

# 고속철도 열차 주행풍의 풍력발전 활용성에 대한 연구

김제근, 서기범\*

우송대학교 일반대학원 철도전기 시스템학과

## Study on Potential Utility of Wind Power Generation Based on Driving Wind of High-Speed Trains

Je-Guen Kim, Ki-Bum Suh\*

Dept.of Railroad Electriccity System, Woosong Univ

**요약** 본 논문은 고속철도 차량 주행풍에 기반한 풍력 발전의 가능성을 분석한다. 저자는 풍속계와 데이터 분석 프로그램을 포함한 풍속 측정 장비를 구성하였으며, 이를 활용해 실제 고속 철도 차량 노선 부근에서 주행풍의 특성을 측정하였다. 저자는 반복적인 측정을 통해 주행풍 특성의 변화를 야기할 수 있는 다양한 요인들의 영향을 고려하였다. 우선적으로, 저자는 터널의 유무 및 계곡 지형 요인에 의해 구분되는 세 지점에서 개별적으로 주행풍의 풍속 및 지속 시간을 측정하여, 지형 요인에 따른 주행풍의 특성 차이를 분석한다. 또한 세 단계에 걸쳐 높이를 점증시키며 주행풍의 특성을 측정해, 차량과의 상대적인 높이에 따른 주행풍의 변화를 분석한다. 나아가 주행 차량의 특성을 고려하여, 길이와 중량에서 차이가 있는 Korean Train eXpress (KTX) 차량과 Super Rapid Train (SRT) 차량에 따른 주행풍의 차이를 분석한다. 끝으로 측정된 주행풍의 풍속 및 지속 시간을 토대로, 실제 풍력 발전에 도입할 경우 얻을 수 있는 풍력 에너지 수준을 도출하고, 이를 통해 기대되는 효율성에 대해 논의한다.

**Abstract** We investigated the potential for wind-power generation using the wind produced by express trains. We built equipment to detect the wind velocity, including windmeters and a data analyzer. We considered various conditions that might change the wind. First, we measured the velocity and duration of the wind at three locations distinguished by the presence of a tunnel and a valley landscape. We analyzed the changes in the wind according to the geometric conditions. Also, we analyzed the changes in the wind according to three different heights relative to the train. We also compared the wind produced by a KTX train and an SRT train. Finally, we used the results to derive the wind power energy harvested from the wind and discuss the expected utility.

**Keywords** : Alternative energy, Anemometer, Driving wind, Express train, Wind power generation.

### 1. 서론

풍력발전은 공기의 유동이 갖는 운동에너지를 회전체의 회전을 이용하여 기계적 에너지로 변환시키고, 이 에너지를 활용하여 발전기를 동작시켜 전기에너지를 생산하는 전력 기술이다. 풍력 발전은 에너지를 생산하기 위해 공기의 유동 에너지 이외에 별도의 자원을 필요로 하지 않는다는 점에서, 화석 에너지원, 원자력 기술에 기

반한 타 전력 발전 방식에서 야기될 수 있는 대기환경 오염문제 및 폐기물 문제로부터 자유롭다는 장점을 갖는다. 또한 설치비용 및 설치 소요면적이 작기 때문에 기반비용이 저렴한 청정 에너지원으로써 점차 보급률이 높아지고 있다.

전술한 바와 같은 친환경 신재생 에너지인 풍력발전에 대한 관심은 최근 급부상하고 있어, 해외 선진국의 경우, 최근 10여 년 간 풍력발전의 규모가 매년 20% ~

\*Corresponding Author : Ki-Bum Suh(Woosong Univ.)

Tel: +82-42-630-9705 email: kbsuh@wsu.ac.kr

Received July 28, 2017

Revised (1st September 25, 2017, 2nd September 27, 2017)

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

30% 씩 꾸준히 성장해왔다 [1]. 특히, 미국은 2030 년에 총 전력량의 20 %를 풍력에너지에서 조달할 계획을 수립하였으며, 유럽은 2030 년까지 400 GW에 달하는 풍력발전 기반 전력생산을 목표로 하고 있다 [1].

