

강풍 시 열차전복위험도 평가를 위한 자연풍 측정에 관한 연구

A Study on the Natural Wind Measurement to Assess the Risk of Train Overturn due to the Strong Wind

권혁빈* 남성원** 유원희** 홍유나**
Kwon, Hyeok-bin Nam, Seong-won You, Won-hee Hong, You-na

ABSTRACT

The measurement method of natural wind to understand the characteristics of the natural wind along the railway lines in Korea has been investigated to be used in the assessment of the risk of train overturn. The weather information service provided by Korea Meteorological Administration has been employed to outline the broad characteristic of natural wind in Korea. Anemometers using CDMA telecommunication for data transfer have been installed near the railway lines to measure velocities and directions of natural wind and the data processing method has been studied using the measured data.

1. 서론

철도교량의 고가화, 세계적인 기상이변 등으로 철도차량이 강풍에 노출되는 빈도가 커지고, 고속철도의 개통, 기존철도의 고속화 및 철도차량의 경량화로 인하여 강풍 시 열차의 전복 및 탈선위험이 증가하고 있다. 강풍에 의한 차량전복은 주로 교량이나 높은 성토구간에서 고속주행 시 발생할 위험이 크기 때문에 대형 인명, 재산 피해로 연결될 가능성이 높으며, 국내 자연환경 및 철도시스템 특성에 검증되지 않은 현재의 운전규제는 안전확보에 실패하거나 과도한 영업손실을 초래할 우려가 있다. 따라서, 해마다 빈번히 발생하는 태풍과 해안선, 고가교량의 자연풍 등 강풍에 대한 운행안전을 확보하여 국가 기간 교통망으로서의 철도교통에 대한 국민들의 높은 기대치를 충족시켜야할 필요가 있다.

유럽의 경우 1994년에 시작하여 1998년에 종료된 TRANSAERO Project에서 유럽에서 운행 중인 200km/h이상의 고속 철도 시스템에 대한 공기 역학적인 연구를 그 목표로 독일 철도(DB)와 프랑스 국철(SNCF)와 같은 철도 회사와 대학 연구소를 중심으로 공동 수행되었으며, 측풍에 의한 측력, 두 열차의 교행 그리고 터널 내부에서의 압력과 등에 대해 연구하였다. TRANSAERO project 이후 최근 독일과 프랑스의 상호운행에 따른 제반 문제점을 해소하기 위한 공동연구의 일환으로 DEUFRAKO crosswind program이 시작되어 250km/h급 고속철도에 대한 강풍안전도 분석의 방법을 개발하고 있다.

일본에서는 잦은 강풍에 의한 전복·탈선사고(철도개통 후 총 29건이 발생)로 이미 정부 주도하에 풍속에 따른 운전규제 및 운전재개 규정을 운영 중이나, 최근에는 강풍감시법, 실규모 차량에 대한 공력 관측, 중대형 풍동시험을 통하여 방대한 실측데이터에 기반한 강풍경보시스템과 방풍벽을 개발 중에 있다. 특히 일본에서는 2006년 12월 25일 야마가타현에서 발생한 탈선사고의 원인이 교량 통과 시의 강풍으로 추정됨으로 인하여 사고 원인과 대책을 조사할 전담반을 조직하여 연구하고 있다.

* 한국철도기술연구원, 철도시스템안전연구본부
E-mail : hbkwon@krri.re.kr
TEL : (031)460-5346 FAX : (031)460-5346

* 한국철도기술연구원

본 연구에서는 강풍 시 차량전복 위험도 평가를 위하여 ① 기상청의 기상자료를 토대로 지역별/계절별 강풍 특성을 분석하고 ② 연간 자연풍 현장계측 장비를 설치하여 철도선로변의 지속적인 기상정보 수집기반을 마련하였다.

2. 기상청 기상자료 분석

2.1 개요

우리나라의 철도 선로 주변에서 발생하는 강풍의 특성을 분석하기 위하여 기상청에서 온라인으로 제공하는 기후정보[<http://www.kma.go.kr>]를 기초로 하여 우리나라의 지역별, 계절별 강풍의 특성을 분석하였다. 기상청에서 제공하는 기후정보는 1971년에 최초로 측정되었으며, 측정지점은 1971년 당시 서울, 대전, 부산 등 20개 소에 불과하였으나 점차 측정소의 개수가 늘어나 2005년에는 관측지점이 65개에 달하고 있다.

