

철도 선로 주변의 자연풍 특성에 관한 연구

A study on the characteristics in the vicinity of the railway track

권혁빈*
Kwon, Hyeok-bin

유원희*
You, Won-hee

하강희**
Ha, Kang-hee

정명수***
Jeong, Myeong-soo

ABSTRACT

Anemometers to examine the characteristics of the natural wind in the vicinity of the railway track has been installed in two spots, one at the Cheon-Asan station of the Seoul-Busan high-speed line, and the other at the Daechon station of the Changhang conventional railway line in 2006 to examine the characteristics of the natural wind around the railway track to estimate the actual wind speed acting on the train and to develop the wind gust model consisting with the Korean climate condition. The measured data shows that the instant wind velocity frequently exceeds the velocity of train speed restriction, 20m/s, and the actual wind velocities measured in the vicinity of the track are larger than the that measured by the Korean Meteorological Administration(KMA) because the anemometers are installed on the highly-elevated bridges.

1. 서 론

자연적으로 발생하는 강풍은 철도시스템의 안전에 대해 외부적으로 작용하는 환경적 요인의 하나로써 점점 더 위험도가 증가하고 있는 추세이다[1]. 유럽과 일본에서는 철도운영의 초창기부터 강풍에 의한 탈선사고가 발생하여 왔으며, 최근에도 2006년 9월 16일 일본과 중국에서 각각 한 건씩의 바람에 의한 열차의 탈선 사고가 발생하였다. 2006년 9월 17일 일본 규슈 미야자키 현에는 최대 순간풍속 58m/s의 강풍을 동반한 태풍 산산에 의해 역 구내로 진입하던 5량의 특급열차가 탈선하여 전체 승객 30명 중 6명이 중상을 입었다. 2007년 2월 28일에는 중국 북서부 신장위구르 자치구 투르판에서 40m/s 이상의 황사폭풍에 의해 운행 중이던 5906호 야간열차의 19량 중 11량이 탈선하여 사망자 4명을 포함한 100여명이 부상을 입었다. 지금까지 우리나라에서는 철도 개통 이후 강풍이 명확한 원인이 되어 발생한 탈선, 전복 사고는 발생한 바가 없다. 그러나, 세계적인 기상변화와 궤도와 차량 등 철도시스템의 변화에 대해 안전도를 평가하고 관리하여 현재와 같은 수준의 안전도가 유지되도록 하여야 할 것이다.

강풍 시 열차전복 위험도 평가를 위해서는 차량의 공기역학적 특성과 동력학적 특성으로부터 도출되는 각 차량 고유의 전복풍속을 파악함과 동시에 해당 선로에서의 차량 운행여건, 선로조건 및 자연풍의 특성 등 강풍에 의한 열차전복에 영향을 주는 제반 인자에 대한 정보가 필요하게 된다. 차량의 공

* 한국철도기술연구원, 철도시스템연구본부

E-mail : hbkwon@krri.re.kr

TEL : (031)460-5346 FAX : (031)460-5346

** 신공항 하이웨이 구조물 관리팀

*** 공항철도 시설운영팀

지역학적 특성을 파악하기 위해서는 풍동시험 혹은 전산유체해석을 통하여 차량에 대한 공력계수를 측정함으로써 달성할 수 있으며, 차량의 운행여건과 선로조건은 비교적 간단하게 얻어질 수 있다. 자연풍의 세기, 방향 및 돌풍계수 등 자연풍의 특성은 시간, 지역 및 측정 높이 별로 편차가 심하기 때문에 여러 지역에서 장기간의 측정을 통해 파악되어야 하며, 현재 우리나라에서는 철도선로 변에서 측정할 수 있는 측정치를 얻기 힘든 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 철도 연변에서의 자연풍 특성을 파악하기 위해서 자연풍의 측정방법을 연구하였으며, 이를 강풍 시 열차전복 위험도 평가에 활용하고자 한다. 우리나라 전 지형에서의 개략적인 자연풍 특성을 파악하기 위하여 기상청에서 온라인으로 제공하는 기후정보를 분석하였다. 또한 CDMA 통신을 이용하여 원격으로 풍향 및 풍속 데이터를 수집하는 자연풍 현장계측 시스템을 설치하였으며, 이를 이용하여 실제 선로연변에서 발생하는 자연풍의 특성을 분석할 수 있는 데이터 처리 방법에 대해 연구하였다.

