

대학교 캠퍼스 소형풍력발전기 설치 및 발전량 예측에 관한 연구

The Prediction of the location and electric Power for Small Wind Powers in the H University Campus

조 관 행* 윤 재 옥**
Cho, Kwan Haeng Yoon, JaeOck

Abstract

The energy consumption in the world is growing rapidly. And the environmental issues of climate become a important task. The interest in renewable energy like wind and solar is increasing now. Especially, by reducing power transmission loss, a small wind power is getting attention at the residential areas and campus of university. In this study, we attempted to estimate and compare the wind energy density using wind data of AWS (Automatic Weather Station) of H University. In this case of a campus, the weibull distribution parameter C is 2.27, and K is 0.88. According to the data, the energy density of the small wind power is 12.7 W/m². We did CFD(Computational Fluid Dynamics) simulations at H University campus by 7 wind directions(ENE, ESE, SE, NW, WNW, W, WSW). In the results, we suggest 4 small wind powers. The small wind power generating system can produce 4,514kWh annually.

키워드 : 와이블 분포, 풍력에너지 밀도, 풍속, 소형풍력발전기

Keywords : Weibull Distribution, Wind Energy Density, Wind Velocity, Small Wind Power

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

요즈음 화석에너지 과다사용으로 발생하는 문제점이 크게 대두되고 있다. 풍력, 태양전지 등 신재생에너지가 새로운 에너지원으로 각광을 받고 있다. 그 중에서 풍력발전은 지난 10년간 40배의 성장을 이루며, 차세대 청정에너지로 여겨진다. 한국은 1998년에 풍력발전을 계통 연계한 이래 지난 10년간 급격한 성장을 이루고는 있지만, 아직은 세계 풍력설비 규모의 0.2%에 불과한 실정이다. 풍력발전 에너지는 어느 곳에서나 산재되어 있는 무공해, 무한정의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 비교적 적고 국토를 효율적으로 이용할 수 있는 장점이 있다.

대형 풍력발전기는 인적이 드문 자연 속에 설치되어지고, 심각한 소음 때문에 주거지역에서 멀리 떨어진 지역에 건설하는 경향이 있다. 반면 소형풍력발전기는 전력사용지역인 주거단지나 캠퍼스에 설치하여 전력을 생산 할 수 있으므로 전송 문제가 적고, 반영구적으로 에너지를 사용함과 동시에 환경문제를 거의 일으키지 않는다.

바람에너지를 이용하기 위하여 와이블분포를 사용한 지역별 풍력에너지 예측 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

경남호, 박진철(2003)은 공동주택에서 소형 풍력 적용에 관한 연구를 하였고, 황지욱외 3인(2010)은 국내 주요 도시의 와이블 자료를 이용한 풍력 밀도를 예측 하였다, 윤재옥(1992)은 서울지역의 바람 특성을 분석하고 와이블 분포를 평가하는 연구를 하였다.

본 연구에서는 H 대학교 캠퍼스 내에서 실측한 AWS (Automatic Weather Station) 자료를 이용하여 H 대학교 캠퍼스 풍향, 풍속을 분석하였다. H 대학교 캠퍼스 바람 분석을 통해 와이블분포를 파악하고 소형 풍력 에너지 밀도를 예측 하였다. CFD 시뮬레이션을 실시한 후 소형 풍력발전기를 설치하기에 적합한 장소를 예상하고 풍력 발전량을 예측하였다. 본 연구의 목적은 캠퍼스나 주거지역에 소형 풍력발전기를 설치하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

H 대학교에서 2005년 8월 1일부터 2007년 7월 31까지 2년간 실측한 풍향, 풍속 자료를 분석하였다. 실측된 바람 자료를 바탕으로 H대학교 와이블분포(Weibull distribution)를 구하고 풍력에너지밀도를 예측 하였다. 국내, 외 대도

* 주저자, 호서대학교 대학원 석사과정(topkorean@hanmail.net)

