

## 도로 중앙분리대용 후드장식형 수직축풍력발전기 연구

(A Study of Hood-Type Vertical Axis Wind Turbine Embedded to Highway Median Strip)

이종조\* · 임재규\*\*

(Jong-Jo Lee · Jae-Kyoo Lim)

### Abstract

This paper introduces the study of hood-type wind turbine embedded on highway median strip. Recently, many studies are being made to apply to small wind turbine in city. This study is wind turbine producing electricity generated from the wind by running cars. In order to analyze wind generated by running cars, we measured experiments using running cars and buses. Also, using CFD and interpreter program, we analysis wind turbines performance and applied to the twist-sabonius blade. This wind turbine attached to safety lamp on the road is produced to use electricity generated through the wind tunnel experiment. In this paper results, this wind turbine system is expected to produce the power source installed the heat ray and safety lamps on the road.

Key Words : Wind-Turbine, Vertical Axis, Safety Lamp, Blade, Hood

### 1. 서 론

인류가 바람의 에너지를 활용한 역사는 고대 이집트의 범선이 그 시초이고, 풍력을 기계적 에너지로 변환하는 풍차는 1300년 전 페르시아 지역에서 처음으로

로 사용되어진 것으로 알려졌다. 14세기부터 19세기 말까지 증기기관과 전기의 발명 이전의 풍차는 주요 동력설비로 광범위하게 활용되어졌다. 그러다가 20세기 들어 두 차례의 오일 쇼크로 인하여 각국은 대체에너지원으로 풍력발전시스템이 많은 관심과 개발이 활발해졌다. 또한 우리나라도 대체에너지원에 많은 투자와 지원 등으로 풍력발전산업에 총력을 기울이고 있다. 하지만 우리나라의 풍력산업은 전적으로 외국 기술과 제품을 구매하여 단지를 구성하고 있으며, 국가연구소나 산업체에서 개발하고 있는 연구수준은 이제 기초 연구를 벗어난 상태이다. 그리고 점차 MW급이나 해상으로 풍력발전산업이 나아가고 있다[1-2].

그러나 국가 전력망 계통 연계에 적용되는 상업발전을 위한 풍력발전시스템의 대형화 흐름 외에 소규모 독립전원 등의 다양한 기술적 개념을 적용하려는 시

\* 주저자 : 전북대학교 대학원 에너지공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 전북대학교 기계설계공학부 교수  
\* Main author : Doctor's course, Department of Energy Engineering, Chonbuk National University  
\*\* Corresponding author : Professor, Department of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University  
Tel : 063-270-3583, Fax : 063-270-3950  
E-mail : ok4494@naver.com  
접수일자 : 2012년 9월 11일  
1차심사 : 2012년 9월 14일, 2차심사 : 2012년 10월 12일  
3차심사 : 2012년 12월 15일,  
심사완료 : 2013년 1월 8일

도가 필요하다[1]. 이러한 목적으로 도로 중앙 분리대에 적용하여 차량의 소통으로 발생하는 차량 주행풍을 이용하여 도로의 안전등, 가로등, 열선 등의 동력원으로 활용이 가능한 풍력시스템의 개발이 본 연구의 목적이다.

## 2. 시스템 개요

### 2.1 항력식 수직축 풍력터빈 기본이론[3-4]

풍력 에너지, 즉 바람의 운동에너지를 회전자(rotor)를 이용하여 회전동력으로 변환하고, 이 동력을 이용하여 발전기 축을 회전시켜 전기 에너지를 얻는 장치를 통상적으로 풍력발전기라고 부른다. 회전자는 동력 발생 원리에 따라 양력형과 항력형 회전자로 구분할 수 있다[2]. 양력형에서는 회전자가 에어포일 형상의 단면을 갖는 날개인 블레이드로 구성되며, 이 블레이드의 주변을 흐르는 공기유동에 의하여 블레이드에 발생하는 공기역학적 힘 중에서 양력을 이용하여 회전동력을 얻는다. 항력형 회전자에서는 날개에 작용하는 공기역학적 힘 중에서 주로 저항(또는 항력)을 회전력으로 변환하여 동력을 발생시킨다. 본 연구에서는 도로형 수직축 풍력발전기로서 그림 1과 같이 항력형 수직축 사보니우스형 풍력발전기이며 횡류형 수직터빈으로 터빈 임펠러의 설계 이론은 2.2에서 논의하고자 한다.

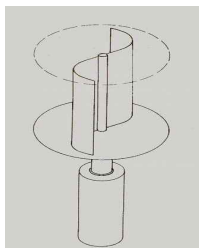


그림 1. 항력형 수직축 사보니우스형 풍력발전기  
Fig. 1. Drag the vertical axis savonius-type wind turbine[3]

터빈에 의해 발생하는 터빈 축동력  $P_T$ 와 임펠러에 입사되는 공기 동력에너지  $P_W$ 는 식 (1)과 식 (2)로서

나타내어진다. 풍력발전기의 성능은 동력계수  $C_P$ 로 정의되어 진다. 풍력터빈의 공기역학적 동력계수인  $C_P$ 는 터빈 동력과 공기동력에너지의 비로서 식 (3)에서와 같이 계산된다[4].

$$P_T = T \times w \tag{1}$$

$$P_W = \frac{1}{2} \rho \times U^3 \times A \tag{2}$$

$$C_P = \frac{P_T}{P_W} = \frac{T \times w}{\frac{1}{2} \rho \times U^3 \times A} \tag{3}$$