2.2 풍향풍속의 분석

기상청의 기후정보가 제공하는 강풍 관련 정보는 최대순간풍향풍속과 최대풍향풍속의 두 가지이다. 최대풍향풍속은 하루(00-24시) 중 임의의 10분간 평균으로 가장 세게 불었던 풍속과 그때의 풍향이며, 이 때 최대 풍향은 최대풍속과 같은 10분간 빈도가 가장 많았던 풍향을 말한다. 최대순간풍향풍속은 하루(00-24시) 중 바람이 순간적으로 가장 세게 불었던 때의 풍향·풍속을 의미하며, 이때 최대순간풍향은 최대순간풍속이 불었을 때의 순간값이다. 기상청에서 수집하는 풍향풍속 데이터는 1분간의 평균값을 이용하므로 최대순간풍속 역시 1분간의 평균값을 의미한다고 볼 수 있다.

2005년 한 해 동안 가장 강한 바람이 관측된 지점은 최대순간풍속 기준으로 영덕과 대관령으로서 각각 32.7m/s의 북북동풍과 서풍이 불었으며, 울진, 여수도 30m/s 이상의 최대순간풍속을 기록했다. 최대풍속을 기준으로 할 때에는 여수가 22.8m/s로 가장 높았으며, 다음으로 목포, 대관령, 영덕의 순으로 나타났다. 최대순간풍속이 높은 경우 최대풍속도 높은 경향을 나타냈지만, 그 순위가 완전히 일치하지는 않음을 알 수 있다.

아래 그림 1에서 그림 4에는 주요 도시에 대하여 연도별 최대순간풍속을 나타내었다. 먼저 그림 1에는 경부선 주변에 위치한 서울, 수원, 천안, 청주, 대전, 추풍령, 대구, 부산에 대한 연도별 최대순간풍속을 나타내었다. 비교적 내륙에 위치한 수원과 천안의 경우에는 운전규제 또는 주의운행 조치가 취해지는 20m/s의 풍속 내외에 머물고 있지만, 가장 바람이 심한 부산의 경우에는 모든 해에서 20m/s 이상의 바람이 불었으며, 특히 운전정지에 해당하는 풍속 30m/s의 바람이 분 연도도 35년 중 12회에 달했다. 그림 2에 나타난 전주, 광주, 목포 등 호남선 주변 도시에 대한 최대순간풍속도 경부선과 유사하게 나타났다. 호남선의 경우에도 해안에 위치한 목포에서 가장 센 바람이 불고 있음을 알 수 있으며, 모든 연도에서 20m/s 이상의 최대풍속을 나타내었고, 30m/s 이상의 풍속도 11회에 이르고 있다. 경부선, 호남선 및 전라선 등 우리나라의 대표적인 간선들은 비교적 내륙지방을 통과하기 때문에 우리나라의 기후환경 하에서 강풍의 영향을 덜 받는 편에 속한다.

그림 3과 그림 4에 나타난 동해안과 서해안 주변 도시들의 연별 최고순간풍속은 이들 간선주변 도시보다 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 먼저, 그림 3에 나타난 동해, 강릉, 울진, 포항, 울산 등 동해안 주변 도시들을 살펴보면, 대부분의 도시들에서 측정기간 동안 20m/s 이상의 연간 최고순간풍속을 기록하고 있음을 알 수 있다. 특히, 평균적으로 가장 높은 최고순간풍속을 나타내고 있는 울진의 경우에는 총 28년의 측정기간 중 19회나 연간 최고순간풍속이 30m/s를 넘었고, 1983년과 1997년에는 50m/s 이상의 최고순간풍속을 기록하기도 했다. 그림 4에 나타난 인천, 보령, 군산, 목포, 해남 등 서해안 지역의 도시들도 대부분 20m/s 이상의 높은 연간 최대순간풍속을 기록하고 있다. 가장 바람이 강한 군산의 경우에는 35년 간 총 16회에 걸쳐 연간 최고순간풍속이 30m/s를 초과하였으며, 1976년에는 41.3m/s로 측정기간 중 가장 높은 연간 최대순간풍속을 나타내고 있다.

