m/s, 4.49m/s로 나타났으며, 평균 풍속은 11.65m/s, 2.37m/s의 풍속이 나타났었다. CH2와 Ref.의 풍속을 비교하면 약 3~5배정도 차이를 보였다. 풍압측정 결과와 마찬가지로 CH2가 CH1보다 값이 큰 경향을 나타내었으며, 평균적으로 약 5m/s의 차이를

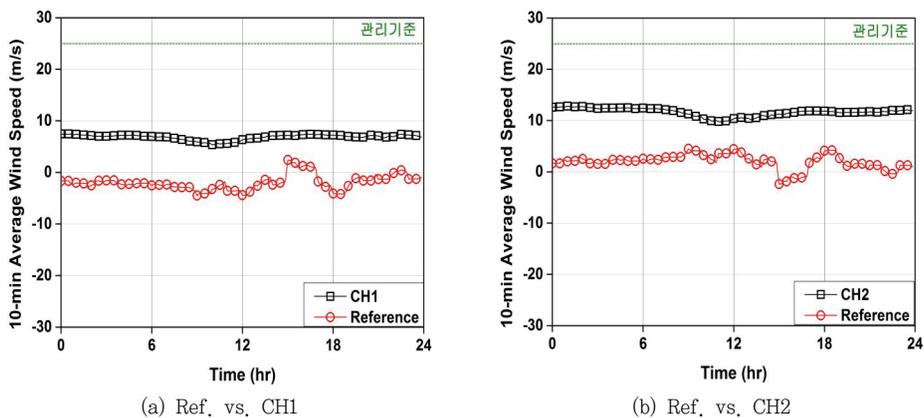


Figure 11. Comparison of 10-min average wind speed of tower

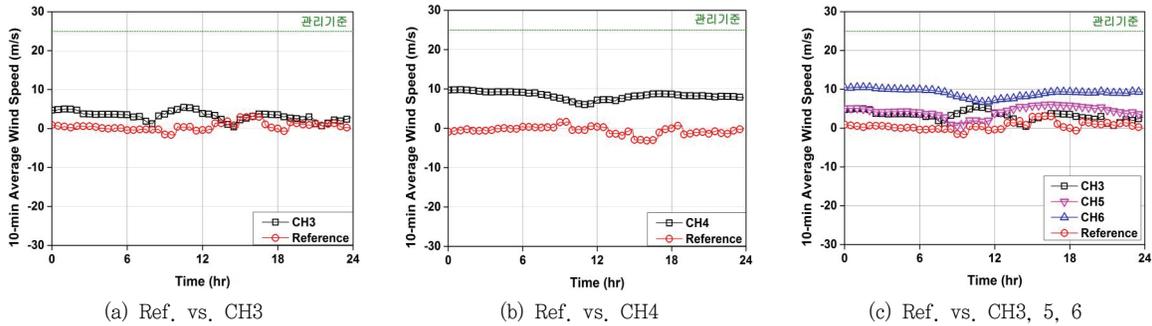


Figure 12. Comparison of 10-min average wind speed of girder

나타내었다.

〈Figure 12〉는 거더의 변환된 풍속을 상호 비교하여 나타내었다. CH3과 Ref.의 비교 대상 시간 때는 자정(0시)부터 오전 4시, 오전 5시부터 5시 50분, 10시부터 11시, 13시부터 17시 40분, 19시부터 23시 40분의 시간을 대상으로 비교하였다. CH3과 Ref.의 최대 풍속 값은 5.42m/s, 3.12m/s로 나타났으며, 평균 풍속은 3.14m/s, 0.98m/s로 나타났다. 15시~16시, 19시~23시까지는 CH3과 Ref.가 경향이 매우 일치하였으며, 그 차이는 약 1m/s내외로 나타났다.