2. 자연풍 현장계측

2.1 자연풍 현장계측시스템 풍속측정

국내 철도연변에서 발생하는 자연풍의 특성을 조사하기 위하여 전년도에는 경부고속선 천안아산역과 장항선 신철 대천역 부근에 자연풍 현장계측시스템을 설치하여 풍향과 풍속 등의 계측을 시작하였다[1].

본 연구에서는 그동안 수집된 현장계측 데이터를 바탕으로 기상청에서 정의하는 방식을 준용하여 일별 최대풍향풍속(10분 평균)과 일별 최대순간풍향풍속(1분 평균)을 이용하여 자연풍을 평가하였으며, 이외에도 초당 풍속을 모니터링하여 15m/s 이상일 경우 전후 2분30초 간의 풍속 변화를 별도로 저장하도록 하였다.

현장계측값과 기상대 기후정보와의 비교를 위하여 아래 그림 1과 같이 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)에서 제공하는 일별 최대풍속값을 이용하였다. 대천역 및 천안아산역과 가장 가까운 기상 관측소인 천안관측소 및 보령관측소에서의 일별 최대풍속 값을 위의 방법으로 추출하여 현장계측값과 비교하였다.

The screenshot shows a table titled '일별 최대풍속' (Daily Maximum Wind Speed) with columns for station name, date, and wind speed values. The table is organized into sections for different regions: '충청권역' (Chungcheong Region), '호남권역' (Honam Region), and '영남권역' (Yeongnam Region). Each section lists several stations and their corresponding wind speed data for a specific date.

관측소명	연월일	최대풍속	최대순간풍속	최대돌풍계수	최대돌풍속	최대돌풍방향	최대돌풍속도
천안	2007.01.01	15.0	20.0	1.33	15.0	150	15.0
보령	2007.01.01	12.0	18.0	1.50	12.0	150	12.0
천안	2007.01.02	18.0	25.0	1.39	18.0	150	18.0
보령	2007.01.02	14.0	20.0	1.43	14.0	150	14.0

그림 1 기상청 기상자료

아래 그림 2, 3에는 천안아산역과 대천역에서의 일별 최대풍속 현장계측 값을 기상청이 제공하는 관측값과 함께 나타내었다. 그림 2에 나타난 천안아산역의 풍속을 살펴보면, 먼저 기상청의 관측값은 5m/s 내외에 집중적으로 분포되어 있고, 최대 15m/s 이내인 것을 알 수 있다. 반면, 현장계측값은 이 보다 약간 높게 나타나고 있으며, 최대값 역시 비슷한 차이로 약간 높게 나타나고 있다. 이러한 차이는 풍속의 측정지점에 따른 차이로 설명될 수 있는데, 일반적으로 기상청의 관측소는 평지에 관측탑을 세운 뒤 지면에서 10m의 위치에서 풍속을 측정하도록 되어 있으나, 본 연구에서 풍속계가 설치된 위치는 최고 교각높이 18m 인 풍세교 위에 10m 높이의 타워 위에 설치되어 있다. 이러한 측정높이의 차이로 인하여 일별 최대 풍속이 현장측정에서 더 높게 나타나는 것으로 보인다.

대천역(그림 3)의 경우도 천안아산역의 경우와 마찬가지로 계측지점이 높이 11.21m의 신대천고가 위에서 측정되었기 때문에 현장측정값이 기상대 관측값보다 더 큰 경향을 보이는데, 이러한 차이가 좀 더 큰 것으로 보인다.

이를 통하여 알 수 있는 것은 실제 선로에서 열차가 받는 측풍의 크기는 고가교 위 등 일부 지역에서는 기상청 자료보다 더 커질 수 있다는 것이다. 따라서, 강풍 시 열차 통제의 기준으로 기상청 자료를 이용할 경우 이러한 풍속의 차이에 따른 안전 여유를 확인하고 주의하도록 하여야 할 것이다.