일반적으로 풍력발전은 자연풍이 활발한 특정 부지에 다수의 풍력터빈을 설치해 상시적으로 전력을 생산하는 방식을 일컫는다. 하지만 이와 같이 자연풍에 기반한 일반적인 풍력 발전의 경우, 입지 조건이 제한적이고 전력생산량이 불규칙적이라는 단점을 갖는다. 특히 국내의 경우 평균 풍속이 4 m/s로 측정된 바 있으며, 이는 경제성을 갖기 위한 연평균 풍속량 기준인 10 m/s 에 크게 못 미치는 수치에 해당한다 [2]. 즉, 국내에서는 자연풍에 기반한 풍력 발전이 가능한 부지가 크게 제한되어있다. 최근에는 이러한 풍력 발전의 한계를 극복, 보완하기 위한 방안이 활발히 논의되고 있다. 그 중심 사례로서, 차량에 의해 야기되는 주행풍을 활용한 추가적인 전력 생산을 통해, 경제적, 사회적, 환경적 부가 가치를 창출하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있다.

대표적으로 고속도로 차량에 의한 주행풍을 활용한 전력 생산 가능성이 연구된 바 있다. 참고문헌 [3]에 보고된 바에 따르면, 고속도로 중앙분리대 위치에서 차량 주행풍의 순간 최대 풍속과 8시간 평균 풍속이 각각 15 m/s, 9.5 m/s로 측정되어, 풍력 발전원으로써 잠재성이 입증된 바 있다. 하지만 고속도로의 차량에 기반한 주행풍은 차량의 통행량에 따라 평균 풍속이 저하될 수 있고, 가용한 최대 풍속량이 도로 주행 차량의 속도와 크기에 의존해 제한될 수 있다. 따라서 최근에는, 차량의 운행이 규칙적이고, 보다 높은 풍속을 기대할 수 있는 철도 차량에 의한 주행풍의 풍력발전 가능성에 대한 관심이 모아지고 있다. 참고문헌 [4]에서는 대전도시철도 1호선에서 철도차량의 운행으로 발생하는 주행풍을 이용하여 터빈 구동형 플라이휠 에너지저장 시스템이 고안되었으며, 해당 시스템의 구체적 활용성이 실험적으로 검토되었다. 하지만 고안된 시스템은 차량의 상부에 부착되는 방식을 따르는데, 이는 터널 높이의 제한, 팬터그래프의 간섭 [4], 차량 환기시스템과의 구조적 충돌을 고려할 때, 현재 운행중인 도시철도 차량에 적용하기에 여전히 어려움이 존재할 수 있다. 또한 연구에 고려된 대전도시철도 1호선의 표정속도가 40 km/h에 그친다는 점에서 [4], 보다 높은 주행 속도를 갖는 고속철도 차량에 의한 주행풍과 비교해 기대할 수 있는 경제성이 제한된 것으로 볼

수 있다. 한편, 참고문헌 [5]에서는 고속철도 차량 주행풍의 풍속을 측정해 풍속자료으로써의 가치가 검토된 바 있다. 하지만 고정된 거리 및 높이에서 단편적인 측정에 그쳤으며, 측정된 풍속이 회차마다 크게 요동쳐 통계적 신뢰도를 확보한 결과로 보기 어렵다 [5].