여기서  $T$ 는 토크( $N \cdot m$ ),  $w$ (rad/s)는 각회전수,  $\rho$ ( $kg/m^3$ )는 공기밀도,  $U$ (m/s)는 풍속 그리고  $A$ ( $m^2$ )는 임펠러가 회전하며 통과하는 면적 혹은 터빈의 투영 면적이다. 또한 익단속도비라고 불리는 속도계수  $\lambda$ 는 식 (4)에서와 같이 익단회전속도( $V_{tip}$ )와 입사 풍속과의 비로서 터빈의 종류가 정해지면 일반적으로 최대 동력계수에서의 값이 정해진다.

$$\lambda = \frac{V_{tip}}{U} = \frac{r \times w}{U} \tag{4}$$

즉  $C_P$ 란 결국 에너지 변환효율이라고 할 수 있다.

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho U^2 AR} = \frac{C_P}{\lambda} \tag{5}$$

$C_T$ 는 토크 계수이다.

### 2.2 임펠러의 설계 이론 및 입출입 각도

풍력터빈은 가장 많이 보급된 수평축 방식과 소형 중심의 수직축 방식, 그리고 2가지가 조합된 하이브리드 방식으로 구분된다. 양력을 이용한 다리우스(Darrieus) 방식과 항력을 이용한 사보니우스(Savonius), 베네쉬(Benes) 방식 그리고 복합형의 방식이 있으며 그림 2와 같다.

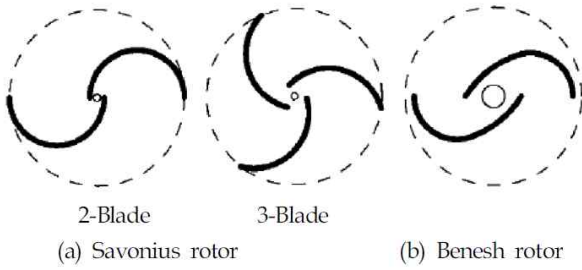


그림 2. 항력형 수직축 풍력발전기 로터  
Fig. 2. Drag-type vertical axis wind turbine rotor

본 풍력발전 시스템에 도입되는 터빈 임펠러의 설계 이론은 운동량 보존의 법칙에서부터 시작하며, 이때 회전운동을 하는 터빈 임펠러 날개의 설계는 각 운동량의 방정식을 적용하게 된다.

운동량의 변화율은 물체에 작용하는 힘에 비례하고 작용하는 힘의 방향을 따른다. 즉 일정한 질량을 가진 물체의 가속도는 작용하는 힘에 비례한다.

이 표현들을 수학적으로 표현하면 다음과 같다.  
( $m$ 이 상수일 때)

$$F = \frac{d}{dt}P = \frac{d}{dt}mv \quad (6)$$

또는

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma \quad (7)$$

여기서  $F$ 는 물체에 작용하는 힘이고,  $m$ 은 물체의 질량이며,  $a$ 는 물체의 가속도이고,  $v$ 는 물체의 속도이며,  $P = mv$ 는 물체의 운동량으로 정의된 물리량이다. 이 방정식은 물체에 더 큰 힘이 가해질수록 운동량의 변화는 커진다는 것을 나타내주고 있다.

그림 3에서처럼 평면상의 원점에서 ( $r$ ) 반경의 거리에 위치한 미소체적의 물체가 임의 방향으로( $dF$ )의 힘을 받았다면, 이때 미소 체적을 터빈 회전날개로 가정할 수 있다.

풍력터빈 임펠러의 입출구 각도( $\beta_1, \beta_2$ )의 결정은 풍력터빈의 출력을 결정하는 매우 중요한 설계인자이다.

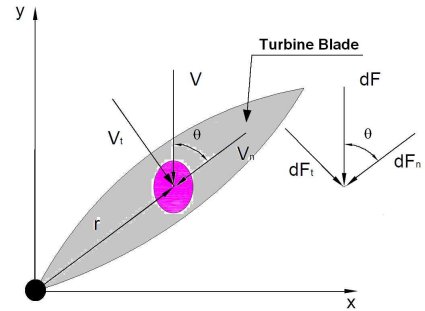


그림 3. 대상에 대한 운동량에너지  
Fig. 3. Momentum energy on target[5]

임펠러의 유입각도( $\beta_1$ )는 터빈 임펠러의 원주 속도의 상대속도( $V_{r1}$ )에 의해 결정되며, 출구각도( $\beta_2$ )는 터빈의 요구출력을 고려하여 결정하게 되는데 이때 임펠러 출구각도의 크기가 클수록 터빈의 출력은 증가하게 되지만 지나치게 커지게 되면 날개 깃 내부에서 와류가 발생하여 출력이 오히려 감소하게 된다.

결정된 임펠러 날개의 입출구 각도로부터 오일러 운동량 방정식에 적용하여 설계된 터빈의 토크와 발생 동력을 산출할 수 있다[5].

임펠러의 회전축에서의 토크

$$\tau_s = \rho \dot{Q}(r_1 V_{1t} - r_2 V_2) \quad (8)$$

여기서

$$V_{1t} = \omega r_1, V_{2t} = \omega r_2 - \frac{V_{2n}}{\tan \beta_2} \quad (9)$$

$$\dot{Q} = AV$$

여기서  $A$  : 임펠러의 공기유입면적  
(날개의 높이  $\times$  바람의 유입폭)

최종적으로 설계된 터빈 임펠러에서 발생하는 동력의 크기는

$$Power = N \times \tau_s = \frac{2\pi N}{60} \times \tau_s \quad (10)$$

이며, 그림 4와 같이 나타난다.