일별 최대풍속은 10분간의 풍속 평균값 중의 일별 최대값으로서 매초마다 변화하는 풍속의 변화를 충분히 반영하기 힘들다. 따라서 적게는 수초, 많게는 수십초 내에서 나타났다가 사라지는 돌풍의 경우 열차의 측풍 안전성에 치명적인 영향을 미칠 수 있다고 하더라도 최대풍속값으로는 풍속의 증가가 감지가 안 될 수도 있으며, 감지가 되더라도 감지 전 사고가 발생할 수도 있다. 따라서, 측풍에 의한 열차 안전성을 평가하기 위해서는 순간풍속을 측풍의 측정기준으로 하는 것이 바람직하며, 실제 일본 등 여러 나라에서는 순간풍속을 근거로 강풍 시 운전규제를 실시하고 있다.

그림 4와 5에는 순간풍속과 평균풍속의 차이를 알아보기 위하여 두 측정위치에서의 일별 최대풍속과 일별 최대순간풍속을 함께 나타내었다. 그림에서 보이듯이 최대순간풍속은 최대풍속보다 전반적으로 더 크게 나타나고 있다. 그러나, 이러한 차이가 모든 날에서 나타나는 것이 아니라 특정한 몇몇 날에서 20m/s 이상의 높은 풍속을 나타나고 있다.

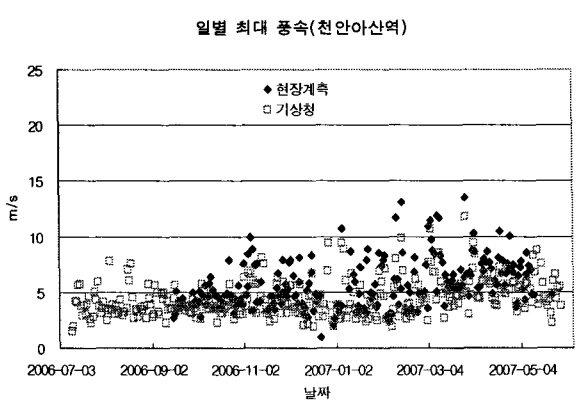


그림 2 일별 최대풍속 현장계측값 및 기상청 기후정보 비교(천안아산역)

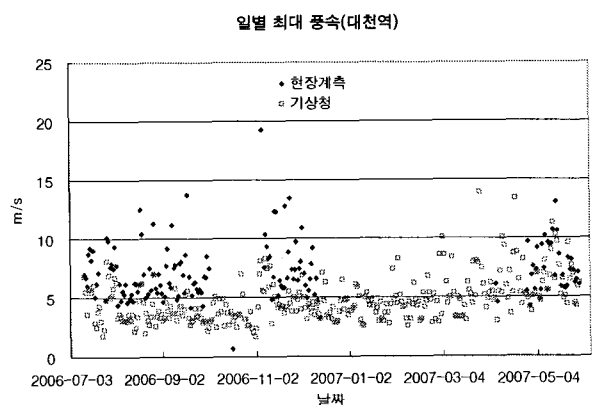


그림 3 일별 최대풍속 현장계측값 및 기상청 기후정보 비교(대천역)

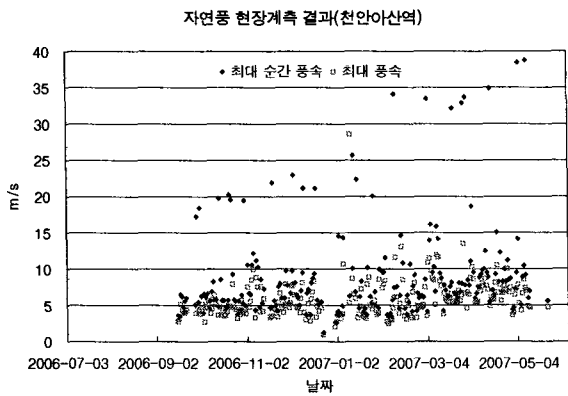


그림 4 자연풍 현장계측 결과(천안아산역)