따라서 본 논문은 풍력 자료으로써 기대 가치가 큰 고속의 철도 차량 기반 주행풍의 활용성을 보다 엄밀하고 체계적인 실험 연구를 통해 검증하고자 한다. 이를 위해, 고속철도 차량의 궤도 근방에서 고속철도 차량에 의한 주행풍의 풍속이 다양한 조건 하에서 실험적으로 측정된다. 보다 구체적으로, 본 논문에서는 3 종의 지형 조건, 2 종의 차량 조건, 3 종의 높이 조건에 따른 차량 주행풍의 풍속이 측정되며, 이를 토대로 고속철도 차량 주행풍의 평균 풍속 및 지속 시간을 도출해 각 조건에 따른 주행풍의 변화를 정량적으로 비교분석한다. 나아가 측정된 주행풍의 풍속을 토대로 기대 풍력 에너지 수준을 계산해 경제적 유용성을 정량적으로 검토한다. 본 연구에 따른 세부적이고 반복적인 측정 데이터들은 후속 연구에 통계적으로 유용한 지식 자원이 될 것이며, 또한 고속철도 차량의 주행풍에 기반한 풍력발전 시스템의 밑거름이 될 것으로 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 논문의 2장에서는 연구의 방법론에 대해 소개하며, 실험에서 활용된 풍속 측정 장비 및 풍속 측정 절차와 풍력 에너지의 산출 방법을 설명한다. 본 논문의 3장은 다양한 주행 조건 하에서 측정된 주행풍의 특성을 시연하고, 각 조건이 주행풍에 미치는 영향에 대해 논의한다. 마지막으로 본 논문의 4장에서 본 연구의 요약과 결론을 제시한다.

## 2. 본론

### 2.1 연구 방법

고속철도 차량 주행풍의 정밀한 풍속 측정을 위해, 풍속 센서와 데이터분석 프로그램이 연동된 장비가 자체적으로 구축되었으며, 구체적인 구성은 그림 1과 같다. 풍속 센서는 1 m 높이의 지지대에 부착되어 있으며, 최소 1 m/s에서 최대 96 m/s의 풍속을 실시간으로 측정 가능한 rene wable NRG system사의 RNRG 40C 3 cup anemometer이 활용되었다. 이 때 시간상의 측정 주기는 1 초로 고정되었다. 측정된 풍속 데이터는 센서와 연동

된 데이터 처리 모듈에 의해 기록과 분석이 수행된다. 데이터 처리 모듈은 USA CAMPBELL Scientific INC.의 CR 10 X wiring panel. Measurement And Control Module, s/n x5804 제품이 활용되었으며, 센서에 의해 측정된 풍속 및 풍향이 1 초 단위로 엑셀에 기록된다. 추가적으로 측정 데이터와 프로그램과의 통신을 위하여 CAMPBELL 사의 시리얼 인터페이스를 활용하였다.



Fig. 1. Equipment for detection of wind speed.

전술된 측정 시스템을 활용해 KTX 차량의 실제 운행 노선 부근에서 주행풍의 풍속 측정이 수행되었다. 우선적으로 선택된 풍속 측정 지점은 풍력 발전에 유리한 입지 조건을 가진 평산 터널의 터널 진출 방면으로 경부고속철도 노선의 서울기점에서 385 km에 위치한다. 해당 풍속 측정 지점은 터널과 터널 사이에 위치하였으며, 고도가 높고 계곡 지형이라는 점에서 기대 풍속이 매우 높다고 판단되었다. 그림 2는 준비된 풍속 측정 시스템이 적용된 실제 계곡 환경을 보여준다. 측정 시스템은 차량의 궤도로부터 약 3.5 m 떨어진 전철주에 부착되었으며, 차량의 차륜지름을 감안하여 레일면으로부터 1.2 m 높이를 기점으로 1 m 간격으로 높이를 점증시키며 주행풍의 풍속을 측정하였다. (차륜지름= 850mm ~ 920mm)

한편 상기 터널 진출방향의 측정 지점의 궤도 반대편에 위치한, 터널 진입방향의 하행선 궤도 부근의 경우에도 고속으로 열차가 주행한다는 점에서 (측정값: 210 km/h) 풍속자원으로서 충분할 수 있다. 이를 검증하기 위해 하행선 궤도 부근에서 동일한 풍속 측정을 수행하였다. 추가적으로 터널 진출 지점 및 계곡 지형이라는 특수 요소가 주행풍의 풍속에 미치는 영향을 정량적으로