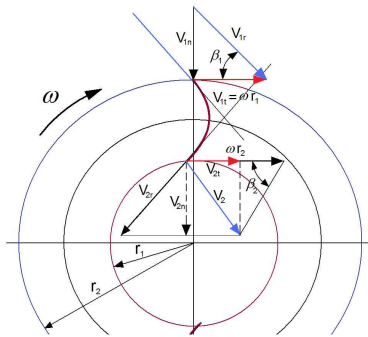


그림 4. 회전날개의 유입구와 배출구에서의 유속의 삼각관계  
 Fig. 4. Flow velocity in the inlet and outlet of the rotor blade of a triangular relationship(5)

### 3. 도로 중앙분리대형 풍력발전기

#### 3.1 도로주행풍 측정 실험 조건

차량 주행풍을 이용한 풍력발전시스템은 그 방향이 일정하여 풍향계와 풍향 추적장치를 별도로 설치하지 않아도 되므로 자연풍 풍력발전과 비교하면 유압을 이용하여 피치각을 제어하는 장치 등이 불필요해져서 장치의 소형화, 단순화가 가능하고 제품을 최적 시스템으로 표준화·규격화하여 완제품 형태의 발전기를 설치할 수 있으므로 응용 여부에 따라서는 상당한 효율과 경제성이 있으리라 판단된다.

주행 중인 차량에 의한 유도풍의 측정 조건을 다음과 같다.

- (1) 모델의 규격은 현대자동차의 신타페(자가용), 슈퍼 에어로(버스) 2가지 모델을 적용하였다.
- (2) 중앙분리대의 측정 높이는 30cm, 100cm, 150cm로 동시 측정한다.
- (3) 측정도로는 평지이며, 직선 구간이다.
- (4) 측정도로의 1차선 1개 구간만을 고려한다.
- (5) 측정 차량의 속도는 60km/h(16.67m/s), 90km/h(25m/s), 110km/h(30.56m/s) 고려한다.
- (6) 중앙 분리대의 풍속계와 차량과의 거리는 1.5m이다.
- (7) 풍속계의 MAX-Mode를 적용 총 10회 측정한다.
- (8) 자연풍의 속도는 0m/s이다.

### 3.2 측정 데이터 분석

본 연구에서는 상기 요건에 맞추어 차량 주행풍을 측정한 후 표 1과 같은 결과치를 얻었다.

표 1. 차량주행풍 측정 데이터  
 Table 1. Driving wind measurement data

구분	통과차량(신타페)								
	시속60Km/h			시속90Km/h			시속110Km/h		
	30 cm	100 cm	150 cm	30 cm	100 cm	150 cm	30 cm	100 cm	150 cm
1회	1.1	4.6	4.3	2.5	5.8	5.6	3.2	6.2	6.1
2회	2.3	3.8	3.3	2.3	6.1	5.8	3.8	6.1	5.8
3회	2.1	4.2	4.1	2.3	5.7	5.2	2.6	6.4	6.2
4회	2.6	4.1	3.7	2.4	5.4	4.8	3.5	6.2	6.1
5회	1.9	5.2	4.4	3.6	6.3	5.6	2.8	5.9	5.5
6회	1.8	4.7	4.1	2.8	6.2	6.1	2.7	6.4	6.1
7회	2.1	3.9	3.3	3.1	5.9	5.5	3.1	6.1	5.7
8회	2.5	4.2	3.7	2.7	6.1	5.8	3.4	6.7	6.4
9회	3.1	5.1	4.6	3.5	6.2	5.6	3.8	6.5	6.2
10회	2.2	4.3	3.9	3.2	5.9	5.4	3.1	6.6	6.2

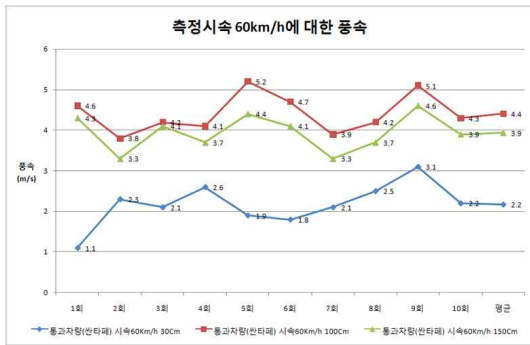
(a)자가용

구분	통과차량(슈퍼에어로)								
	시속60Km/h			시속90Km/h			시속110Km/h		
	30 Cm	100 Cm	150 Cm	30 Cm	100 Cm	150 Cm	30 Cm	100 Cm	150 Cm
1회	3.3	6.6	5.8	7.8	9.3	9.2	8.9	11.5	11.1
2회	4.1	5.8	5.2	6.9	8.7	8.1	7.2	10.9	9.9
3회	2.8	6.2	5.7	8.1	9.1	8.7	6.9	9.8	9.8
4회	3.7	4.8	4.2	8.8	9.4	9.1	8.3	10.4	10.2
5회	3.1	6.1	5.8	6.8	10.5	10	8.1	11.6	10.3
6회	2.9	5.7	5.1	7.2	9.2	9.1	8.8	10.9	9.8
7회	3.3	6.4	6.1	6.4	8.5	8.2	7.4	9.7	9.2
8회	3.6	6.1	5.5	7.8	9.1	9.1	7.2	10.1	9.4
9회	5.1	7.1	6.3	6.5	10.1	9.4	6.9	11.2	10.8
10회	3.5	6.2	5.9	6.6	9.2	8.8	7.2	9.8	9.1