** 교신저자, 호서대학교 건축공학과 교수(joy@hoseo.edu)

시의 와이블계수 기존 자료를 수집, 분석하여 본 연구 분석 자료와 비교하였다. 소형 풍력 발전기 설치 제안을 하기 위하여 H 대학교 캠퍼스를 대상으로 CFD 시뮬레이션을 실시하였다. CFD 시뮬레이션은 Star-CCM+ 5.04를 사용하였고, 정상상태 해석을 실시하였다. CFD 시뮬레이션 해석은 H 대학교에 가장 많은 영향을 주는 풍향, 풍속 특성에 따라 겨울철(NW, WNW, W, WSW)과 여름철(SE, ESE, ENE)로 나누어 실시하였다. 7가지 풍향별 건물 주위의 바람환경을 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 이용하여 풍속이 빠른 지점을 분석하고 지상15m, 25m 높이에 소형 풍력발전기를 세운다고 가정하고 설치위치를 제안하였으며 소형 풍력발전기 설치 제안에 따른 발전량을 예측하였다.

2. 풍력 발전기와 바람 자료

2.1 풍력 에너지 밀도

바람의 에너지는 풍력발전기 블레이드 회전면적(A)에 비례하고 풍속(V)의 3제곱에 비례한다. 즉 풍속이 2배로 커지면 풍력에너지는 8배 증가 된다. 풍력에너지를 활용하기 위해서는 바람이 강한 곳을 선택하는 것이 유리하다. 단위 면적당 풍력에너지(P)를 풍력에너지 밀도(P/A)라고 하고 식 (1)과 같이 나타 낼 수 있다.¹⁾ 식(2)는 월별 풍력 에너지이다.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (1)$$

$$P_m(v) = \frac{1}{2} \rho A v_m^3 \quad (2)$$

월평균풍속 $v_m = \int_0^\infty v f(v) dv$ 로부터 v^3 을 구하면 식(3)과 같이 된다. 식(3)은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$v_m^3 = \int_0^\infty v^3 f(v) dv \quad (3)$$

$$P_m = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{2} \rho A v_m^3 f(v_i) \right] \quad (4)$$

풍력에너지(P)는 와이블 분포 C, K를 이용하여 식(5), (6)과 같이 구한다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty v^3 f(v) dv \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{K} \right)$$

$$P/A = \frac{1}{2} \rho C^3 \Gamma \left[1 + \frac{3}{K} \right] \quad (6)$$

ρ : 공기밀도(1.225kg/m³)

Γ : Gamma 함수

2.2 와이블 분포

풍력발전에서 가장 중요한 것은 정확한 풍력에너지의 양을 예측하는 것이다. 풍력에너지를 계산하기 위해서는 그 지역의 풍향, 풍속 자료가 필요하다. 바람 자료를 수집하기 위해서 해당 지역에 AWS(Automatic Weather Station) 시스템을 설치하여 실측을 하는 것이 바람직하나, 일반적으로 인근 기상관측소의 풍향, 풍속 데이터를 이용한다. 풍력 발전에 관한 풍속을 추정하기 위한 확률분포는 Weibull distribution(와이블 분포)가 일반적으로 많이 사용 된다. 와이블함수는 풍속 데이터의 와이블분포로 이를(C, K) 이용해서 풍력 에너지를 예측 할 수 있다.

바람은 시간에 따라 그 세기와 방향이 변하는 간헐성과 변화성을 갖고 있다. 와이블 분포 함수는 유연성과 간편성 때문에 현재까지 지역별 풍력 밀도를 평가하는데 사용되고 있는 방법 중에 하나이다. 풍속 v에 대한 와이블분포의 확률분포는 식(7)이고, 초과확률분포는 식(8)이다.

$$F(v) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{C} \right)^K \right] \quad (7)$$

$$F(V \geq v) = \exp \left[- \left(\frac{v}{C} \right)^K \right] \quad (8)$$

K: 와이블 분포의 형상 계수

C: 와이블 분포의 척도 계수(m/s)

풍속 와이블계수 C, K 를 조사 분석한 해외 주요 도시의 와이블 분포 특징은 그림 5와 같다. 주로 해안 지역에 위치한 도시들의 C, K 값이 높은 경향이 있었다. 표 1은 국내, 외 주요도시별 와이블계수 값 이다.