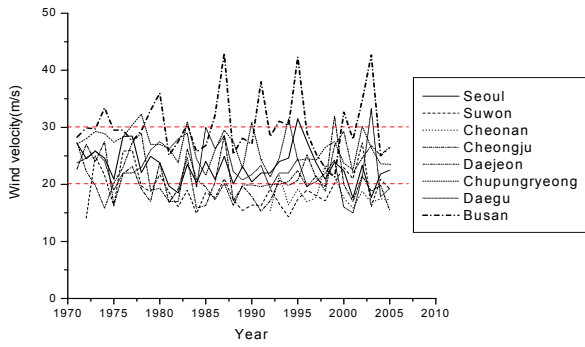


그림 1 연도별 최대순간풍속(경부선 주변 도시)

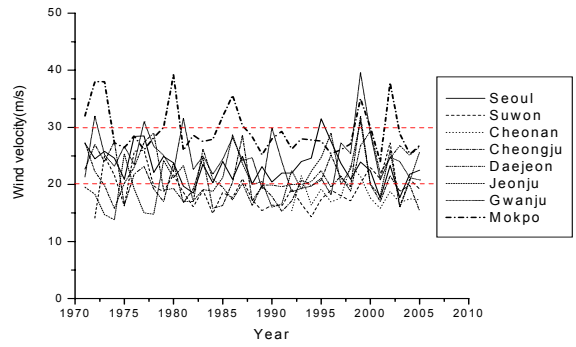


그림 2 연도별 최대순간풍속(호남선 주변 도시)

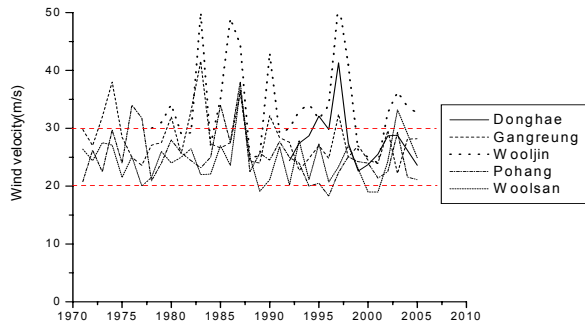


그림 3 연도별 최대순간풍속(동해안 주변 도시)

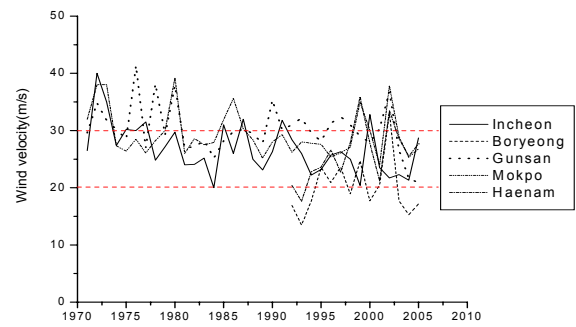
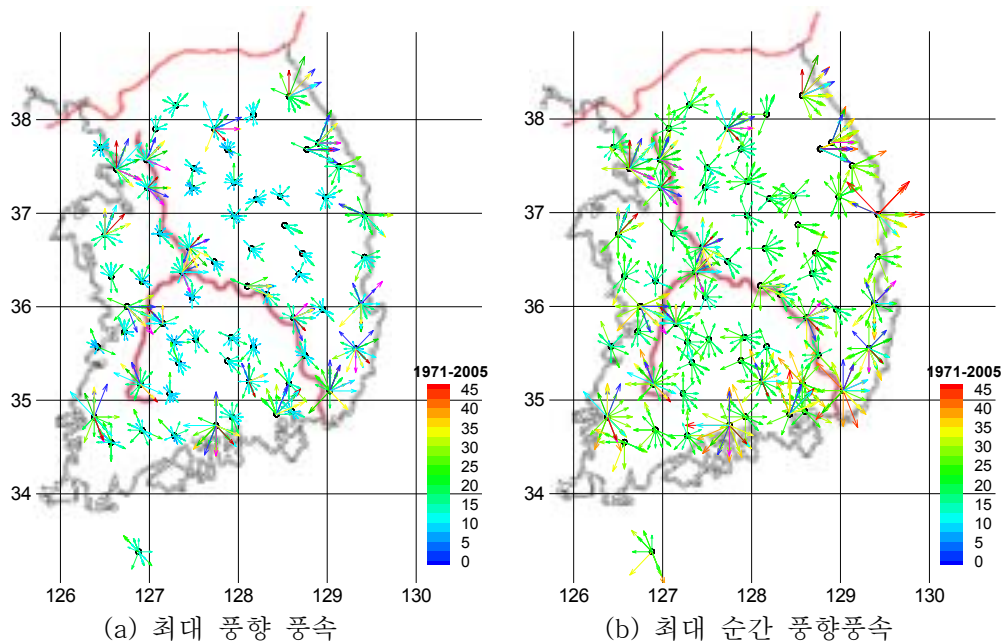