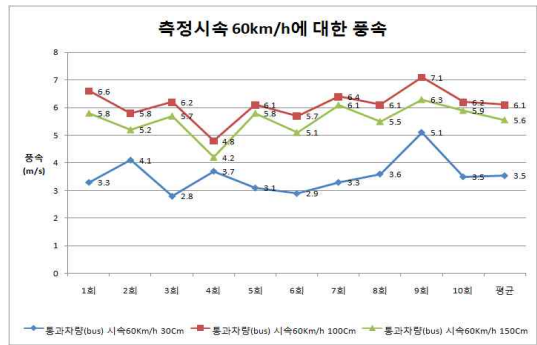
(b)버스

표 1의 (a)에 의한 차량 주행풍의 데이터를 분석한 결과 시속 60km/h에서는 측정높이 30cm에서는 평균 풍속 2.2m/s, 100cm에서는 4.4m/s, 150cm에서는 3.9m/s 이며, 시속 90km/h에서는 측정높이 30cm에서는 평균 풍속 2.8m/s, 100cm에서는 6.0m/s, 150cm에

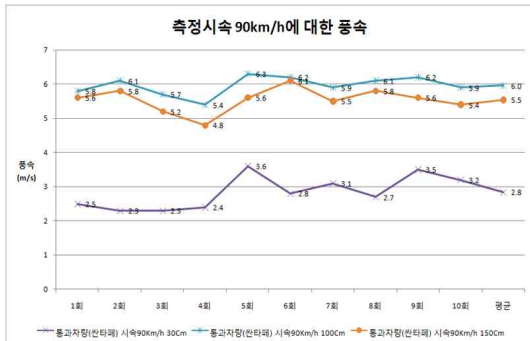
서는 5.5m/s이고, 시속 110km/h에서는 측정높이 30cm에서는 평균 풍속 3.2m/s, 100cm에서는 6.3m/s, 150cm에서는 6.0m/s로 산출되었다. 즉 높이에 따른 풍속은 100cm > 150cm > 30cm 순으로 나타났으며, 달리는 차량의 속도에 대해서는 비례하는 것을 알 수



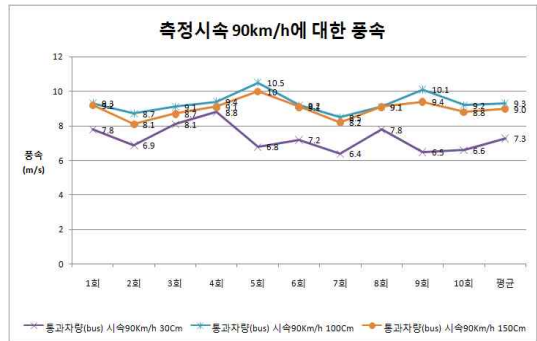
(a) 측정시속 60km/h(자가용)



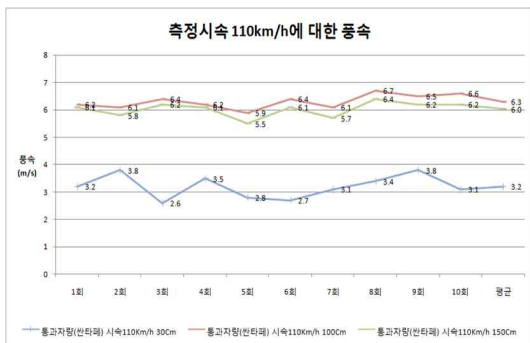
(a) 측정시속 60km/h(버스)



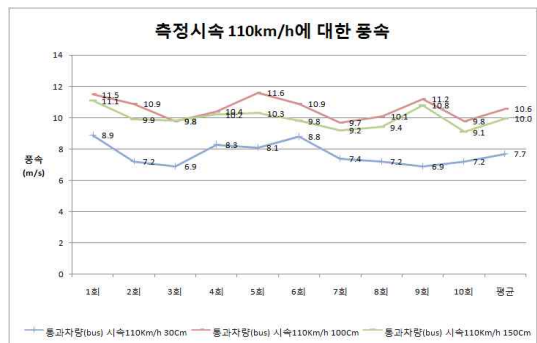
(b) 측정시속 90km/h(자가용)



(b) 측정시속 90km/h(버스)



(c) 측정시속 110km/h(자가용)



(c) 측정시속 110km/h(버스)

그림 5. 자가용 측정시속별 풍속 데이터 분석  
Fig. 5. Measurement for wind speed(Car)

그림 6. 버스 측정시속별 풍속 데이터 분석  
Fig. 6. Measurement for wind speed(Bus)

있다.

그림 5는 자가용의 측정시속에 대한 풍속에 대한 것이며, 그림 5에서 보는 바와 같이 측정되었다.