표 1. 국내,외 주요도시 C, K 값

	City	C(m/s)	K
국내	서울 ²⁾	2.7	1.5
	인천 ³⁾	3.36	2.3
	부산 ³⁾	4.2	2.8
국외 ⁴⁾	Dayton(Ohio) Surface	3.9	1.7
	Dayton(Ohio) (300m)	7.1	1.7
	Casablanca	4.2	1.5
	Falkand Islands	14.8	2.5
	Lio da Roma	6.8	1.5
	New York(F.J.K. airport-500)	11.4	1.87
	Seattle airport(300m)	8.5	1.9
	Sydney	7.8	1.39
Melbourne	10.5	1.64	

2) 윤재욱, "서울지역의 바람특성과 확률 분포(와이블분포)를 이용한 풍향, 풍속 예측에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제 42 권, pp 145 - 152, 1992

3) 황지욱, 유기표, 김한영, 기상데이터와 웨이블 파라메타를 이용한 풍력 에너지밀도분포 비교, 한국태양에너지학회 논문집, 제 30권 2호, pp 52 - 64, 2010

4) R. M Aynsley, W. Melbourne, B. J. Vickery, Architectural Aerodynamics, Applied Science Publishers LTD, p 102, 1977

1) 고경남, 허종철 역, "풍력공학입문", 문운당, 2008

3. H대학교 캠퍼스 바람 자료 결과 및 분석

3.1 실측 방법 및 범위

A시에 위치한 H대학교 캠퍼스 안의 AWS 위치는 북위 36°44', 동경 127°04'이었으며 해발 높이는 132m이었다. 그림 1과 그림 9는 AWS 실측 장비와 설치 위치를 보여 주고 있다. 본 실측에서는 지상 15m 자료를 분석 하였다. 각 센서는 지상 15m 지점에 설치한 실측장비(NRG - Symphonie)를 이용해 실측을 하였다. 실측장비는 NRG사의 Symphonie Wind Data Logger로 지속적인 풍속 및 풍향 자료를 실측 저장하였다. 실측 시간은 매시 정각 이었고, 정시부터 10분간 측정된 측정치의 평균값을 사용 하였다. 실측 자료는 컴퓨터를 이용하여 분석하도록 하였다.

3.2 실측 자료 결과 및 분석

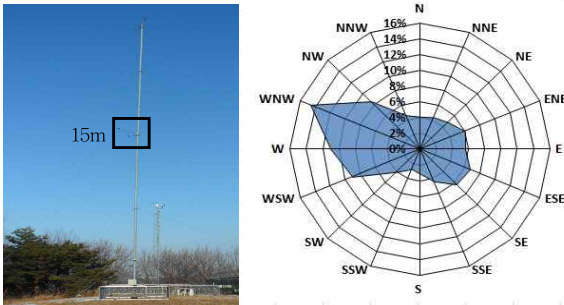


그림 1. AWS 실측 장비 그림 2. 2년간 H 대학교 풍향 분포

H대학교에서 실측한 2년간 바람자료 분석 결과에 의하면 그림 2와 같이 주풍향은 WNW이었고 연평균 풍속은 2.25m/s이었다. 그림 3은 월별풍속을 보여주고 있다. 겨울철(12월~2월) 평균풍속은 2.4m/s, 봄철(3월~5월) 2.6m/s, 여름철(6월~8월) 2.0m/s, 가을철(9월~11월)은 1.9m/s 이었다. 봄철 3,4월 평균풍속이 가장 높고 겨울, 여름, 가을 순 이었다. 늦가을에서 봄에 해당하는 11월부터 4월 까지는 6개월 간 WNW의 바람이 주로 불고, 늦봄부터 초여름에 해당하는 5월부터 7월 까지는 SE의 바람이 불었다. 표 2와 같이 8월의 주풍향은 WSW, 9월은 WNW, 10월은 WSW 이었다.