CH4와 Ref.의 최대 풍속은 각각 9.65m/s, 1.64m/s의 풍속을 보이며, 평균 풍속은 8.12m/s, 0.56m/s로 나타났다. 거더 역시 CH4의 최대 및 평균값의 차이는 각각 8.01m/s, 7.56m/s로 약 5배 이상의 차이를 보였다. 주탑과 마찬가지로 남동풍 방향에서 부는 바람이 크게 측정되는 것을 알 수 있었다. 〈Figure 12〉 (c)에 나타난 부재별 풍속 비교 결과는 CH3, CH5, CH6, Ref.의 최대 풍속이 각각 5.43m/s, 6.08m/s, 10.56m/s, 3.12m/s로 나타났으며, 평균 풍속은 각각 3.13m/s, 4.67m/s, 9.18m/s, 0.99m/s로 나타났다. 풍압 측정결과와 마찬가지로 CH6이 가장 큰 풍속을 나타내었으며, CH3과 CH5는 중앙거더 부근이어서 풍속의 차이가 1.54m/s로 크지 않았다. 하지만, Ref.와 차이는 약 2~3배 차이를 보였다.

〈Figure 11〉과 〈Figure 12〉의 결과에서 CH2, CH4, CH6의 풍속이 크게 나타난 이유는 풍압 측정 결과에서 언급한 결과와 마찬가지로 CH2와 CH4 센서 앞쪽으로 제1 진도대교가 있으며, CH6은 거더 앞쪽으로 주탑이

설치되었기 때문에 와류로 인해 값이 크게 나타난 것으로 보이며, 실제 선행 연구에서 보면 측정 위치가 높을수록 풍속이 크며, 와류가 발생하는 부근에서 풍속이 커지는 경향을 나타낸다고 보고되었다(Kim, 2009, Seong, 2011).

고속국도법 시행령 제 5조의 2에서 제정한 교량에서의 10분 평균풍속이 25m/s인 경우 긴급통행 제한을 실시하며, 한국 도로공사는 20m/s이상의 경우 50km/h로 속도제한, 15m/s의 경우 70km/h로 속도제한을 두고 있다(Korea Expressway Corporation, 2003). CH1과 CH2 그리고 Ref. 모두 제한 기준인 25m/s의 풍속을 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 거더의 CH3, CH4, CH5, CH6, Ref. 역시 제한 기준을 넘지 않았다. 풍압센서로 측정된 값이 다소 크게 나타나는 결과를 보였지만, 풍향·풍속계로 측정된 풍속이 값이 너무 보수적으로 나타나기 때문에 실제 교량에서 안전성을 제정할 경우 풍압센서에 측정된 2~3배 큰 풍속을 간과하지 말아야 한다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 풍압센서를 활용하여 풍속을 측정하였으며, 교량에 설치된 풍향·풍속 데이터와 비교·분석 하였다. 측정 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Wind rose 분석결과 풍향은 남동풍과 북서풍 모두 발생되었지만, 남동풍이 주로 분포하는 것으로 나타났다. 실제 10분 평균 풍속은 약 3~4m/s의 풍속이 나타났다.

2) 풍압측정 결과 거더보다 주탑의 풍압이 고도차로 인해 약 2배 이상 크게 측정되었으며, 거더에 부재마다 측정된 풍압결과 CH4와 CH6이 크게 나타난 것을 확인하였다. 이는 와류로 인해 풍압이 크게 측정되었으며, 풍속에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3) 풍압센서로 측정된 풍속과 변환된 실제풍속의 비교 결과 CH3과 CH5가 매우 유사한 풍속 경향을 나타내었으며, 남동풍 방향에서 불어오는 바람을 측정할 CH2와 CH4의 풍속은 실제풍속보다 평균적으로 약 2~3배 정도 큰 차이를 보였으며, 최대 풍속차이는 약 5배 정도의 차이를 보였다.

4) 현재 운용중인 스트레인 게이지 측정방법을 압력 게이지 방식으로 개선하여, 데이터의 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다고 판단된다.