그림 4 연도별 연간 최대순간풍속(서해안 주변 도시)

그림 5 (a)와 (b)에는 1971년부터 2005년까지 최대풍향풍속 및 최대순간풍향풍속을 누적하여 벡터로 표기하였다. 울진, 목포, 부산, 군산 등 강풍지역이 보다 큰 방사형상으로 나타나고 있으며, 전반적으로 해안지역에서 풍속이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 내륙지방에서는 상대적으로 낮은 풍속을 나타내고 있으나 지역마다 다소간의 편차를 보이고 있다. 풍향의 경우, 동해안 포항이북지역으로서 서풍은 거의 관찰되지 않는 특성을 보이고 있으며, 서해안의 경우 인천지역은 남풍이 관찰되지 않고 있다. 수원, 청주, 대전, 광주, 대구 등 내륙 지방은 전반적으로 고른 풍향분포를 보이고 있으며, 군산은 해안지역임에도 불구하고 고른 풍속분포를 보이고 있다.



(a) 최대 풍향 풍속

(b) 최대 순간 풍향풍속

그림 5 최고풍향풍속 지역 분포(1971년~2005년)

3. 자연풍 현장계측시스템 구축 및 기상정보 수집

3.1 자연풍 현장계측시스템 개요

강풍 시 차량전복 위험도 평가를 위해서는 열차 주행 시 바람에 의해 차량에 가해지는 하중의 파악이 필수적인데, 이를 위해서는 풍동시험 혹은 전산유체해석을 통해 얻어지는 일정한 유속 하에서 측력, 양력, 전도모멘트 등의 공력계수의 측정과 자연풍의 평균 및 최대 풍속, 풍향, 빈도 및 돌풍모델의 정확한 예측이 필요하다.

차량의 공력계수는 풍동시험을 통해서 비교적 정확하게 측정할 수 있으나 대형풍동의 임차 및 운용, 모델제작 등에 상당한 비용이 소요되며, 전산유체해석을 이용할 경우 비용은 상당히 절감할 수 있으나 정확성이 다소 떨어지는 단점이 있다.

자연풍의 경우에는 측정 높이, 지역별로 최대 2-3배까지 차이가 날 수 있고, 시간에 따라서도 지속적으로 변화하기 때문에 여러 지역에서 장기간에 걸쳐 데이터를 측정하여 통계적으로 처리하여야만 위험도 평가에 신뢰성 있게 활용될 수 있다.

이와 같은 자연풍의 측정을 통한 강풍위험의 평가는 이미 외국에서 널리 사용되고 있는 방법이며, 최근에는 실차를 이용하여 자연풍과 차체에 가해지는 공력하중을 무인 자동 측정하고 있다. 아래 표 1에서는 일본과 영국의 주요 실차 자연풍 측정 사례를 설명하였으며, 그림 6 (a), (b)에는 측정에 사용된 시험설비의 사진을 보여주고 있다.

표 1 외국의 주요 자연풍 계측 사례

국가	일본	영국
측정지역	호카이도 시마마키군	Cumbria Eskmeals
측정시기	2001.12-2004.3	2001.2-2002.3
측정높이	지상 8m	지상
차종	JR103계 3량	Class390 Pendolino + Mark3 coach
지형	단선고가교(높이 80m)	해안 둔덕(해수면높이3.9m,)
계측항목	풍속 및 풍향, 차량에 작용하는 공력, 차체 표면압력, 기온, 대기압 등 총 84채널	평균, 순간 풍속, 난류강도, 차량작용 공력, 기온, 기압 등



(a) 시마마키시험장의 실규모 시험장치



(b) Eskmeals 해안의 실규모 시험장치

그림 6 실차를 이용한 자연풍 계측 설비

3.2 원격 상시 자연풍 현장계측 시스템의 구성

본 연구에서는 CDMA통신을 이용하여 원격으로 풍향 및 풍속 데이터를 수집하는 자연풍 현장계측 시스템을 설치하여 실제 선로연변에서 발생하는 자연풍의 특성을 분석하고 강풍에 의한 전복위험의 평가기술의 개발에 활용하고자 한다.