표 1의 (b)에 의한 차량 주행풍의 데이터를 분석한 결과 시속 60km/h에서는 측정높이 30cm에서는 평균 풍속 3.5m/s, 100cm에서는 6.1m/s, 150cm에서는 5.6m/s 이며, 시속 90km/h에서는 측정높이 30cm에서는 평균 풍속 7.3m/s, 100cm에서는 9.3m/s, 150cm에서는 9.0m/s 이고, 시속 110km/h에서는 측정높이 30cm에서는 평균 풍속 7.7m/s, 100cm에서는 10.6m/s, 150cm에서는 10m/s로 산출되었다. 즉 높이에 따른 풍속은 100cm > 150cm > 30cm 순으로 나타났으며, 달리는 차량의 속도에 대해서는 비례하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 자가용의 측정시속에 대한 풍속에 대한 것이며, 그림 6에서 보는 바와 같이 측정되었다.

그림 6의 데이터를 분석한 결과 다음과 같이 나타남을 알 수 있다. 차량의 주행풍에 대한 분석결과는 자가용이나 버스에서는 시속 110km/h에서 가장 높은 풍속이 측정되었으며, 그 다음은 시속 90km/h, 마지막으로 시속 60km/h로 나타났다. 또한 측정 높이에 따라 측정값에서는 높이 100cm가 가장 좋은 값이 측정되었고, 두 번째는 150cm이고, 가장 낮은 측정값은 30cm로 나타났다.

다시 말해서 측정값은 차량 주행풍에 비례함을 알 수 있었고 제시된 풍력시스템이 가장 좋은 효율을 얻을 수 있는 높이는 100cm임을 알 수 있다. 그 특징이 그림 7과 같다.

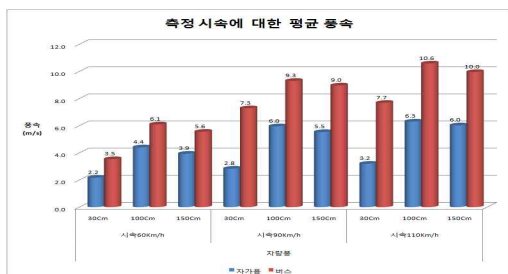


그림 7. 측정 시속에 대한 평균 풍속  
Fig. 7. Measurements MPH for the average wind speed

또한 차량의 통과 거리에 따라 측정된 풍속을 분석하였다. 측정기기와 차량의 거리에 따른 요건은 다음과 같다.

- (1) 모델의 규격은 현대자동차의 슈퍼에어로(버스) 모델을 적용한다.
- (2) 중앙분리대의 측정 높이는 150cm에서 측정한다.
- (3) 측정도로는 평지이며, 직선 구간이다.
- (4) 측정도로의 1차선 1개 구간만을 고려한다.
- (5) 측정 차량의 속도는 90km/h(25m/s)에서 측정한다.
- (6) 중앙 분리대의 풍속계와 차량과의 거리는 1.5m이다.
- (7) 풍속계의 MAX-Mode를 적용 총 10회 측정한다.
- (8) 자연풍의 속도는 0m/s이다.

측정 버스에 대한 기본 디자인은 그림 8과 같으며, 측정 데이터는 표 2와 같이 측정되었다.

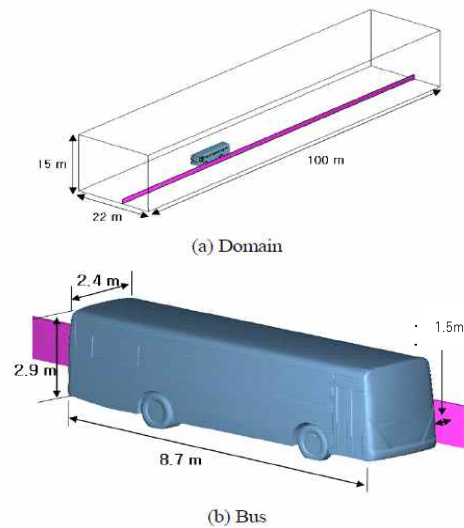


그림 8. 측정차량의 기본 디자인  
Fig. 8. Measuring the car's basic design[6]

표 2의 통과 거리별 측정 데이터를 분석한 결과 11m > 8m > 5.5m > 3m > 15m > 0m > 20m > 진입 전 1m > 25m 순으로 나타났다.

그림 9에서 알 수 있듯이 차량이 측정기기를 통과하여 15m 지점을 통과할 때까지는 일반적인 풍력시스템의 경제성 있는 풍속이 나오는 것을 알 수 있다. 자연풍을 풍력발전에 이용할 경우 경제성이 있으려면 이

용률 30% 이상에서 평균 풍속이 4m/s 이상이어야 하는 동시 조건이 있는데 통과거리 진입전 1m와 25m를 제외한 통과거리에서 4m/s 이상의 풍속이 측정되었다. 그중에서 8~11m 사이에서 가장 높은 측정값을 얻었다. 이는 제시된 풍력발전기의 발전효율이 나올 수 있는 최적의 이격거리로 판단된다.