5) 전반적으로 제 2 진도대교에 지나가는 차량은 승용차, 소형트럭 그리고 대형트럭들이 주로 통행하기 때문에 현재 풍향·풍속데이터를 사용하여 기준을 적용하기에는 풍속 값이 보수적이라고 판단된다. 하지만, 풍압센서의 변환 풍속을 사용하여 통행 제안 속도를 제정하면, 제한 범위를 세분하여 적용할 수 있기 때문에 안정성을 확보할 수 있을 것이라 판단된다.

References

- Choi, Tae Won. 2002. Study on a Structural Health Monitoring System Using Anemometers and GPS Sensors. Master's thesis. Dong-a University.
- Datin, P., Z. Liu, D. Prevatt, F. Masters, K. Gurley, and T. Reinhold. 2006. Wind Loads on Single-Family Dwellings in Suburban Terrain: Comparing Field Data and Wind Tunnel Simulation. *Structures Congress*. 1-8.
- Do, Nam Soo. 2013. Implementation of Automatic Inspection System for Wind Pressure Sensor to Improve Reliability of Production Process. Master's thesis. Mok-won University.
- Jo, Wan Je and Jang Yeul Sohn. 2007. Distribution Characteristic of Seasonal Wind Pressure of an Apartment Complex by Wind Tunnel Test. *Architectural Institute of Korea*. 23(8): 237-245.
- Kim, Jin Yeong. 2009 Estimation of Basic Wind Speed in Southwest Coast Area. Master's thesis. Mok-Po University.
- Kong, Kang Ju. 2002 Evaluation of Designed Load-Carrying Capacity And Plans for Improvement of its Capacity. Master's thesis. Jeon-Nam University.
- Korea Expressway Corporation. 2003. *Enhancement of Driving Safety in Highway Sections*. KEC. Rep.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. 2015. *Vehicle Driving Stability Estimation Model and Analysis of Cable Supported Bridge*. KICT. report.
- Kusiak, A., H. Zheng, and Z. Zhang. 2011. Virtual Wind Speed Sensor for Wind Turbines. *Journal Energy Engineering*. 137: 59-69.
- Ministry of Land. 2012. *Korean Highway Bridge Design Standard*. Transport and Maritime Affairs.
- Nozu, T., T. Tamura, K. Takeshi, and K. Akira. 2015. Mesh-Adaptive LES for Wind Load Estimation of a High-Rise Building in a City. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 144: 62-69.
- Seong, Min Ho. 2011. The Method of Wind Load Calculation According to the Analysis of Geographical Wind Speed Impact Factor. Master's thesis. Kyungpook National University.
- Yoon, Jae Ock. 2003. The Characteristics for Wind in the 29 Cities of Korea. *Architectural Institute of Korea*. 19(11): 229-236.
- Yu, X. F., Z. H. Xie, J. B. Zhu, and M. Gu. 2015. Interference Effects on Wind Pressure Distribution between Two High-Rise Buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 142: 188-197.
- Zou, Q., Z. Li, H. Wu, R. Kuang, and Y. Hui. 2015. Wind Pressure Distribution on Trough Concentrator and Fluctuating Wind Pressure Characteristics. *Solar Energy*. 120: 464-478.

Korean References Translated from the English

공강주. 2002. 진도대교 내하력평가 및 성능개선방안 석사학위논문. 전남대학교.