원격 상시 자연풍 현장계측 시스템은 크게 풍향풍속현장계측시스템과 자연풍 통합계측장비의 두 개 장치로 나뉘어진다. 여기서, 풍향풍속현장계측시스템은 임의의 계측지점에 설치되어 풍향풍속 정보를 수집하고, 저장하며, 원격으로 정해진 측정실로 전송하는 장비로서 계측지점마다 하나씩 설치된다. 자연풍 통합계측장비는 측정실에 설치되어 각 계측지점에서 전송되는 풍향풍속정보를 받아들여 저장장치에 저장하고, 각종연산을 통해 데이터를 재가공하며, 이를 차트에 현시하는 기능을 하는 장비이다. 하나 혹은 그 이상의 풍향풍속현장계측시스템은 CDMA 통신을 이용하여 데이터를 전송하며, 자연풍 통합계측장비는 다수의 계측지점에서 전송하는 데이터를 통합적으로 관리한다. 이와 같은 원격 상시 자연풍 현장계측 시스템의 구성이 그림 7에 나타나 있다.



그림 7 원격 상시 자연풍 현장계측 시스템의 구성도

풍속계가 설치되는 기상타워는 삼각형 사다리 타입의 10m 높이 트러스 구조물로서 5m, 7m, 9m 높이에 풍속계를 설치할 수 있는 지지대를 갖고 있다. 풍하중, 진동 등에 의한 타워의 쓰러짐을 방지할 수 있도록 세 방향으로 와이어를 연결하여 지지하도록 되어 있다. 풍향풍속계는 Delta OHM 사의 HD2003 모델을 사용하였는데, 이 풍향풍속계는 초음파식으로서 0에서 50m/s까지의 풍속범위를 0.01m/s의 분해능과 $\pm 1\%$ 의 정밀도로 측정할 수 있다. 또한 풍향에 대해서는 수평각 뿐만 아니라 $\pm 60^\circ$ 의 범위 내에서 수평각도 측정할 수 있으며, 분해능과 정밀도는 각각 0.1°와 $\pm 1\%$ 이다.

3.3 측정장소의 선정

선로변 자연풍 계측을 위하여 지상보다 바람이 많이 부는 교량구간을 대상으로 하여 교량의 제원, 해변과의 근접성, 현장 근무자들의 경험 등을 토대로 고속선의 옥천구간 2개소와 천안아산역 남단 및 장항선 신노선 4공구 대천천교 구간 등을 조사하였으며, 세 차례의 답사 결과 최종적으로 경부고속선 천안아산역과 새로이 건설 중인 장항선 대천역을 선정하였으며, 아래 표 2에는 최종적으로 자연풍 계측시스템 설치장소로 선정된 고속선 천안아산역과 장항선 신축 대천역의 위치 및 현장 설치 사진을 보여주고 있다. 교량의 경우에는 공간이 협소하여 기상타워의 설치 및 운용 시에 열차의 안전운행에 위험을 줄 우려가 다소나마 있으나, 선정된 두 지점은 역의 가장자리에 있는 공간을 활용하기 때문에 열차운행에 거의 지장이 없도록 하였다.


표 2 자연풍 계측시스템 설치 현장 사진



서
해

3.4 계측 프로그램

측정된 현장 자연풍 데이터는 CDMA 통신을 이용하여 계측 서버컴퓨터에 수집된다. 서버 컴퓨터는 계측데이터의 저장 및 분석을 위한 전용프로그램이 설치되어 있으며, 각 측정소에서 수집된 풍속, 풍향, 고도각, 온도 등의 정보를 월, 일, 시 등의 시간간격에 대한 최고값으로 조회할 수 있도록 하였다. 측정은 2006년 8월 1일부터 시작되었으며, 앞으로 2010년 8월 7일까지 계속될 예정이다.