표 2. 통과거리별 차량주행풍 측정 데이터  
Table 2. Passed by distance driving wind measurement data

통과거리별[차량속도 90km/h, 실험차량 버스(슈퍼에어로_현대)]									
구분	진입전 1m	0m	3.0m	5.5m	8.0m	11m	15m	20m	25m
1회	4.5	6.6	7.4	8.3	8.5	9.3	7.6	5.1	3.3
2회	3.8	6.5	6.8	8.5	8.6	9.1	7.2	4.4	2.4
3회	3.8	6.2	7.2	7.8	8.5	8.8	6.5	5.8	2.2
4회	3.3	5.4	7.3	8.5	9.1	9.3	7.1	4.3	2.3
5회	4.2	6.1	7.1	8.3	9.3	9.5	6.8	4.4	3.1
6회	3.6	5.8	6.9	8.1	9.3	9.6	6.9	4.2	3.3
7회	4.1	6.3	7.4	8.5	9.4	9.6	6.5	5.3	3.2
8회	3.8	6.1	6.8	8.3	9.2	9.3	5.8	5.1	2.6
9회	3.9	5.7	7.1	9.1	9.4	9.6	6.1	4.7	3.2
10회	3.2	6.2	6.9	8.6	9.3	9.5	5.9	4.6	2.8

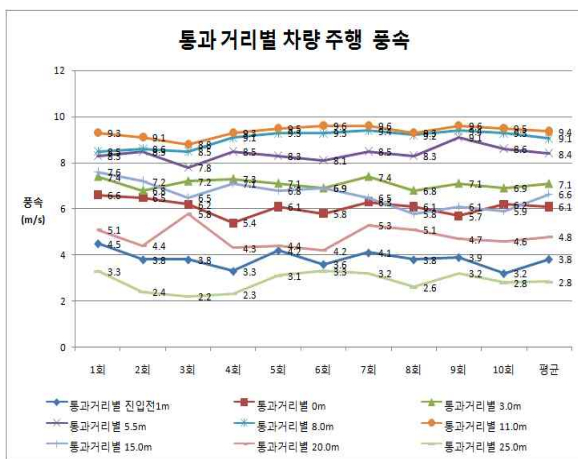


그림 9. 통과거리별 평균풍속  
Fig. 9. Average wind speed pass by distance

### 3.3 도로 중앙분리대형 풍력발전기 요건

본 연구는 현재까지의 풍력발전이 자연풍만을 대상으로 개발되고 있다는 점에 착안하여, 차량이 고속으로 도로를 질주하면서 발생시키는 차량 주행풍을 풍력발전에 이용하여 실제 적용 시제품 제작에 관하여 연구하였다.

현재 도로상에서 발전되는 전력은 스마트로드 사업에 적용이 가능하며 특히 안전봉, 안전표시판, 도로열선 등에 전력공급이 가능하다. 그림 10은 도로주행풍을 이용한 풍력발전기에 대한 구성도이다.

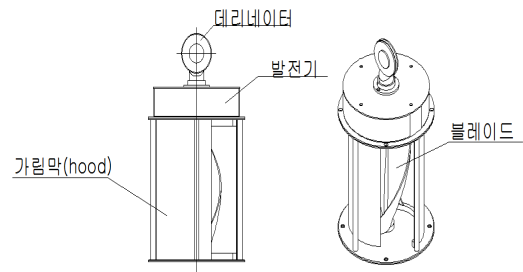


그림 10. 풍력발전기 구성  
Fig. 10. Road median wind turbine components

#### 3.3.1 Twist-sabonius blade

Twist-sabonius blade는 표 3과 같은 사양으로 현재 실제 Windro에서 제작하여 제품사용화 한 것이다. 이를 15W에 발전이 가능하도록 축소 설계하여 중앙분리대형 풍력발전기에 적용하였다.

표 3. 블레이드 특성  
Table 3. Blade specifications

Basic Data	
rotor diameter	150mm
Nominal wind speed	6m/s
Nominal RPM	185 rpm
Nominal power	15W
Rotor Orientation	2 blade, twist-sabonius
blade lenth	350mm

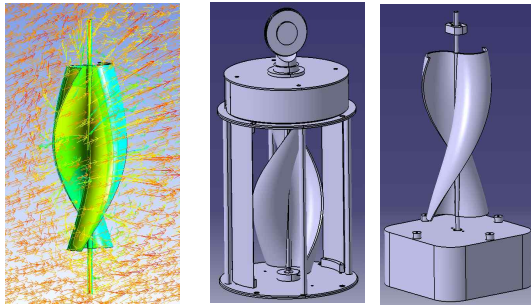
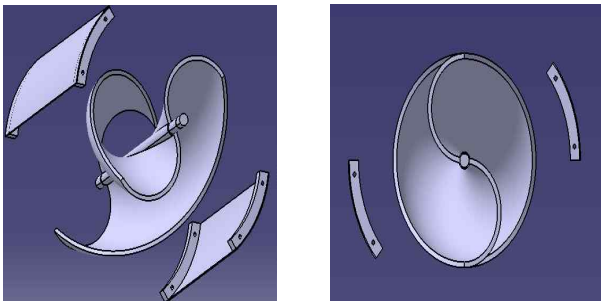


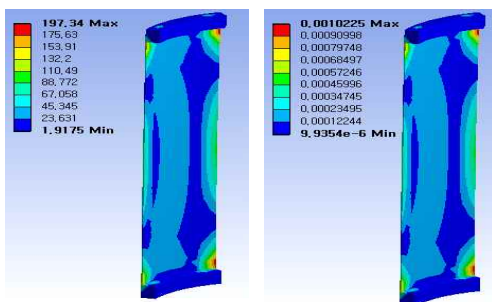
그림 11. Twist-sabonius 블레이드  
Fig. 11. Twist-sabonius blade

### 3.3.2 Hood

도로 교통법 상 회전체의 경우 설치가 불가하다. 회전체는 운전자의 시야에 혼란을 야기하기 때문에 이를 막아주기 위해 Hood의 설치는 반드시 필요하다. 또한 Hood는 또 다른 물체가 Blade에 부딪혀 파손되는 것을 방지할 수 있다. 이는 2차사고의 예방에도 많은 도움을 준다.