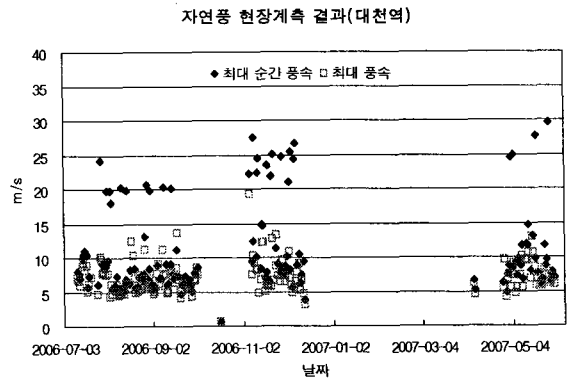


그림 5 자연풍 현장계측 결과(대천역)

아래 표 1에는 앞서 제시한 그림 2-5의 일별 최대풍속 및 최대순간풍속의 측정위치 별 평균값들을 나타내고 있다.

앞서 설명한 바와 같이 기상청의 관측값은 천안아산역과 대천역에서 각각 4.47m/s와 4.77m/s로서 현장계측값 6.04m/s와 7.19m/s에 비하여 작은값을 보여주고 있다. 그러나, 이것은 주로 측정 높이에 따른 차이로 기인한다고 보여지며, 모든 측정일에 대하여 비슷한 차이를 보여주고 있다. 하지만, 일별 최대순간풍속은 두 측정위치에서 각각 9.99m/s와 16.48m/s로서 일별 최대풍속보다 높은 값을 갖지만 모든 측정일에 대하여 차이가 일정하지 않고 특정한 날에 대하여 큰 차이를 보이고 있다. 따라서, 강풍에 의한 열차의 순간적인 탈선계수 및 전도모멘트의 증가를 예측하기 위해서는 최대순간풍속 값을 측풍의 기준으로 활용하는 것이 바람직하다고 할 수 있겠다. 그리고, 전반적으로 해안에 가까운 대천역에서의 평균값들이 내륙인 천안아산역에 비하여 모든 측정기준에 대하여 높은 값을 갖고 있으며, 이를 통하여 해안지역에서의 강풍의 영향이 더 큰 것을 알 수 있다. 그러나, 최대풍속이 25m/s를 상회하는 날은 대천역이 더 많았으나, 30m/s를 상회하는 경우는 천안아산역이 대천역에 비하여 더 많은 것으로 나타났다.

표 1 측정방법 별 풍속 평균 비교

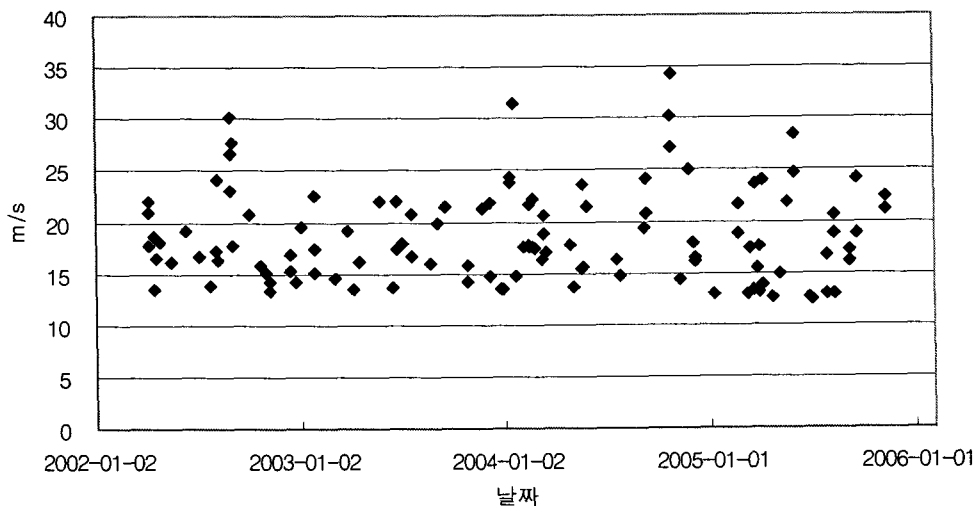
측정위치		일별 최대풍속(m/s)	일별 최대순간풍속(m/s)
천안아산역	기상청	4.47	-
	현장계측	6.04	9.99
대천역	기상청	4.77	-
	현장계측	7.19	16.48