확인하기 위해, 보다 일반적인 고속철도 노선에 해당하는 송정고가 서울기점 395 km 지점에서 풍속 측정을 수행하였다. 송정고가에서는 레일면 1.2 m 를 기준으로 1 m 씩 단수로 구분하여 높이를 점증하였으며 궤도에서 3.5 m 거리의 전철주에 측정센서를 설치하였다. 한편 연구 수행의 편의 상 풍속계를 기존의 구조물인 전철주에 부착하여 궤도로부터의 이격 거리가 3.5 m 로 고정되었으며, 실제 발전 시에는 안전과 발전 효율의 두 변수를 고려하여 보다 최적화된 이격 거리가 선택될 수 있을 것이다.



Fig. 2. Experimental environment for detection of wind speed of express trains.

전술된 반복적 실험 측정에 따라 본 논문의 3장에서는 지형 조건 및 발전 높이에 따른 고속철도 차량 주행풍의 풍력수준이 정량적으로 분석된다. 또한 측정된 주행풍의 풍속과 주행풍의 지속 시간을 토대로 고속철도 차량 주행을 통해 가용한 전력 에너지가 정량적으로 분석된다. 이 때 실제 선로 변 풍력 발전에 활용될 수 있는 급풍 에너지사의 GWE-500B1 (500 W 급) 모델을 고려하였으며, 제품 정보에서 제공되는 풍속과 평균 전력의 정량적 관계를 활용하였다. 해당 제품은 본 연구 결과를 토대로 실제 선로변에서 풍력 발전 시스템을 구축하기에 적합한 모델이며, 풍속과 평균 전력의 정량적 관계는 선택된 제품을 이용할 시 실제로 얻어지는 전력량이 실험적으로 측정된 결과에 해당한다. 본 연구에서는 측정된 풍속 데이터를 통해 제품의 풍속 대비 전력의 관계를 적용해 전력을 도출하며, 실험적으로 측정된 주행풍의 지속 시간을 곱해 전력 에너지의 계산이 수행된다. 제품 정보에서 제공되는 풍속과 평균 전력의 해석적 관계는 제품 정보에서 제공되는 데이터를 토대로 지수 함수로 근

사되었으며, 이는 아래 수식과 같다.

$$P = -0.05024v^4 + 1.445v^3 - 9.332v^2 + 28.35v - 22.52, \quad (1)$$

위 식에서 P는 평균 전력 (W), v는 풍속 (m/s)를 의미한다. 근사에 사용된 풍속에 따른 전력의 데이터 및 근사화된 결과는 그림 3과 같다. 저자는 다양한 조건에서 측정된 주행풍의 풍속, 지속 시간과 식 (1)을 활용해 최종적으로 고속 철도 차량의 주행에 의한 가용 풍력 에너지를 정량적으로 논의하고자 한다.

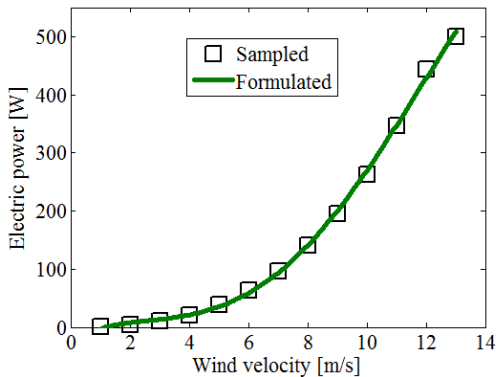


Fig. 3. Sampled data and formulated curve of electric power converted from driving wind.

