

### 소형 풍력발전시스템의 출력제어

김철호\*, 이현재\*, 서영택\*\*, 조환기\*\*\*  
 (주)서영테크\*, 구미1대학\*\*, 공군사관학교\*\*\*

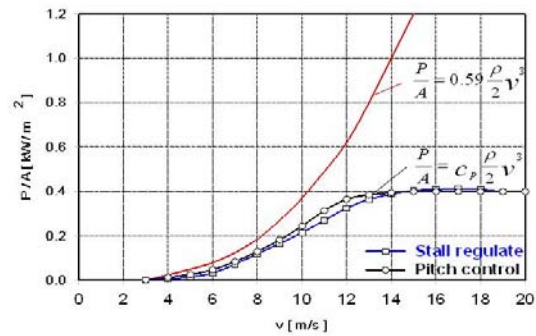
### Power Control of Small Wind Power System

Chul-Ho Kim\*, Hyun-Chae Lee\*, Young-Taek Seo\*\*, Hwan-Kee Cho\*\*\*  
 Seoyoung Tech Ltd\*, Gumi College\*\*, Air Force Academy\*\*\*

**Abstract** - Wind power is one of most promising renewable energy. The output capacity of large wind turbine has been increased for off-shore application. Number of installation of small wind turbine also has been increased for the stand-alone and off-grid application of remote area and recently small wind turbine equipped with lamp on the pole is used for street lamp.

Maximum wind energy must be extracted by wind turbine within rated wind speed. Power must be controlled to protect the system such as blade, generator, and power system above the rated wind speed.

In this paper, small wind power system of 800W rating for battery charging is implemented and output power control by furling system is verified at wind tunnel test.



〈그림 1〉 풍력터빈의 출력곡선

### 1. 서 론

풍력발전은 신재생에너지 중 가장 전망 있는 대체에너지원으로, 그 수요가 해마다 급격하게 증가하고 있다. 대형 시스템은 해상용을 목표로 점점 더 출력용량이 증가하고 있는 추세이고, 소형 시스템은 계통전원이 공급되지 않는 도서벽지용 전원, 유목민의 이동용 전원으로 이용되고 있으며, 최근에는 도심 접근형 소형풍력발전으로 응용범위를 넓혀가고 있다.

풍력발전시스템은 정격풍속이내에서는 공기의 운동(바람) 에너지를 최대한 이용하여야 하고, 정격풍속이상에서는 시스템 보호를 위해 출력을 제어하여야 한다. 대형풍력발전에서는 대표적으로 피치제어(pitch control)를 통해 기계적 출력을 제한한다. 소형풍력발전에서는 피치제어의 비용과 공간적 제약 때문에 필링(furling)을 통해 기계적 출력을 제어하고 있다. 풍력에서 출력은 풍속의 3승에 비례하므로 정격풍속이상에서 1차적으로 기계적 출력제어가 되지 않으면 발전기와 전력변환장치 부분이 과출력으로 소손될 수 있다.

또한 정격 풍속이상에서 전기적 부하를 짧은 순간에 과도하게 인가하여 회전수를 가변시켜 블레이드가 실속(stall)하게 하는 방법도 있다. 동일한 풍속에 대해 회전수가 바뀌면 주속비가 변화하게 되고, 주속비의 변화는 출력계수(power coefficient)를 바꾸게 된다.

본 연구에서는 AFPM발전기와 DC/DC 컨버터를 이용해 600W급 소형수평축 풍력발전시스템을 구현하고 차량시험과 풍동시험을 통해 소형 풍력발전시스템의 출력제어 특성을 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 풍력발전 개요

풍력에서 에너지 변환은 바람의 에너지를 블레이드를 이용해 기계적 에너지로 변환하고, 이 변환된 기계적 에너지를 발전기를 이용하여 전기 에너지로 변환한다. 풍력발전에서 단위면적당 공기역학적 출력과 이로부터 회전자속에 얻어지는 이상적인 기계적 출력은 다음과 같다.

$$\frac{P}{A} = 0.59 \frac{1}{2} \rho v^3 \quad [kW/m^2] \quad (1)$$

$$\frac{P}{A} = C_p(\lambda) \frac{1}{2} \rho v^3 \quad [kW/m^2] \quad (2)$$

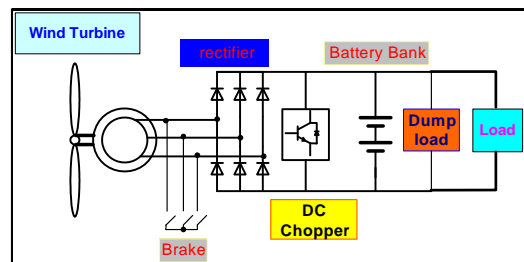
(1)식에서 공기밀도  $\rho$ 는  $1.25kg/m^3$ , (2)식에서 출력계수  $C_p(\lambda)$ 는 날개 단면의 형상에 의해 결정되며, 그 최대값이 Betz 상수인 0.59를 넘지 못하며, 주속비  $\lambda$ 의 함수로 나타난다.

