

그린에너지 활용을 위한 소형풍력발전기의 효율 특성

이유석 · 김재용[†]

충북대학교 환경공학과
(2015년 5월 18일 접수, 2015년 5월 25일 심사, 2015년 5월 27일 채택)

Generation Efficiency Characteristics of Small Wind Power for Green Energy Utilization

You-Seok Lee and Jae-Yong Kim[†]

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Chungcheongbuk-do 362-763, Korea
(Received May 18, 2015; Revised May 25, 2015; Accepted May 27, 2015)

초 록

점차적으로 지구의 화석연료가 고갈됨에 따라, 효율적인 에너지 저장과 함께 그린에너지에 대한 기술과 수요가 절실히 요구된다. 풍력에너지는 현재 세계에서 가장 빠르게 확장되는 에너지원이다. 하지만 엄청난 가격의 대형풍력발전기 설치비와 정격풍속인 12 m/s 이상을 요구하는 상황에 따라 내륙에서의 풍력발전의 설치는 어려운 상황이다. 따라서 위의 문제를 해결하기 위하여, 저풍속에서도 발전가능한 소형풍력발전기를 실험하고자 하였다. 본 연구에서는 내륙에서의 풍황조건을 분석하고, 300 W와 1 kW 용량의 소형풍력발전기를 옥상에 설치한 후, 그들에 대한 발전효율 특성을 비교하였다.

Abstract

As the world-wide supply of fossil fuel sources decreases, the need for efficient energy conservation in addition to developing green energy technologies becomes critical. Wind energy is now regarded as one of the most rapidly expanding energy sources in the world. However, due to the high cost for the foundation of large turbines and the high wind speed (over 12 m/s) required, it is very difficult to establish inland wind power plants. In order to solve issues mentioned above, experiments were performed using the small wind power system operated in a low wind speed. In this research, inland wind condition was first analyzed, and 300 W and 1 kW small wind power generators were then installed on a roof and efficiencies of generating electricities were compared.

Keywords: small wind power, generator, inland wind condition, generation efficiency, green energy

1. 서 론

세계 최대의 NGO 중 하나인 그린피스에서는 향후 신재생에너지의 1순위를 풍력발전으로 내세우고 있으며, 2014년 세계에서 새롭게 건설된 풍력발전의 발전능력은 약 5,148만 킬로와트(kW)로 과거 최대치를 기록했다고 '세계풍력에너지협회'(본부 브뤼셀)가 발표했다[1]. 이미 서구에서는 독일을 선두로 하여 미국, 스페인, 덴마크 등에서 풍력 산업을 주도하고 있으며 세계 풍력 발전 시장의 최근 연평균 신장률은 무려 40%에 이르고 있다. 하지만 대부분의 풍력발전연구는 경제성을 최우선으로 하기 때문에 발전 설비의 대형화와 집약화 그리고 위치의 제한성을 지니고 있다[2]. 국내의 경우는 현 정부에서 국무조정실 녹색성장위원회에서 제2차 녹색성장 5개년계획(2014~2018)을 세웠으며, 산업통산자원부에서도 신재생에너지 기본계획(2014~2035년)

을 수립하여 현재 신재생에너지 사업을 적극 추진 중이다. 몇 년 전 이명박 정부 시절의 정책은 저탄소 녹색성장에 대한 사업을 적극적으로 추진한 바 있었지만, 현 정부의 경우는 스마트 융합 그리드 에너지와 IT를 강조하는 시대가 되었다. 따라서 태양광과 풍력의 융합 그린 에너지 사업은 꼭 시행해야만 할 사업임과 동시에, 그린에너지나 신재생에너지의 개발도 중요할 뿐만 아니라 에너지 저장 시스템의 개발 역시 매우 중요한 과제이다. LiIB (Li Ion Battery)에서 FB (Flow Battery) 쪽으로도 신경을 쓰는 추세이다. 현재 국내 풍력발전기의 현황을 살펴본다면 거의가 다 대형발전기로서 정격풍속을 12 m/s 이상을 요구하는 상황이고 가동률은 고작 20% 내외가 된다[3]. 우리나라의 풍속자료를 통합해 본다면 연간 평균풍속은 거의 2~3 m/s 정도이고 4 m/s 이내이다. 뿐만 아니라 국내의 바람 형태는 C급으로써 풍속도 낮을 뿐 아니라 풍향 역시도 일정하지 않다[4]. 그러나 평균풍속이 낮을 뿐 언제나 바람이 불지 않는 것은 아니다. 그린피스에서 강력 추천한 만큼, 모든 신재생에너지 중에서도 제일 급성장한 에너지원으로써, 친환경적이면서 눈이 오나 비가 오나 날이 춥거나 덥거나 밤이나 낮이나 상관없이 바람만 분다면 발전이 가능한 만큼, 에너지 저장시스템을 가동하여 에너지를 보유할 수 있다면 가장 바람직한 일이 될