## 2.2 연구 결과

전술된 측정 장비를 활용해 세 지형 조건: (1) 터널의 진출부 (평산 터널 상선), (2) 터널의 진입부 (평산 터널 하선) 및 평이한 지형에 해당하는 (3) 송정 고가 하선에서 고속철도 차량 주행풍의 풍속이 측정되었다. 이 때 보다 높은 풍속이 기대되는 Korea Train eXpress (KTX) 차량의 경우가 우선적으로 고려되었으며, Super Rapid Train (SRT) 차량에 의한 주행풍의 특성도 후술될 것이다. 또한 각 지형별로 풍속계의 높이를 조절하며, KTX 차량과 상대적인 높이에 따른 주행풍 풍속의 변화를 측정하였다. 표 1은 선택된 장소, 높이 별 주행풍의 지속 시간 및 평균 풍속을 나타낸다. 해당 데이터는 자연풍의 영향이 배제된 주행풍의 풍속을 나타내며, 주행풍의 지속 시간은 측정된 풍속이 앞서 언급한 자연풍의 연평균 풍속인 4 m/s 이상으로 유지되는 시간으로 정의되었다. 한편 자연풍의 풍속은 KTX 차량이 부재한 시간대에서 별도로 측정되었으며, 경우에 따라 3.8m/s ~ 4.3m/s의

범위 내에서 변동이 있었으나 가정된 4 m/s 값과 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 측정 데이터에서 가정된 4 m/s의 자연풍의 풍속을 감산하여, 지속 시간 내에서 주행풍의 풍속을 평균 내어 계산하였다.

Table 1. Measured speed and time duration of driving wind from the KTX trains in different geometric and height conditions.

Location		PT(U)	PT(D)	S(D)
Height: 1st step	T-D (s)	49.4	71.8	55.6
	W-S (m/s)	6.93	2.59	2.99
Height: 2nd step	T-D (s)	90.6	160	138
	W-S (m/s)	8.48	2.42	3.41
Height: 3rd step	T-D (s)	81.7	143	71.5
	W-S (m/s)	12.5	2.45	2.55

\* PT(U): the up line on Pyungsan tunnel, PT(D): the down line on Pyungsan tunnel, S(D): the down line on Songjeong, T-D: time duration, W-S: wind speed

표 1에서 보이는 풍속 측정 결과에서 주목 할만한 점은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째, 터널의 진출부에 해당하는 평산 터널 상선 차량에 의한 주행풍이 다른 장소에서보다 높은 풍속을 가진다. 특히, 앞서 언급한 경제적 유용성을 갖기 위한 평균 풍속인 10 m/s를 상회하는 풍속의 주행풍이 생성됨을 알 수 있다. 이는 KTX 차량에 의해 터널의 진출부라는 지형에 기인해, 터널 내 공기의 진출이 순간적으로 유출되어 보다 강한 주행풍을 야기하는 것으로 볼 수 있다. 한편, 주행풍의 지속 시간은 하선 측에서 오히려 길게 측정되었는데, 이는 유동할 수 있는 공기량이 터널 내부에 제한된 상선의 경우와 달리, 하선 방향에서는 외부에서 지형적 제한이 없이 공기와 접촉하기 때문에 유동되는 풍량 자체는 상선의 경우보다 더 많기 때문으로 해석할 수 있다. 또한 측정된 장소는 계곡에 위치하기 때문에 와류가 형성되어 주행풍이 쉽게 소실되지 않고 장시간 동안 유지된 것으로 해석된다. 두 번째로 차량의 하부측에 해당하는 1 단 높이보다 2 m 이상의 높이에 해당하는 2 단 및 3 단 위치에서 주행풍이 보다 강한 것으로 측정되었다. 이는 궤도 부근에 설치된 약 1.8 m 높이의 방음벽에 의해 공기의 유동이 일부 제한되었기 때문으로 보인다. 한편, 국내에서 설치 운용

중인 수직축 풍력기의 선로변 설치를 고려할 때, 전차선 높이인 5.08 m로부터 [6] 안전상의 이격 거리를 감안한 2m ~ 3m 높이에 풍력기를 위치하는 것이 적절하다고 볼 수 있다. 따라서 표 1에서 보이는 2 단 및 3 단 높이에서 우세한 주행풍의 특성은 실제 선로 변 풍력 발전에서 고려될 수 있는 발전 위치에 부합한다는 점에서 큰 의의를 갖는 것으로 볼 수 있다.