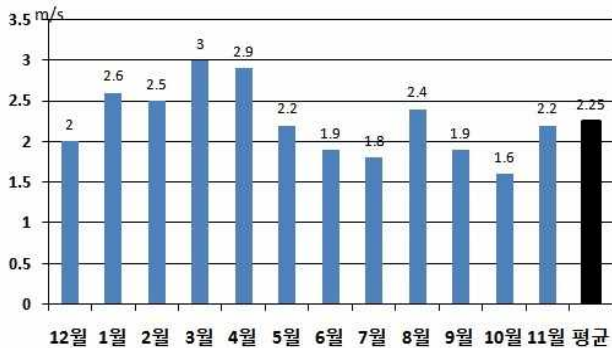


그림 3. H 대학교 캠퍼스 풍속 분포(15m)

표 2. H 대학교 캠퍼스 주풍향, 부풍향

	12월	1월	2월	3월	4월	5월
주풍향	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	SE
부풍향	W	W	W	NW	NW	WSW
	6월	7월	8월	9월	10월	11월
주풍향	SE	ESE	WSW	WNW	WSW	WNW
부풍향	WNW	SE	W	ESE	WNW	W

3.3 와이블 분포 및 풍력 에너지 밀도

H 대학교 캠퍼스 AWS의 2년간 풍속분포 분석 결과 와이블 분포를 이루었다. 와이블 분포에 따라 C값은 2.27, K값은 0.88 이었다. 식(7)을 이용해 출현 빈도에 따른 와이블 분포를 구하면 다음 그림 4와 같고 그림 5는 국내, 외 주요도시의 초과 확률분포이다.

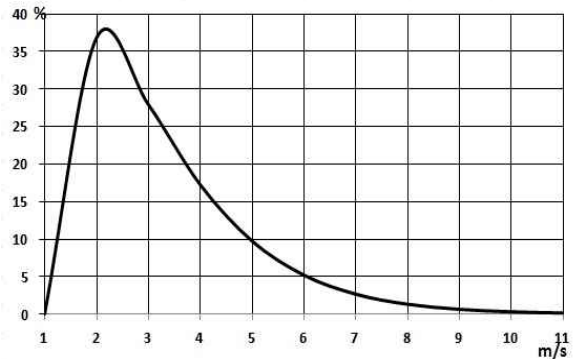


그림 4. 2년간 H대학교의 평균풍속 와이블 분포(출현 빈도)

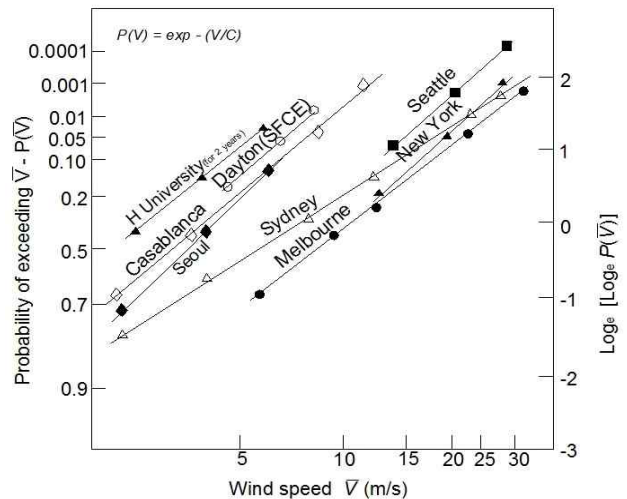


그림 5. 국내와 국외 주요도시 와이블 분포

H 대학교의 와이블 분포에 근거한 풍력에너지 P를 식 (5),(6)을 사용하여 예측하였다. H대학교의 풍력에너지 밀도는 12.7 W/m²이었고, 이때 사용한 C값은 2.27, K값은 0.88이다. ρ는 공기 밀도 1.225kg/m³, Γ는 Gamma 함수를 나타낸다.