측정일시	속도	풍향	풍향	고도각	온도
200608010000	06:00	6.08	157.8	27.5	9.0
200608010005	06:05	5.7	188.2	27.5	8.2
200608010010	06:10	5.7	40	27.5	8.38
200608010015	06:15	6.6	75.28	27.5	-10.81
200608010020	06:20	8.8	41.8	27.5	8.8
200608010025	06:25	8.8	70.9	27.5	8.6
200608010030	06:30	8.9	59.34	27.4	-12.8
200608010035	06:35	1	37.81	27.4	-6
200608010040	06:40	8.8	36.2	27.5	-4.5
200608010045	06:45	8.8	39	27.3	-8.1
200608130900	06:00	1.49	128.9	26.1	-2.9
200608130905	06:05	1.4	114.4	26.1	6.28
200608130910	06:10	1.5	157.2	25.1	-8.5
200608130915	06:15	1.4	128.9	26.1	-1.91
200608130920	06:20	1.1	126.2	26.1	-1.3
200608130925	06:25	1.1	129.8	25.1	-2.9
200608130930	06:30	1.4	98.9	26.1	-0.3
200608130935	06:35	1.42	92.4	26.1	9.9
200608130940	06:40	1.7	91	25.1	8.2
200608130945	06:45	1.75	85.7	25.1	-1.71

그림 8 계측프로그램 메인 화면

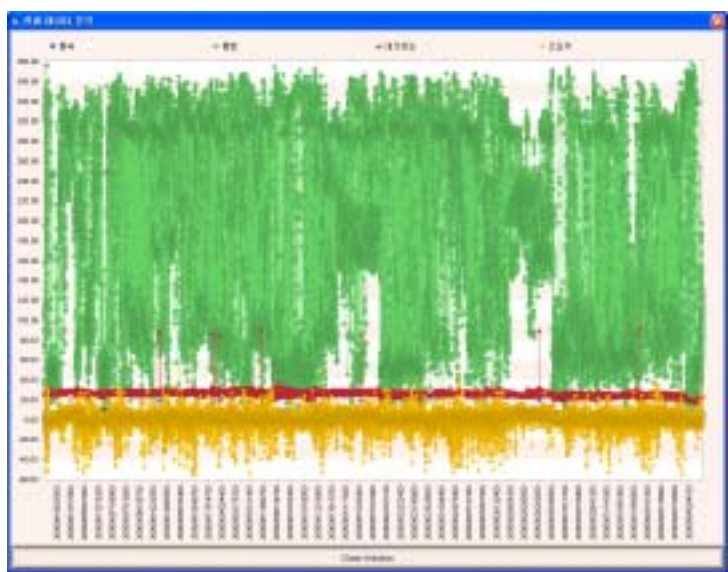


그림 9 계측데이터의 그래프 보기

4. 결론

본 연구에서는 강풍 시 차량전복 위험도 평가 기초자료의 수집을 목표로 ① 기상청의 기상자료를 토대로 지역별/계절별 강풍 특성을 분석하고, ② 선로변 자연풍을 계측하기 위한 자연풍 현장계측 장비를 설치하고 데이터 측정을 시작하였다.

1971년 이후 우리나라의 기상자료 분석 결과, 주요 도시의 연간 최고순간풍속은 열차 운전규제치에 해당하는 20m/s 이상의 풍속을 상회하는 경우가 많았고, 특히 행나 지역의 도시들은 거의 매년 20m/s 이상의 최고순간풍속을 기록하는 것으로 나타났다. 이에 따라 고가화, 해안철도의 건설, 차량의 경량화 등 주요 변경사항이 생길 때에는 반드시 강풍에 대한 위험도를 평가하여 운전규제, 방풍벽 등의 안전대책을 적용하여 사고를 예방하여야 할 것으로 보인다.

또한 본 연구에서는 고가화, 해안철도건설 등에 따른 보다 세부적인 철도 강풍환경의 변화를 알아보기 위하여 서해안 주변과 경부고속선의 고가지역에 자연풍 계측시스템을 설치하였으며, 향후 수년 간 자연풍 데이터를 축적하여 보다 정확한 강풍 시 열차전복위험도 평가기술 확보에 기여할 것이다.

참고문헌

- [1] 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).
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] T. Imai, T. Shimamura,, T. Fujii, "Istimation of actual 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).