(a) Hood 설계



(b) Hood 유동해석

그림 12. Hood 설계 및 유동해석  
Fig. 12. Hood design and flow analysis

Hood와 Blade 간의 이격 거리는 유동해석 상 공기의 흐름의 영향을 미치지 않는 45mm 이상으로 하였다. Hood의 재질은 Stainless Steel로 제작되었으며 약 200MPa까지의 안전성을 가지고 있다.

### 3.3.3 데리네이터

LED 등은 6W, 배터리는 15AH로 1회 충전 시 8시간 지속 사용이 가능하며 정격발전의 경우 충전하는데 15분이면 충전 가능하도록 제작하였다.

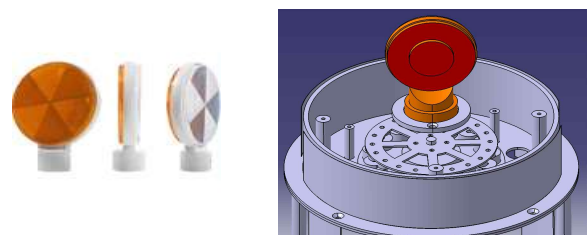


그림 13. LED안전등  
Fig. 13. LED safety lamp

상기 부품 외에도 축전용 배터리 등 여러 구성품으로 이루어진다.

## 3.4 풍력발전기 제작 및 출력실험

본 연구에서 설계된 자료를 토대로 블레이드와 Hood, 발전기, LED램프 등을 실제 제작하여 발생하는 출력량을 분석하고자 풍동실험을 하여 데이터를 산출하였다.

Hood 유무에 관계없이 회전 시 발생하는 전력으로 시스템에 구성된 LED 등을 점등하는 것은 이상이 없었으나 그림 14의 (1) Type의 경우 약풍(4m/s)에서는 측정된 전압은 3.85V, 전류는 20mA로 기동토크가 부족하며 받음각이 클 경우에만 기동이 되었다. 강풍(9m/s)에서는 전압 4.1V, 전류 25mA이다. 또한 그림 14의 (2) Type의 경우에는 부하를 연결시에는 블레이드의 회전이 원활하지 못하여 측정이 불가하였다. 그리고 그림 14의 (3) Type의 경우 강풍에서는 전압이 3.8V, 전류가 5mA로 측정되었으며, 기동토크의 부족으로 약풍에서는 전혀 기동을 하지 못했다.





(a) 블레이드 제작



(1) (2) (3)

(b) Hood 및 기어장착

그림 14. 풍력발전기 제작

Fig. 14. Wind turbine production



그림 15. 풍력발전기 출력실험

Fig. 15. Wind turbine output test

표 4. LED 램프점등 출력실험

Table 4. LED safety lamp output test

구분	LED Off		LED On	
	강풍	약풍	강풍	약풍
측정전압	5.8V	5.4~5.6V	5~5.2V	4.9V
측정전류	35~47mA	20~24mA	32~40mA	22~31mA
필요전압	5V 이상		5V 이상	
필요전류	20mA 이상		20mA 이상	

### 3.5 모델별 시뮬레이션 및 중동시험

제작된 풍력발전기의 성능과 효율을 분석하고자 다음과 같은 Hood를 적용하여 시뮬레이션을 통해서 데

이터 값을 산출하였다.



(A) Out Shell(0), (B) Out Shell(1/4), (C) Out Shell(2/4), (D) Out Shell(3/4), (E) Out Shell(full), (F) Out Shell(별도 2)

그림 16. Hood 면적별 모델링

Fig. 16. Hood area-specific modeling

표 4의 데이터를 분석해 보면 LED 램프가 점등하기 위해서는 필요 전압 5V 이상, 필요 전류 20mA가 필요하다. 주행풍으로 발생하는 에너지가 LED램프의 점등에 필요한 전력을 발생하는데에 대한 모델별로 시뮬레이션을 한 결과 표 5와 같은 결과를 얻었다.

표 5. 모델별 시뮬레이션 분석

Table 5. Analysis of simulation by model

구분	측정전압		측정 전류		필요 전압	필요 전류
	강풍 (9m/s)	약풍 (4m/s)	강풍 (9m/s)	약풍 (4m/s)		
A	5.2V	4.9V	32mA	22mA	5V 이상	20mA 이상
B	3.5V	3.3V	16mA	7mA		
C	3V	2.5V	8mA	0.9mA		
D	2.3V	1V	1mA	—		
E	0.9V	0.7V	—	—		
F	3.8V	3V	12mA	7mA		

상기 표 5에서 나타나듯이 LED램프 점등에 필요한 전력 요건을 만족하는 모델은 A-type(Outsheel 0)이다.

이러한 시뮬레이션 결과에 대한 실증실험을 하고자 본 논문에서 제시한 6가지 모델 중 3가지(A,B,C-type) 모델을 제작하여 풍동실험을 하였다.