10 m/s를 상회하는 높은 풍속이 계속되는 평산 터널 상선에서 3 단 높이의 경우에 대해 보다 자세한 주행풍의 특성을 분석하기 위해 시간에 따른 주행풍 풍속 변화를 관찰하였다. 그림 4는 KTX 차량의 진출 시점부터 3분의 시간 동안 관측된 풍속을 나타내며, 비교를 위해 동일한 조건에서 평산 터널 하선에서의 풍속을 같이 나타내었다.

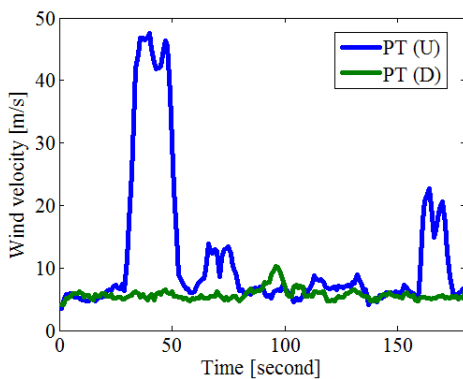


Fig. 4. Instantaneous wind-speed of the KTX trains.

그림 4는 평산 터널 상선 KTX 차량에 의한 주행풍의 풍속이 시간에 대한 급격하고 불규칙적으로 변하는 양상을 보여준다. 하선 KTX 차량의 경우와 비교해, 상선 KTX 차량은 터널 내부의 공기를 단시간에 터널 밖으로 유출시키기 때문에 주행풍의 풍속이 전반적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 KTX 차량이 풍속 측정 위치를 통과한 직후 순간 풍속은 최대 48 m/s에 달하는 것으로 측정되었다. 또한 KTX 차량의 통과 이후에도, 계곡 내에 형성된 와류에 의해 주행풍의 풍속이 불규칙적으로 유지되며 특히 차량의 통과 후 2 분이 지난 시점에서도 일시적으로 20 m/s에 달하는 풍속이 측정되었다. 반면에 하행의 경우에는 터널 내부의 공기와 무관한 조건이라는 점에서 풍속의 변화가 상대적으로 안정적인 것을 확인할 수 있다.

앞서 논의한 고속철도 차량 주행풍의 변화를 야기하는 장소 요인에 더해, 이하에서 차량 요인에 의한 주행풍의 변화를 분석한다. 이를 위해 표 1에서 가장 우세한 주행풍을 야기하는 평산 터널 상선 위치에서 KTX 차량과 비 KTX 차량에 의한 주행풍의 풍속 및 지속 시간을 측정하였다. 비 KTX 차량으로, 동일한 노선을 공유하는 SRT 차량이 선정되었으며, KTX 차량과 비교해 차체 폭은 유사하나 차량의 전체 중량 (KTX: 773 톤, SRT: 406 톤) 및 차량의 전체 길이 (KTX: 388 m, SRT: 201 m)에서 현저한 차이를 보인다 [7]. 두 종의 차량에 의한 주행풍의 측정 결과는 표 2와 같다.

Table 2. Measured speed and time duration of driving wind from the KTX and SRT trains.