그림 1은 풍력터빈의 출력을 풍속에 대해 나타내었고, 주어진 풍속에서 최대 출력과 피치제어와 스톨제어에 의한 출력을 구별하여 나타내었다.

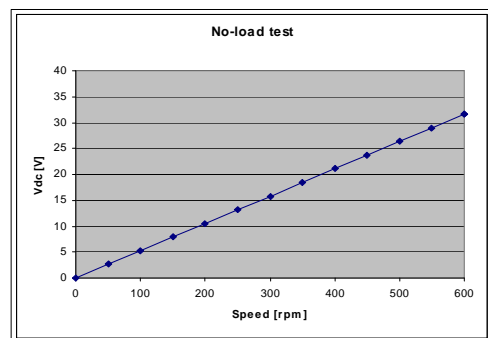
#### 2.2 소형 풍력발전기 구성

소형풍력발전 시스템의 구성도는 그림 2와 같다. 블레이드가 발전기에 직결되어 있고, 발전기의 3상 출력은 3상 전파정류기를 통해 직류로 변환되고 다시 boost기능의 DC/DC컨버터를 통해 배터리에 연결된다. 배터리 만충전시 또는 과출력시에는 dump load가 동작하여 배터리를 보호하고, 또한 soft-stall 기능을 수행하게 된다.

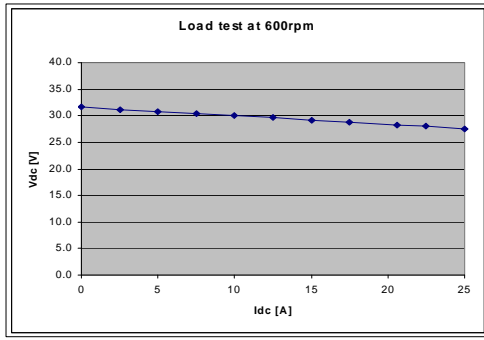
발전기는 (주)서영테크에서 생산하고 있는 코어리스 AFPM 발전기를 이용하였다. 발전기의 최대출력은 800W, 정격회전수 600rpm, 정격전압 28Vdc이다. 코어리스 형태이므로 코깁토크가 없으며, 기동토크는 0.02Nm 이내이다. 발전기의 무부하 특성과 부하특성을 그림 3에 나타내었다.



〈그림 2〉 시스템 구성도

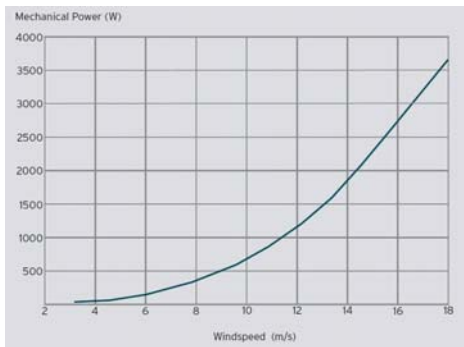


a) 무부하시험



b) 부하시험  
**<그림 3> AFPM 발전기 출력특성**

블레이드는 Winddynamic사의 3WTR 모델을 이용하였다. 직경 1.75m, glass reinforced polyamide 소재의 3 blade 형태로, 이의 출력 특성을 그림4에 제시하였다.



**<그림 4> 블레이드의 출력특성**

**2.3 출력제어 시스템**

본 연구에서의 출력제어는 펄링(furling)에 의한 기계적인 출력제어와 DC/DC 컨버터에 의한 전기적인 출력제어로 나눌 수 있다. 펄링 시스템의 구현은 발전기의 회전축을 기동 축에서 이격(offset) 시키고, 꼬리날개를 한쪽으로 접히게 구성한다. 바람에 의한 풍압하중과 이격거리에 의해 회전모멘트가 발생하여 특정풍속 이상에서 블레이드의 회전 평면이 바람방향과 마주하지 않고 비껴나게 함으로써 출력을 제어하는 방식이다. 이 회전모멘트에 의한 회전각도는 꼬리날개의 무게와 경사도로 조절할 수 있다. 즉, 경사도가 낮으면 저풍속에서도 펄링이 동작된다. 따라서 이격거리, 적절한 경사각도, 꼬리날개의 무게 등이 중요한 변수가 된다.