[†] Corresponding Author: Chungbuk National University, Department of Environmental Engineering, Chungcheongbuk-do 362-763, Korea
Tel: +82-43-261-2471 e-mail: jykim4@korea.com

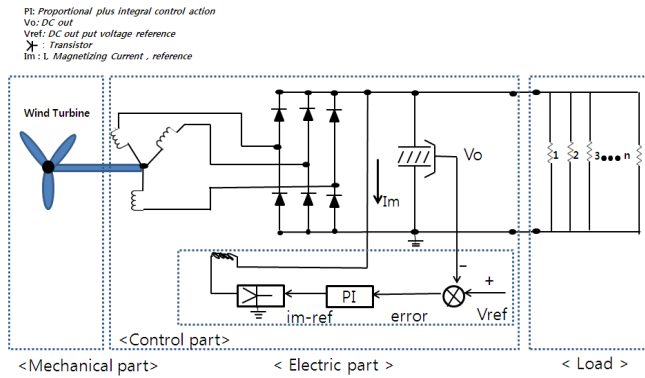


Figure 1. Schematic diagram of small wind turbine generator system (1 kW).

것이다. 하지만 이 경우도 바람의 방향이나 풍속과 함께 지속적으로 바람부는 시간에 대한 측정이 필요할 것이다.

따라서 국내의 현황 극복과 함께 보다 친환경적인 그린에너지의 활용을 위하여, 저풍속에서도 발전이 가능한 풍력발전기를 시급히 개발하여야 할 필요가 있다. 이에 따라 국내의 풍황에 맞는 소형풍력발전기에 관하여 한국M대, K대학교, J대학교 등에서 각 지역별로 연구한 자료들이 있으나 해양지역에 관한 자료들만 있을 뿐 내륙지역에 대한 세부적인 풍속 자료들은 부족한 상황이다[5-7]. 본 연구에서는 내륙지역 중 충북 청주에 위치하고 있는 C대학교 5공학관 옥상에 풍속계를 설치하여 다변화하는 내륙지역의 풍황을 실시간으로 측정하였고, 풍력발전기와 풍향계를 실시간으로 모니터링하기 위한 시스템을 구축하였다. 또한, 1 kW 용량 수평축 풍력발전기와 300 W 용량 수평축 풍력발전기를 설치해서, 발전기의 풍속대비 발전효율을 측정하고, 두 발전기를 다각적으로 분석하여 소형풍력발전의 옥상설치 가능성에 대하여 확인하였으며, 1 kW 발전기와 300 W 발전기에 대한 각각의 효율을 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 측정장치

본 실험의 풍황을 측정하기 위하여 DAVIS사의 Vantage pro2를 이용하여 풍속과 풍향을 측정하였고, Weatherlink 프로그램으로 데이터를 수집하였다. 또한 T사의 TK-4001 제품을 이용하여 전압과 전류를 측정하였다.

2.2. 1 kW 용량 수평축 풍력발전기

본 실험을 위하여 설치된 1 kW 용량 수평축 풍력발전기는 1.5 m의 3엽의 블레이드를 사용하였고, 발전기는 권선형 유도발전기를 사용하여 초기에 외부로부터 여자전류를 주입하여 발전기 내부에 자화를 걸고 일정 RPM 이상이 되면 내부발생 자력으로 자화되어 발전하는 시스템을 이용하였다. 또한 내부에 증속기를 설치하여 실제보다 5배에 달하는 회전력을 얻을 수 있도록 설치하였다. 출력은 12 V로 자동차용 배터리(12 V, 90 A)를 사용하여 전류를 저장하였으며, 이를 Figure 1에 나타내었다.