KTX trains		SRT trains	
T-D (s)	W-S (m/s)	T-D (s)	W-S (m/s)
81.6	12.45	61.1	5.43

\* T-D: time duation, W-S: wind speed

표 2에서 나타난 바와 같이 KTX 차량과 SRT 차량간의 주행풍은 풍속 및 지속 시간에서 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 즉, 차량의 전체 길이에 따라 발생하는 주행풍에 큰 차이가 나타난다. 이는 차량의 길이가 길수록 터널 내 공기와의 접촉 수평 면적이 늘어나게 되고, 따라서 더욱 많은 공기를 유동시키기 때문으로 해석할 수 있다. 비슷한 예로, 수평축 풍력기에서 블레이드의 길이 및 수평 면적이 클수록 풍력 발전효율이 상승하는 경우를 들 수 있다 [8].

전술한 바와 같이 지형 및 높이, 차량 조건에 따른 KTX 차량 주행풍의 풍속 및 지속 시간이 실험적으로 측정되었으며, 이를 식 (1)에 적용해 상기 다양한 조건 하에서 차량의 주행에 기반한 풍력 에너지가 계산 될 수 있다. 이는 그림 5에서 차트를 통해 정리되었으며, 가장 강한 주행풍이 나타나는 평산 터널 상행선의 경우를 고려해 (12.5 m/s) 수풍 높이는 3 단 (3.2 m)으로 선택되었다. 또한 시간당 가용한 전력 에너지 (kWh)를 계산하기 위해 각 측정 위치에서 차량이 시간 당 5 회 지나가는 것으로 가정하였다.

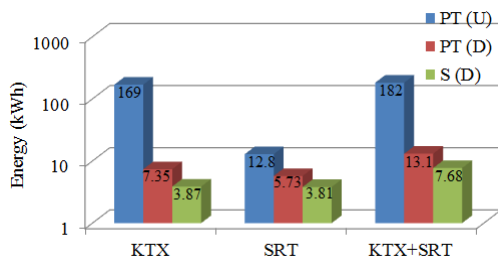


Fig. 5. Chart of expected wind-power energy from the express trains in three different locations.

그림 5에서 보이는 바와 같이 고속철도 차량의 주행풍에 기반해 단독 풍력 발전기로 수 kWh 수준의 풍력 에너지를 획득할 수 있다. 특히 최적화된 지형 및 높이 조건에 해당하는 평산 터널 상선 차량 부근 3 단 높이에서 가용한 KTX 주행풍 기반 풍력 에너지는 169 kWh에 달한다. 따라서 해당 위치에 풍력 발전기를 설치할 경우 시간 당 KTX 차량과 SRT 차량이 각각 5 회씩 주행하는 것을 가정하면, 단독 풍력 발전기를 통해 얻을 수 있는 풍력 에너지는 182 kWh에 달한다. 해당 구간에는 본 논문에서 고려된 금풍 에너지사의 GWE-500B1와 같은 소형 풍력 발전기가 설치되기에 충분한 면적이 선로변에 존재한다 (예상 발전기 크기: 폭 < 1 m, 높이 < 3 m). 따라서 노선을 따라 5개의 풍력 발전기를 설치한다고 가정했을 때 약 850 kWh의 풍력 에너지를 얻을 수 있다. 이는 조명으로 쓰일 수 있는 LED 등의 구동 전력이 수십 W 수준임을 고려할 때 [9], 고속철도 차량 주행풍의 경제적인 활용성이 충분함을 보여준다.

### 3. 결론

본 논문은 고속철도 차량에 의한 주행풍에 대한 연구를 보고하였다. 연구를 위해 고속철도 차량 주행풍의 특성 측정을 위한 시스템이 자체적으로 구성되었고, 이를 활용해 계곡 지형과 터널의 유무에 따라 구분되는 평산 터널 상선 선로 부근, 평산 터널 하선 선로 부근, 송정고가 하선 선로 부근의 세 지형 조건하에서 고속철도 차량 주행풍의 풍속 및 지속 시간이 측정되었다. 또한 지형 요인에 더해 높이 및 차량 조건에 따른 주행풍의 특성을 측정하였다. 전술된 체계적 실험 및 분석을 통해 크게 하기의 네 가지 주요 연구 결과가 도출되었다. 첫째, 터널의 진출부에서는 차량이 터널 내 공기를 순간적으로 유