4. CFD를 이용한 대학교 캠퍼스 내의 풍속 예측

4.1 풍속, 풍향을 고려한 해석 경계조건 및 모델 개요

시뮬레이션은 A시에 위치한 H 대학교 캠퍼스를 대상으로 실시하였다. H 대학교 캠퍼스 전체 영역을 대상으로 CFD시뮬레이션을 실시 후, 풍속 분포가 가장 빠른 영역을 분석하였다. 외부유동을 위한 3차원 모델의 해석은 STAR-CCM+ 5.04를 이용하였고 Wind profile을 적용하였다. CFD 경계 조건은 표 3과 같고, 해석 영역은 그림 6과 같다. 풍속은 실측결과와 연평균 풍속을 사용하였다.

표 3. CFD 모델 및 경계 조건

조건	조건
Base Size(m)	10
Turbulence Model	Standard k-ε model
Wind Direction	SE, ESE, ENE, NW, WNW, W, WSW
Inlet Wind Profile	2.25 m/s(h=15m), 지수법칙 사용(α = 0.22)
Domain Size(m)	4000 × 2000 × 500
Hight of buildings	①, ② : 24m ③, ④, ⑦, ⑧ : 10m ⑤, ⑥: 27m(그림 9 참조)

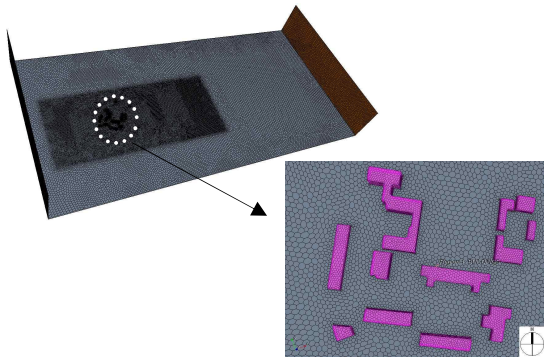


그림 6. H 대학교 해석 영역

H 대학교 캠퍼스의 풍향, 풍속 실측 자료는 계절에 따라 뚜렷하게 차이를 나타내고 있었다. 특히 풍향의 빈도수는 겨울철에는 WNW, 여름철에는 SE에서 가장 많아 주 풍향을 나타내었다. 그래서 본 연구에서는 가장 풍향 빈도수가 많은 여름철 풍향 SE, ESE, ENE와 겨울철 풍향 NW, WNW, W, WSW에서의 풍향을 고려하여 CFD시뮬레이션을 실시했다.