DC/DC 컨버터는 낮은 풍속에서 발전기의 회전속도가 낮고 따라서 출력전압이 배터리 전압보다 낮은 경우 승압(boost)기능을 이용하여 전압을 상승시켜 배터리에 충전하게 하여 저풍속에서 출력특성을 향상시킨다. 또한 고풍속 과출력시에 출력을 dump load로 보내게 하여 배터리를 보호하고, 순간 과부하를 유도하여 블레이드를 실속(stall)하게 한다.

**2.4. 풍력발전기 실험**

구현한 소형 풍력발전기를 차량에 탑재하여 출력특성을 실험하였다. 차량의 주행 속도를 풍속으로 환산하여 부하시험을 하였고, 일정풍속이 상에서 펄링동작을 확인하였다. 차량에 탑재된 풍력발전기와 펄링동작을 그림 5에 나타내었다.



**<그림 5> 차량실험**

보다 정밀한 특성해석을 위해 풍동실험을 수행하였다. 풍력발전기를 풍동내부에 설치하고 부하와 측정장치를 외부설치하였다. 이를 그림6에

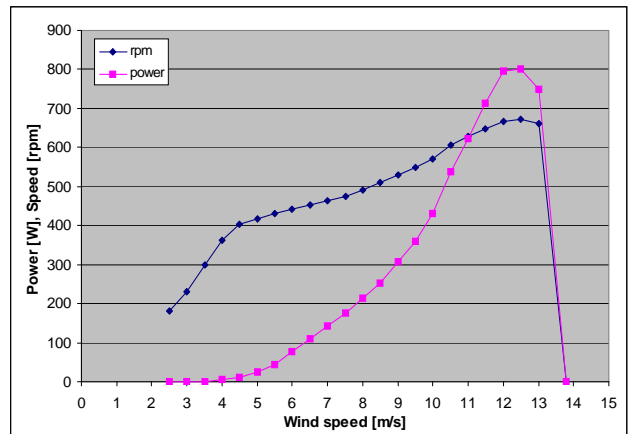
나타내었다. 풍속을 0.5m/s 단위로 증가시키고 이때 회전수와 출력을 측정하였다. 풍력발전기는 2m/s에서 기동하였고, 11m/s에서 출력 620W, 회전속도 627rpm에 도달하였고, 12m/s에서 최대출력 800W, 회전속도 670rpm에 도달하였다.

배터리의 충전정도에 따라 배터리의 부하상태가 달라지는데, 이를 고려하여 배터리 양단에 저항부하 1Ω, 1kW를 연결하여 부하 실험을 하였다. 발전기 회전수가 180rpm에 이르면 직류출력전압이 12V에 이르고 DC/DC 컨버터가 이를 24V로 승압하여 배터리 충전이 시작된다. 풍속 2.5m/s에서부터 충전이 시작되었으나, 출력이 미약하였고, 충전이 본격적으로 시작되는 4.5m/s까지 블레이드의 회전수는 가파르게 상승하였다. 충전이 본격적으로 시작되면서 회전수는 일정한 기울기를 가지고 서서히 상승하여 10.5m/s에서 정격속도에 도달하였다.

풍속이 13m/s에 도달하였을 때 꼬리날개가 접히기 시작하였다. 이를 그림 6에서 확인할 수 있다. 13.8m/s에서 꼬리날개가 90도로 접히면서 블레이드 회전단면이 바람의 방향과 나란히 되었다. 이 실험결과를 그림 7에 나타내었다. 풍속에 따른 회전속도와 출력을 그래프로 나타내었다.



**<그림 6> 풍동실험**



**<그림 7> 풍동 실험 결과**

**3. 결 론**

풍력발전기는 정격풍속이하에서는 주어진 풍속에서 최대의 에너지를 생산하여야 하고 정격풍속이상에서는 정격출력을 유지하는 것이 가장 바람직한 시스템이다. 대형풍력발전과 달리 소형풍력발전에서는 피치제어가 거의 불가능하므로 이를 대체할 만한 출력제어시스템을 구비하여야 한다.

본 연구에서는 과풍속에서 시스템을 보호하기 위해서 펄링시스템을 구현하였고, 정격풍속이하에서 boost기능의 DC/DC 컨버터를 이용하여 출력특성을 향상시켰다. 차량실험과 풍동실험을 통해 풍속에 따른 출력특성과 속도특성을 파악하였다.

**[참 고 문 헌]**

[1] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power Systems", CRC Press, 1999  
 [2] E. Muljadi, "Axial Flux, Modular, Permanent Magnet Generator with a Toroidal Winding for Wind Turbine Applications", IEEE Industry Applications Conference, St. Louis, Mo, Nov.5-8, 1998  
 [3] 서영택 외, "1kW급 저소음 수평축 직접구동형 풍력발전기 개발", 지식경제부, 2008