출시키기 때문에 두드러지게 높은 풍속의 주행풍이 생성되었다. 둘째, 선로 부근에 약 1.8 m의 소음벽은 주행풍의 풍속을 낮추는 경향이 있었으며, 3 m의 이상의 높이에서 가장 강한 주행풍이 생성되었다. 셋째, 길이가 보다 긴 KTX 차량에서 생성된 주행풍이 SRT 차량의 경우와 비교할 때 보다 풍속이 높았으며 지속 시간이 길게 나타났다. 끝으로, 측정된 실험 결과를 토대로 산출된 풍력 에너지 수치에 따르면, 평산 터널 상선 방향에서 약 850 kWh 수준의 풍력 에너지를 얻을 수 있다.

본 논문에서 수행된 연구 결과에 따르면, 주행풍이 활발한 지형 조건에서는 LED 등 수십 여 개를 야간 철도 주행 시간 동안 동작 시킬 수 있을 정도의 전력량이 발생할 수 있다는 점에서, 고속철도 차량 주행풍의 경제적 효용성이 입증된 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구 결과는 현재 운행중인 고속철도 노선에 손쉽게 적용되어, 장거리 터널 및 사갱의 조명, 비상구등, 대피통로등, 수직구 계단등, 통신 중계 설비, CCTV, 기타 제어설비의 전원을 제안된 풍력에너지로 대체 할 수 있을 것으로 기대 된다.

### References

- [1] Md Maruf Hossain and Mohd. Hasan Ali, "Future research directions for the wind turbine generator system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 481-489, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.126>
- [2] Jeongick Lee, "Development of practical convergence education by construction of the wind power system using the wind by car," *Journal of the Korea Convergence Society*, vol. 5, no. 4, pp. 107-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15207/JKCS.2014.5.4.107>
- [3] Byoungsam Kang, *A study on a Scheme for the Using and Planning Covering Vehicle Wind in Wind Power Generation (Thesis)*, p. 11, Yonsei University, 2002.
- [4] Yongbum Seo, Jaemoon Im, and Kwangbok Shin, "Development of a turbine based flywheel energy storage system using traveling wind power of an urban train," *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 23, no. 5, pp. 443-449, 2014. DOI: <https://doi.org/10.7735/ksmte.2014.23.5.443>
- [5] AeRim Kim, Sangwoo Nam, Jinwoo Choi, Hyunung Bae, and Namhyoung Lim, "An energy harvesting using the wind power in the railway system," *korea railroad society, 2013 spring conference*, vol. 5, pp. 775-780, 2013.
- [6] Byungnam Yang, *Electric Railway Engineering*, p. 604, Sungandang, 2015.

- [7] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Railway Statistics*, p. 62, 2011
- [8] Science sharing study grop, *Design and production of small wind turbines*, p. 39, Iljinsa, 2011.
- [9] <https://www.usa.philips.com/c-m-li/led-light-bulbs>

---

**김 제 근(Je-Guen Kim)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 우송대학교 철도대학원 철도전기제어공학과 졸업 (공학 석사)
- 2015년 2월 : 우송대학교 일반대학원 철도전기시스템학과 (박사수료)
- 1982년 10월 ~ 2015년 12월 : 한국철도공사 선임전기장
- 2017년 9월 ~ 현재 : 주)세종기술 기술이사

<관심분야>  
철도전기, 전차선로

---

**서 기 범(Ki-Bum Suh)**

[정회원]



- 1991년 2월 : 한양대학교 일반대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 2000년 2월 : 한양대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학 박사)
- 2000년 8월 ~ 2002년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2002년 9월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

<관심분야>  
철도전기, 전차선로