- 국토해양부. 2012. 도로교설계기준.
- 김진영. 2009. 서남해안 지역의 풍속 산정. 석사학위논문. 목포대학교.
- 도남수. 2013. 생산공정 신뢰성향상을 위한 풍압센서 자동검사 시스템 구현. 석사학위논문. 목원대학교.
- 성민호. 2011. 지형적 풍속 영향 계수 분석에 따른 풍하중 산정 방법. 석사학위논문. 경북대학교.
- 윤재욱. 2003. 한국 29개 주요 도시의 풍향 풍속 및 바람특성 비교 연구. 대한건축학회. 19(11): 229-236.
- 조완재, 손장열. 2007. 풍동을 이용한 공동주택 단지의 계절별 풍압분포 특성 연구. 대한건축학회. 23(8): 237-245.
- 최태원. 2002. GPS.센서와 풍압계를 이용한 구조물의 안전진단 시스템에 관한 연구. 석사학위논문. 동아학교.
- 한국건설기술연구원. 2015. 특수교 차량주행안정성 평가모델 구축 및 해석 용역. KICT.
- 한국도로공사. 2003. 고속도로 강풍지역 차량주행 안정성 확보 방안 연구. KEC. Rep.

Received: May. 10, 2016 / Revised: Jun. 10, 2016 / Accepted: Jun. 20, 2016

교량 부재에 작용하는 풍속 측정을 위한 풍압센서 적용

국문초록 본 논문은 풍압센서를 이용하여 풍속이 교량부재에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 풍압센서는 프로토(Proto) 타입으로 제작된 것을 사용하였다. 풍압센서를 통해 측정된 풍속을 풍향-풍속계에서 측정된 풍속과 비교하였으며, 총 6개의 풍압센서를 주탑과 거더에 각각 설치하여 10분 평균 풍속 측정을 수행하였다. 풍압 측정 방향은 북동쪽과 남동쪽 방향을 주로 측정하였다. 풍압을 풍속으로 변환하기 위해 항력을 구하는 식을 사용하였으며, 주탑과 거더의 고도 보정은 도로교설계기준에 제시된 값을 사용하였다. 또한, 풍압센서의 정밀도를 측정하기 위해 차량에 센서를 설치하여 시험하였다. 데이터 측정결과 바람은 주로 남동쪽에 불어오는 것을 확인하였고, 풍압센서를 통해 변환된 풍속과 풍향-풍속계를 통해 측정된 풍속을 비교한 결과 풍압센서를 통해 변환된 풍속이 다소 높은 결과를 보였지만, CH3에서 측정된 풍속은 매우 유사한 값을 보이는 것을 확인하였다. 풍압센서는 교량부재의 풍속을 측정하는 방법으로 적용되기 적합할 것으로 판단된다.

주제어 : 교량부재, 바람장미, 풍속, 풍압, 풍압센서, 풍향-풍속계

Profiles **Jae Kyu Park** : He has been get the degree of master of civil engineering from Chungbuk national university in korea, He works for doctor's course in civil engineering department at Chungbuk university. There are main paper "Durability of alkali-activated blast furnace slag concrete: chloride ions diffusion(2015)", I am particularly interested in the recycling concrete, artificially manufactured coarse(kaga0618@hanmail.net).

Ki Nam Hong : He has been get the degree of doctor of civil engineering from Tohoku university in japan, He works for associate professor in civil engineering department at Chungbuk university. There are main paper "Mechanical properties and carbonation resistance of water-soluble sulfur concrete(2014)", "Prediction of flexural capacity of RC beams strengthened in flexure with FRP fabric and cementitious matrix(2015)", "Evaluation of stability in reinforced earth retaining wall by vehicle collision(2010). I am particularly interested in the earthquake resistant design, seismic retrofit, structure analysis (hong@chungbuk.ac.kr).

Kyu San Jung : He has been get the degree of master of civil engineering from Chungbuk national university in korea, He works for doctor's course in civil engineering department at Chungbuk university. There are main paper "Prediction of flexural capacity of RC beams strengthened in flexure with FRP fabric and cementitious matrix(2015)". I am particularly interested in the seismic retrofit, structure analysis(kyusan@chungbuk.ac.kr).

Yeong Mo Yeon : He has been get the bachelor of engineering of civil engineering from Chungbuk national university in korea, He works for master course in civil engineering department at Chungbuk university. I am particularly interested in the structure analysis(yym235@naver.com).