2.3. 300 W 용량 수평축 풍력발전기

본 실험을 위하여 설치된 300 W 용량 수평축 풍력발전기는 1 m의 블레이드를 사용하였고, 발전기는 영구자석식 동기발전기를 사용하였

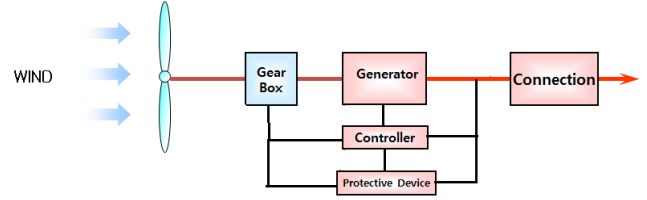


Figure 2. Schematic diagram of small wind power generation system (300 W).

으며, 중량은 약 10 kg이다. 출력사양은 12 V로 1 m/s부터 발전이 가능하고, 12 m/s에서 정격 발전량 300 W를 출력한다. 이에 대한 일반적인 모식도를 Figure 2에 나타내었다.

2.4. 풍속·풍향 자료 수집 및 설치

2012년 1월~2013년 10월까지 22개월간의 자료를 충청북도 청주시 흥덕구 개신동에 위치한 충북대학교 5공학관 옥상에 풍속계를 설치하여 수집하였다. 풍속계는 풍력발전기와 1 m 거리에 블레이드와 같은 높이로 설치하였다. 본 실험을 위하여 설치된 발전기는 1 kW 용량 수평축 풍력발전기와 300 W 용량 수평축 풍력발전기이다. 두 발전기 모두 지상 30 m 높이의 C대학교 5공학관 옥상에 설치하였으며, 1 kW 용량 발전기는 로터를 3.5 m 높이의 타워에 조립 후 일으켜 세우는 방식을 사용하였으며, 300 W 용량 발전기는 3 m 높이의 타워에 조립하여 설치하였다.

2.5. 발전량 측정

본 실험을 위하여 300 W 용량 수평축발전기와 1 kW 용량 수평축 발전기에서 발전되는 전력은 각 발전기별 컨트롤러를 통한 후에 배터리로 저장되도록 설치하였다. 300 W 용량 발전기 컨트롤러에서는 발전기에서 발전되는 전력을 데이터화하여 컴퓨터로 저장되도록 시스템을 구축하여 3초 단위로 발전량을 확인하였다. 1 kW 용량 발전기 컨트롤러는 발전량이 실시간으로 디스플레이 되어 발전량을 확인하였다. 300 W 용량 발전기와 1 kW 용량 발전기의 기초적인 데이터를 수집하기 위하여, 각 풍속별 발전량을 확인하였다. 각 컨트롤러에서 발전량과 풍속계에서의 풍속을 종합하여 풍속에 따른 발전량을 확인하고, 300 W 발전기와 1 kW 발전기의 발전효율을 비교한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 청주지역 기상대 풍황 분석결과

본 실험에서 측정된 풍속결과를 보기에 앞서 2012년 1월부터 2013년 8월까지 청주기상대에서 측정된 풍속을 Tables 1, 2에 나타내었다.

Table 1은 지상에서 측정된 청주기상대의 2012년 월별 풍속 및 풍향을 나타낸 것으로 평균풍속은 2.0 m/s 이하로 낮은 풍속을 나타내고 있고, 월 최대풍속은 4.6 m/s 이상으로 평균은 6.1 m/s로 나타났다. Table 2 또한 지상에서 측정된 청주기상대의 2013년 1월부터 8월까지의 풍속과 풍향을 나타낸 것이다. 평균풍속은 1.7 m/s 이하로 평균 1.4 m/s로 나왔으며, 최대풍속은 평균 5.4 m/s로 나타났다. 풍향은 월별로 변화가 있었지만 2012년 자료와 비교했을 때에도 변화가 있는 것으로 보아 계절별, 내륙 기후 특성에 따라 다각적으로 변하는 것을 알 수 있다. 이는 실제적으로 풍력발전기에 있어 풍향의 여건에 따라 전력량의 변화가 심할 것으로 예측되어 차후 충북대의 고충지역과도 비교할 필요가 있을 것으로 사료된다. 수평형의 경우는 항력을 이용하는 수직축

Table 1. 2012 Wind Speed Data (Cheongju)

	2012												AVG
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Mean monthly wind speed	1.2	1.3	1.8	1.9	1.5	1.8	1.5	2.0	1.4	1.1	1.3	1.1	1.5
Maximum monthly wind speed	4.6	4.9	6.0	6.8	5.2	5.7	6.4	10.3	7.3	4.7	5.7	6.0	6.1
Main wind direction	NW	NW	W	WSW	WSW	ESE	S	SE	NNW	NNE	WSW	SW	