**표 6. Hood type별 출력성능 실험**  
**Table 6. Hood type average output performance data**

구분	1차		2차		Total	
	전류 (mA)	전압 (V)	전류 (mA)	전압 (V)	전류 (mA)	전압 (V)
A-type	30	5.38	30	5.44	30	5.41
B-type	30	5.38	30	5.40	30	5.39
C-type	40	5.50	40	5.47	40	5.49

완성된 제품에 대한 출력성능 시험에서 각 모델(A : Out Sheel(0), B : Out Sheel(1/4), C : Out Sheel(2/4))에 대한 출력 시험 데이터를 분석한 결과 Out sheel의 개폐면적에 따라 발생 전력이 달라졌는데 시뮬레이션에서는 완전개폐(A-type)에서 높은 출력치가 나타났지만 실제 풍동실험에서는 반개폐(C-type)에서 가장 높은 출력량이 산출되었다.

실험에 대한 결과는 표 6과 같이 측정되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 블레이드에 걸리는 Stream line, Hood의 강도측정, 고속도로 주행버스에 의한 인공적 유도풍의 풍력발전 활용가능성을 전산유체역학을 이용하여 검토하였으며 LED램프를 부착하여 출력실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 차량의 주행풍에 대한 분석결과는 자가용이나 버스에서는 시속 110km/h에서 가장 높은 풍속이 측정되었으며, 그 다음은 시속 90km/h, 마지막으로 시속 60km/h로 나타났으며, 또한 측정

높이에 따라 측정값에서는 높이 100cm가 가장 좋은 값이 측정되었고, 두 번째는 150cm이고, 가장 낮은 측정값은 30cm로 나타났고, 측정값은 차량 주행풍에 비례함을 알 수 있었고 제시된 풍력시스템이 가장 좋은 효율을 얻을 수 있는 높이는 100cm임을 알 수 있었다.

- (2) 통과 거리별 측정 데이터를 분석한 결과 11m > 8m > 5.5m > 3m > 15m > 0m > 20m > 진입 전 1m > 25m 순으로 나타났으며, 차량이 측정 기기를 통과하여 15m 지점을 통과할 때까지는 일반적인 풍력시스템의 경제성 있는 풍속이 나오는 것을 알 수 있었다.
- (3) 회전 시 발생하는 전력으로 시스템에 구성된 LED 등을 점등하는 것은 이상이 없었으나 각 Type의 경우 약풍(4m/s)에서는 측정된 전압은 3.8~3.85V, 전류는 20mA로 기동토크가 부족하며 받음각이 클 경우에만 기동이 되었다. 강풍(9m/s)에서는 전압 3.8~4.1V, 전류 25mA이다. 또한, LED 램프 점등 출력실험으로 정격출력에 필요한 전압은 5V 이상이고, 전류는 20mA 이상의 조건이 필요함을 알 수 있었다.
- (4) Hood의 모양에 따라 6가지 type의 디자인에 대한 전력실험을 시뮬레이션한 결과 A-type (Outsheel 0)에서 LED램프를 점등할 수 있는 에너지가 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 6가지 type 중에서 3가지(A : Out Sheel(0), B : Out Sheel(1/4), C : Out Sheel(2/4) 모델을 선정하여 실제 제작하여 풍동 실험을 한 결과 측정을 반개폐형(C-type)에서 가장 높은 출력량이 측정되었다.

본 논문에 대한 정확성을 높이고 제작품의 성능을 보완하고 실제 필드에 적용 가능하도록 하기 위해서는 많은 실험과 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공 동기술개발사업(No. C0051876)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## References

- [1] Kim Hyun-Goo, Woo Sang-Woo, Jang Moon-Seok, Shin Hyung-Ki, "Computational Flow Analysis on Applicability of Vehicle-Induced Wind to Highway to Wind Power Generation" Journal of The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol.4, No.4, pp.30~36, 2008.
- [2] Lee Jeong-Ick, Kim Jin-Soo, "Development of Practical Education Program by Construction of the Wind Power System Using the Wind by Car". Proceedings of KSMT 2002 Summer Annual Meeting, pp.39~44, 2002.
- [3] Jeon Joong-Hwan, "Introduction to wind turbine technology", Journal of The Korean Physical Society, pp.50~54, 2006.
- [4] Park Jun-Yong, "An Experimental Study on the Aerodynamic Performance of High-efficient, Small-scale, Vertical-axis Wind Turbine", Inha University, pp.3~46, 2009.
- [5] Chung Sang-Hoon, Chung Kwang-Seop, Kim Chul-Ho, "Development of a Cross-flow Type Vertical Wind Power Generation System for Electric Energy Generation Using Convergent-Divergent Duct", Journal of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, Vol.23, No.8, pp.543~548, 2011.
- [6] Yoon Seong-Wook, Jeon Wan-Ho, Kim Hyun-Goo, "Feasibility Analysis on Wind Turbine Embedded to Highway Median Strip - Consideration on Vehicle Drag Coefficient", Journal of The Korean Society for New and Renewable Energy, pp.536~538, 2009.

## ◇ 저자소개 ◇



### 이종조 (李鍾朝)

1969년 5월 5일생. 2008년 전북대학교 졸업(석사). 2013년 전북대학교 졸업(박사). 2010년 4월 (사)한국신·재생에너지연구원. Tel : (063)274-4494 E-mail : jjnavy@naver.com



### 임재규 (林載奎)

1949년 2월 25일생. 1977년 전북대학교 졸업(석사). 1994년 일본 도호쿠대학 졸업(박사). 1980년~현재 전북대학교 공과대학교수. Tel : (063)270-2321 E-mail : jklim@jbnu.ac.kr