2.1 영종대교 자연풍 계측 DB 분석

아래 그림 6에는 영종대교의 일별 최대순간풍속을 나타내고 있다. 영종대교를 관리하는 신공항하이웨이(주)에서는 교량의 안전을 확보하기 위하여 풍속을 포함한 변위, 진동 등 각종 물성치들을 실시간으로 측정, 모니터링하고 있으며, 이 중 2002년 4월부터 2006년 12월까지 측정한 풍속 측정값들을 제공받았다. 신공항하이웨이(주)가 설치한 계측 시스템은 순간풍속이 15m/s 이상이 되었을 때 풍속의 초당 평균값들을 저장하도록 되어 있는데, 본 연구에서는 이러한 Raw Data로부터 각 저장구간의 최대값을 날짜별로 정리하였다. 그림에서 보이듯이 일별 최대 순간풍속은 20m/s를 상회하는 경우가 다수 발생하였으며, 30m/s를 상회하는 경우도 많이 발생하였다.

공항철도가 운행하는 영종대교는 바다 위에 놓인 장대교량으로서 자연풍의 크기가 평지보다 훨씬 강하며, 공항철도의 개통일이 2007년 3월 23일로서 운행기간이 짧기 때문에 운행이력에 의한 안전입증이 어렵다. 단기간의 기상데이터를 분석한 결과로부터 자연풍의 세기가 규정 상의 위험풍속을 상회하는 경우가 자주 발생하고 있기 때문에, 장기간의 자연풍 계측데이터를 바탕으로한 강풍 발생빈도의 추정과 운행열차에 대한 공력특성의 분석을 통하여 강풍에 대한 안전도의 평가가 필요할 것으로 사료된다.

일별 최대순간풍속(영종대교)



실제 선로 상에는 더 강한 바람이 불고 있다는 것을 알 수 있었다.

- 풍속의 1분간 평균값인 일별 최대순간풍속을 분석한 결과 일별 최대풍속에 비해 일정한 증가를 보이지 않으며, 몇몇 날에 대해서 높은 차이를 기록하였다. 따라서, 측풍에 의해 열차에 가해지는 측력의 영향을 모니터링하기 위해서는 일별 최대순간풍속을 이용하여야 한다.
- 해안에 위치한 대천역에서의 일별 최대순간풍속이 내륙에 위치한 천안아산역에서의 일별 최대순간 풍속 값보다 평균 65% 높게 나타났다. 이를 통해 지리적인 위치나 국부적인 지형조건에 의해 자연풍의 세기가 달라질 수 있으며, 측풍의 영향 평가 시에 이를 고려해야 함을 알 수 있다.

참고문헌

1. 권혁빈, 남성원, 유원희, 홍유나, "강풍 시 열차전복위험도 평가를 위한 자연풍 측정에 관한 연구", 2006 한국철도학회 추계학술대회 논문집
2. M. Fujii, T. Fujii, H. Muraishi, "History of railway operational regulation under strong wind condition," RTRI Report, Vol.9, No.3, pp.43-48, 1995(In Japanese).
3. U. Hoppmann, S. Koenig,, T. Tielkes, G. Matschke, "A short-term strong wind prediction model for railway application: design and verification," Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, Vol.90, pp. 1127-1134, 2002.
4. T. Imai, T. Fujii, K. Tanemoto, T. Shimamura, T. Maeda, H. Ishida, Y. Hibino, "New train regulation method based on wind direction and velocity of natural wind against strong winds," Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, Vol.90, pp. 1601-1610, 2002.
5. T. Imai, T. Shimamura,, T. Fujii, "Istimation of actural wind speed with consideration of the characteristics of turbulence observed in natural winds," RTRI Report, Vol.17, No.8, pp.25-30, 2003(In Japanese).