Table 2. 2013 Wind Speed Data (Cheongju)

	2013										AVG	
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT		
Mean monthly wind speed	0.9	1.3	1.4	1.7	1.5	1.4	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Maximum monthly wind speed	4.3	4.5	5.7	6.5	5.1	4.9	5.4	6.7	5.4	6.7	5.4	5.4
Main wind direction	W	NW	NW	WSW	SE	SSE	S	NNE				

Table 3. 2012 Wind Speed Data (Rooftop of Chungbuk Nat'l Univ. 5th Engineering Building)

	2012												AVG
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Mean monthly wind speed	1.1	1.4	2.5	1.6	2.0	1.5	1.6	1.4	1.1	1.3	1.6	1.4	1.5
Maximum monthly wind speed	12.5	16.1	21	23.7	19.6	20	13.7	15.3	14	13.5	17.6	14.3	16.8
Main wind direction	NW	NW	W	WNW	WSW	SE	SSE	SSE	NNE	NNW	WSW	SW	

Table 4. 2013 Wind Speed Data (Rooftop of Chungbuk Nat'l Univ. 5th Engineering Building)

	2013										AVG	
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT		
Mean monthly wind speed	1.5	1.2	1.8	2.3	1.8	1.7	1.7	1.4	1.3	1.4	1.4	1.6
Maximum monthly wind speed	11.8	15.2	19.6	24.1	20.7	21.1	15.3	14.1	13.8	14.1	14.1	17
Main wind direction	NW	NW	W	WSW	SE	SSE	S	SE	NNE	NNW		

과 달리 양력을 이용하기 때문에 바람방향에 따라 조절시스템도 필요할 것이며 향후 이 데이터들은 지속적으로 활용 가능하다 판단된다.

3.2. 발전기 설치지역(충북대 옥상) 풍속측정결과

본 실험을 위하여 설치된 발전기는 C대학교 5공학관 옥상에 설치하였으며, 이에 따른 풍향 분석을 위하여 풍속계를 설치하여 모니터링 하였다. 발전기 설치지역에서 측정된 풍속은 지상 30 m에서의 자료이다. Table 3은 2012년 월간 평균풍속, 최대풍속 그리고 풍향을 나타낸 것이다. 평균풍속은 1.3 m/s로 청주기상대에서 측정된 1.5 m/s보다 적게 나왔지만, 최대풍속은 16.8 m/s로 청주기상대에서 측정된 6.1

m/s와 비교했을 때 상당히 큰 차이를 보이는 것을 확인하였다. 이는 풍향 자료에 있어 아주 중요한 변수가 될 것이다.

Table 4는 2013년 1월부터 10월까지의 평균풍속, 최대풍속 그리고 풍향측정 결과이다. 2012년 측정값과 비교했을 때 크게 차이가 없는 것을 확인할 수 있고, 두 측정값 모두 봄철에 가장 높은 풍속을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 청주기상대의 측정 자료와 본 실험에서 사용된 풍속계로 측정된 자료의 값이 차이가 큰 것을 볼 수 있다. 평균 풍속도 발전기 설치지역에서 측정된 값이 높게 나타났지만, 최대풍속의 경우 큰 차이를 나타내었다. 이는 발전기 설치지역에 설치된 풍속계는 지상 30 m의 옥상에 설치되어 있어 고도가 높지 설치되어 있고,

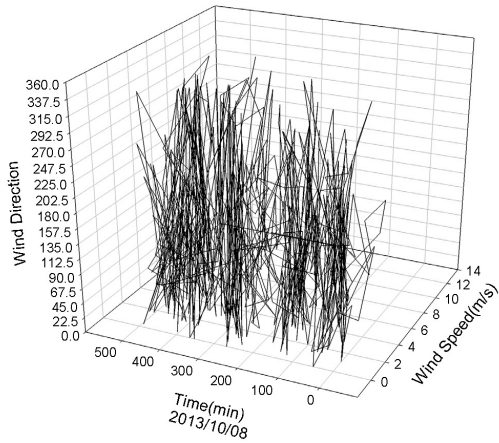


Figure 3. Effect of time on wind speed/direction.

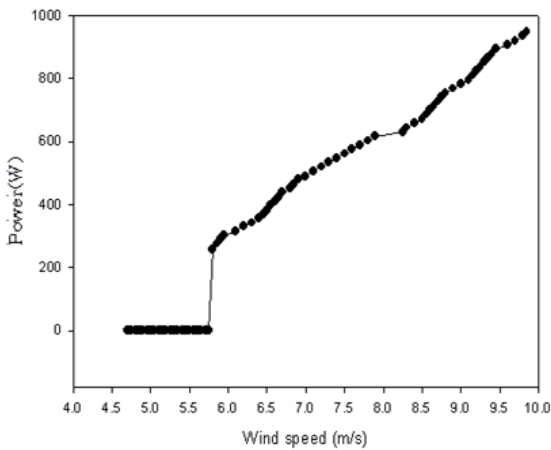


Figure 4. Generation according to wind speed of 1 kW generator.

건축물 옥상에 설치함으로써 주위환경에 따른 돌풍으로 인한 풍속이 증가하였기 때문이다.

풍향과 풍속, 시간의 세 가지 조건을 동시에 보여주기 위하여 Figure 3에 3차원 그래프로 표현하였으며, 시시각각 변하는 풍향과 풍속을 한눈에 알아볼 수 있다. 풍향은 북쪽을 0° 기준으로 동쪽을 90° 남쪽을 180° 서쪽을 240°로 표시하였으며, 시간에 따라 불규칙하게 계속 변화하는 것을 볼 수 있다. 풍속은 평균적으로 0~2 m/s로 낮은 풍속을 나타내고 있지만, 10 m/s 이상의 고풍속이 간헐적으로 나타난다. 이제까지의 풍향도는 장미바람도에 의해 평균적인 데이터로써 실제 풍력발전의 설계에 있어 그다지 활용가치가 크지 않았다. 하지만 본 논문에서는 실시간적으로 풍향, 풍속 그리고 지속시간 등을 동시에 표현함으로써 보다 활용적인 설계에 도움이 된다 할 수 있다.

3.3. 1 kW 용량 수평축 풍력발전기 발전량 측정

풍속에 따른 1 kW 용량 수평축 풍력발전기의 발전량을 Figure 4에 나타내었다. 5.8 m/s 이전에는 발전이 되지 않는 것으로 보아 초기 구동에 많은 에너지를 필요로 하는 것을 알 수 있으며, 자화전류를 넣어 주어도 RPM 저하로 인해 발전이 되지 않았다. 5.8 m/s 이상에서는 풍속이 증가함에 따라 발전량이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 10 m/s에서 정격발전량인 1 kW에 도달하는 것을 볼 수 있다.

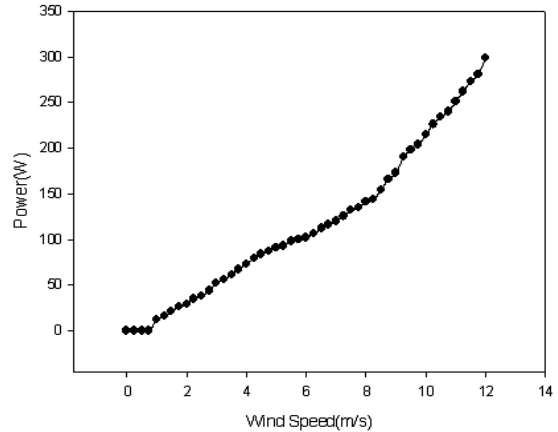


Figure 5. Generation according to wind speed of 300 W generator.

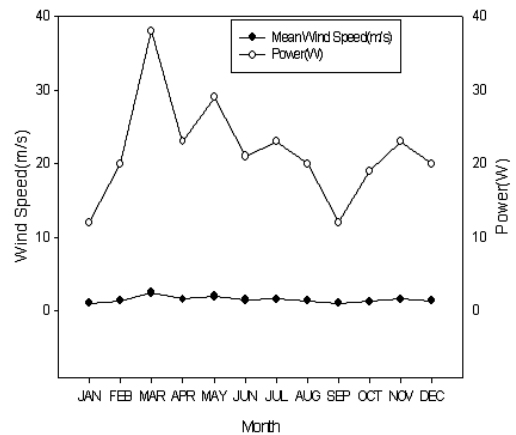


Figure 6. Monthly average wind speed and generation.

3.4. 300 W 용량 수평축 풍력발전기 발전량 측정

풍속에 따른 300 W 용량 수평축 풍력발전기의 발전량을 Figure 5에 나타내었다. 측정결과 1 m/s부터 발전이 시작되는 것을 확인하였으며, 풍속이 증가함에 따라 발전량이 증가하는 것을 확인하였다. 또한 12 m/s에서 정격발전량인 300 W에 도달하는 것을 확인하였다.

3.5. 월 평균 풍속에 따른 300 W 용량 발전기 발전량

Figure 6은 월 평균 풍속에 따른 300 W 용량 발전기의 발전량을 나타낸 것이다. 낮은 풍속에서도 발전이 가능한 300 W 용량 풍력발전기는 평균풍속만으로 계산할 경우 시간당 10~40 W의 전력을 생산할 수 있다.

3.6. 누적발전량

평균 풍속이 가장 높은 2013년 4월과 평균 풍속이 가장 낮은 10월의 누적발전량을 Figures 7, 8에 나타내었다.

Figure 8은 4월 동안 1 kW와 300 W 발전기의 누적 발전량으로 300 W 발전기의 누적 발전량이 약 4 kW 높은 것으로 측정되었다. 그 이유는 발전기 설치 지역의 풍속을 보면 평균적으로 2~4 m/s 사이로 300 W 발전기의 발전가능시간이 많고, 1 kW 발전기의 발전개시풍속인 5.8 m/s 이상의 바람은 간헐적이기 때문에 발전량이 적은 것을 볼 수 있다.

Figure 8에서 10월의 300 W 용량 발전기 누적발전량이 1 kW 용량 발전기보다 약 2.4 kW 높은 것을 알 수 있다. 10월 시간당 풍속 데이

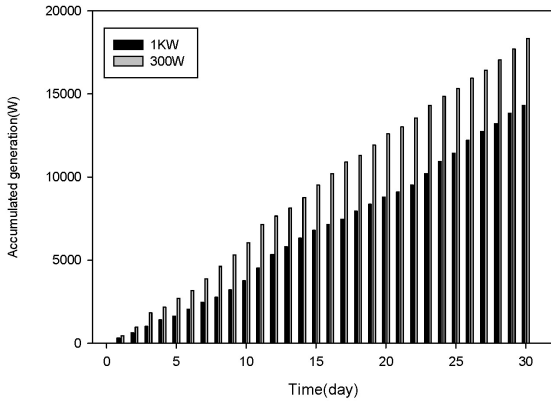


Figure 7. Accumulated generation (1 kW and 300 W) in April.

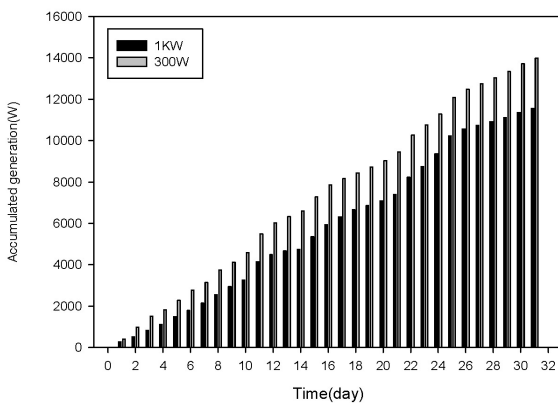


Figure 8. Accumulated generation (1 kW and 300 W) in October.

터를 보면 1~3 m/s의 풍속이 지배적이기 때문에, 1 kW 발전기의 발전시간이 적고 300 W 발전기는 지속적으로 발전되므로 누적발전량은 300 W 발전기가 많다. 4월과 10월의 누적발전량을 보면 알 수 있듯이, 평균 풍속이 가장 높은 4월과 평균 풍속이 가장 낮은 10월 모두 300 W 발전기의 누적발전량이 많았다. 4월 두 발전기의 누적 발전량 차이는 4 kW이고, 10월 두 발전기의 누적발전량차이는 2.4 kW로, 그 차이는 1.6 kW이다. 이 차이를 보면, 5.8 m/s 이하의 풍속에 대해서 평균 풍속이 높은 것은 1 kW 발전기의 발전보다 300 W 발전기의 발전에 영향을 더 미치는 것을 알 수 있다.

3.7. 발전효율산출

풍속이 갖는 운동에너지를 기계적인 에너지로 변환시키는 공식은 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \tag{1}$$

P : Power (W)
 ρ : Air Density (Kg/m³)
 A : Blade Area (m²)
 V : Wind Speed (m/s)

풍속이 갖는 에너지는 풍속의 3제곱에 비례한다. 베츠의 최대출력 계수 Cp (0.59)와 발전기의 효율 Cm, 증속기 효율 Cg를 아래의 식에 대입하면 실제발전량을 알 수 있다[8,9].

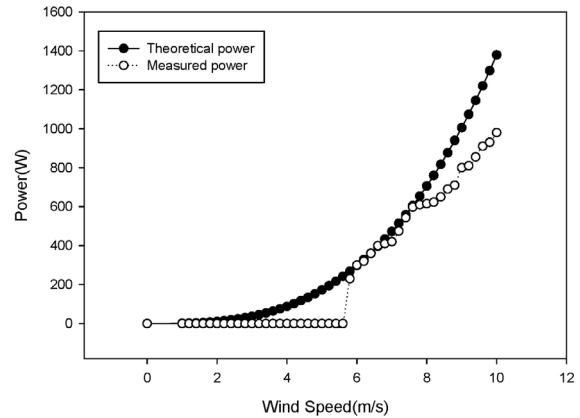


Figure 9. Compare theoretical power to measured power of 1 kW generator.

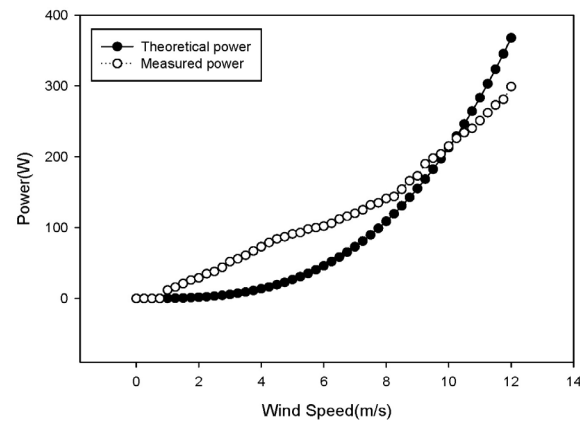


Figure 10. Compare theoretical power to measured power of 300 W generator.

$$E_r = E_w \times C_p \times C_m \times C_g \tag{2}$$

따라서, 식 (1)을 사용하여 1 kW 용량 발전기의 이론적 발전량을 계산해보면 풍속이 10 m/s일 경우 공기의 밀도는 1.225 kg/m³, 블레이드의 면적(A)는 3.14 × 1.5² m²이므로 4327 W이다. 실제 발전량을 식 (2)에 의해 계산해보면 E_w는 4327 W, C_p는 0.59, C_m은 0.6, C_g는 0.9이므로 1378 W가 된다. 1 kW 발전기는 10 m/s에서 정격발전량인 1 kW가 나오지만 계산 결과와 378 W의 차이를 보였다. 300 W 용량 발전기의 이론적 발전량을 식 (1)에 의해 계산해보면 풍속이 10 m/s일 경우 공기의 밀도는 1.225 kg/m³, 블레이드의 면적(A)는 3.14 × 0.5² m²이므로 480 W다. E_w는 480 W, C_p는 0.59, C_m은 0.75이고, 증속기는 없으므로 C_g는 제외하여 계산하면 212.4 W로, 실제 측정값인 215 W와 유사한 값을 나타낸 것을 확인할 수 있다. 위 공식을 적용하고 베츠의 공식을 활용하여 풍속별로 계산한 발전량과 실제 측정된 발전량을 비교한 후 Figures 9, 10에 나타내었다.

Figure 9은 베츠의 이론에 의해 계산된 1 kW 발전기의 발전량과 측정된 발전량을 비교한 그래프이다. 5.8 m/s 이상에서는 베츠의 이론과 유사한 발전량을 나타내지만 8 m/s부터는 베츠식보다 낮은 발전량을 나타낸다. 이는 바람의 운동에너지가 전기에너지로 변환될 때 갖는 변환율이 베츠의 최대출력계수인 0.59 보다 낮기 때문이며, 8 m/s 이상에서는 발전 용량에 비해 낮은 효율을 나타내는 것을 알 수 있다.

Figure 10은 베츠의 이론에 의해 계산된 300 W 용량 발전기의 이론적발전량과 측정된 발전량을 나타낸 것이다. 1 kW와는 다르게 10 m/s 이하에서는 이론적 발전량보다 측정된 발전량이 더 좋은 것으로 나타났으며, 10 m/s 이상에서는 계산된 발전량이 더 높게 나타났다. 이는 10 m/s 이하에서는 베츠의 최대출력계수인 0.59 보다 높을 수는 없으므로 상대적으로 발전효율이 높다는 것이며, 10 m/s 이상에서는 이론치보다 발전량이 낮아진다는 것을 알 수 있다. 즉, 300 W 용량 발전기의 경우 10 m/s 이하에서도 비교적 높은 효율을 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 내륙지역의 바람을 이용한 풍력발전을 위하여 내륙 지역 중 연구실이 위치한 청주시의 풍황을 분석하였고, 건축물 옥상에 1 kW 용량 풍력발전기와 300 W 용량 발전기를 설치하였고, 두 발전기의 풍속에 따른 발전효율을 비교하였다.

1. 1 kW 용량 발전기는 5.8 m/s에서부터 발전되었으며, 10 m/s에서 정격발전량인 1 kW에 도달하는 것을 확인하였다. 300 W 용량 발전기는 1 m/s에서부터 발전되는 것을 확인하였으며, 풍속이 증가함에 따라 발전량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 12 m/s에서 정격발전량인 300 W에 도달하는 것을 확인하였다. 청주시의 최대풍속을 고려했을 경우 지속적인 발전은 어렵지만, 풍속이 높은 날에는 간헐적으로 높은 발전량을 나타낼 수 있다. 특히, 1 kW 용량 발전기는 산간지역과 해안지역 등의 건축물 옥상에 설치할 경우 풍속이 높아진다면 지속적인 높은 효율을 나타낼 수 있을 것으로 보인다.

2. 1 kW 발전기와 300 W 발전기의 누적발전량을 확인한 결과 1 kW 발전기의 누적발전량보다 300 W의 누적발전량이 많은 것을 확인하였다. 1 kW 발전기의 발전개시풍속인 5.8 m/s 이상으로 부는 바람이 간헐적인 반면에 300 W 발전기는 발전기설치지역에서 지속적으로 부는 1 m/s~3 m/s 사이에서 발전을 하기 때문이다.

3. 1 kW 발전기와 300 W 발전기의 발전량을 베츠의 공식에 의한 이론적으로 계산된 발전량과 비교해보았을 때, 1 kW 발전기는 전 구간 베츠의 이론치 보다 낮은 발전량을 나타냈지만, 300 W 발전기는 10 m/s 이하에서도 상대적으로 높은 발전량을 나타내었고 이는 풍속에 비례한 발전효율의 증가에 의한 것이라 판단된다. 특히 풍속분포도를 보았을 때, 지배적인 5 m/s 이하의 풍속에서 높은 발전량을 나타내는 것을 확인하였다.

4. 두 발전기를 비교한 결과 내륙지역의 건축물 옥상에서는 저용량 발전기인 300 W 풍력발전기가 더 효율적인 것으로 나타났으며, 평균 풍속이 5.25 m/s 이상인 해안지방과 산간지방의 건축물 옥상에서는 1 kW 발전기의 발전효율도 우수할 것으로 기대된다.

감 사

이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2012).

References

1. Greenpeace, Global Wind Energy Outlook 2014, The Global Wind Energy Council, Rue d'Arlon 80,1040 Brussels, Belgium (2014).
2. O. H. Kwon, A Study on Energy Efficiency Improvement of Small Wind Power Generation using Wound Rotor Type, MS. Thesis, Chung-Buk National University, Cheongju, Korea (2012).
3. Small and Medium Business Administration, The Wind Energy Market Technical Report, Daejeon, Korea (2009).
4. J. Y. Kim and J. D. Jung, Understanding for Green Energy, Whasoomok Pub., Seoul, Shinchon-ro, Korea (2014).
5. J. W. Yang, On-site Test of Small Power Generator for Roof-top of Building, MS. Thesis, Korea Maritime Univ., Busan, Korea (2008).
6. J. S. Jo, Estimation of Annual Energy Production for the Small Wind Turbine Generator System, MS. Thesis, Kangwon Univ., Chunchon, Korea (2006).
7. Y. H. Kim, Power Factor Control of Wound Rotor Induction Generator for Wind Power Generation, Cheju, MS. Thesis, Jeju National Univ., Jeju, Korea (2000).
8. J. W. Kim and E. H. Kim, Analysis of variable wind power generating control system using doubly fed induction machine, *J. Power Electron.*, **13**(2), 148-152 (2002).
9. Y. H. Kim and E. H. Kim, Power factor control of wound rotor induction generator for wind power generation, *J. Ind. Sci.*, **11**(2), 117-123 (2000).