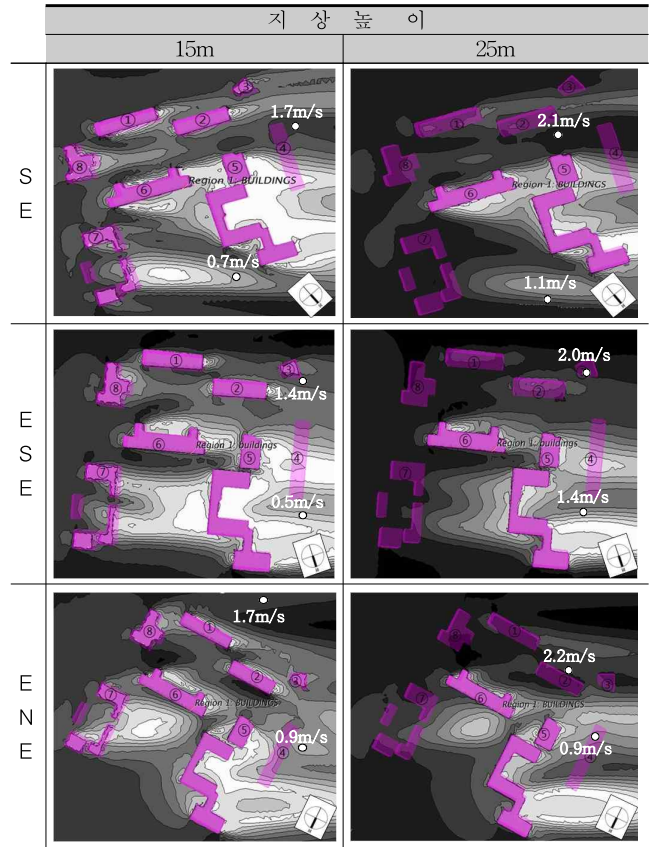
4.2 풍향별 풍속 예측 결과 및 분석

1) 여름철 풍향 풍속 분석

6월, 7월, 8월 여름철에 불어오는 풍향은 SE(26.6%), ESE(27.8%), ENE(21.8%) 이었다. SE, ESE, ENE 3풍향의 CFD시뮬레이션 결과 지상15m와 지상25m의 풍속분포를 분석하여 표 4에 나타내었다. 여름철에 불어오는 풍향별 가장 높은 풍속 영역은 SE경우 ⑥ 건물과 ⑦ 건물 사이, ENE의 경우 ① 건물과 ⑧ 건물사이, ESE경우 ⑥ 건

물과 ⑧ 건물 사이였다. 여름철에는 주로⑥, ⑦, ⑧ 건물의 영향으로 캠퍼스 내에서 높은 풍속영역이 결정되는 것으로 분석 되었다.(건물 번호: 표4, 그림9 참조)

표 4. H 대학교 캠퍼스 여름철 풍향별 시뮬레이션 결과



2) 겨울철 풍향 풍속 분석

주로 겨울철에 불어오는 풍향은 NW, WNW, W, WSW 이었다. H대학교 캠퍼스 내의 긴 건물(⑤ 건물) 동측에서는 주로 느린 풍속 영역을 볼 수 있었다. 겨울철에 불어오는 풍향별 가장 높은 풍속 영역은 NW경우 ② 건물 북서쪽, WNW경우 ⑤ 건물의 북쪽, W경우 ⑦ 건물 동쪽, WSW경우 ⑦ 건물 북쪽 영역에서 찾아 볼 수 있었다. 겨울철에는 주로 ②, ⑤, ⑦ 건물의 영향으로 캠퍼스 내 풍속 영역이 결정되는 것으로 분석 된다.

3) H 대학교 15m, 20m 풍향별 예측 풍속 분포

H 대학교 캠퍼스에서 풍력발전기를 설치하기 위한 유리한 곳으로 평균풍속이 1.6m/s 이상인 지역과 불리한 곳으로 0.8m/s 이하인 지역을 지상 높이 15m, 25m에서 각각 분석하였다. 그림 7과 같이 15m 높이에서는 주로 A 위치에서 풍력발전기를 설치하기 유리한 지역을 찾을 수 있었다. 서쪽에 위치한 길고 높은 건물 서측과 동측에서는 건물 ⑤의 영향을 받아 풍력발전기를 설치하기 불리한 지역으로 분석되었다.

지상 25m높이에서는 서쪽에 위치한 길고 높은 건물 주

변으로 풍력발전기를 설치하기 유리한 지역을 찾아 볼 수 있었다. 그림8과 같이 지상 25m에서는 지상 15m보다 풍속이 약한 지점이 줄어드는 것을 볼 수 있었고, 풍력발전기를 설치하기 유리한 영역(A 부분)이 증가하는 것을 알 수 있었다.

표 5. H 대학교 캠퍼스 겨울철 풍향별 시뮬레이션 결과

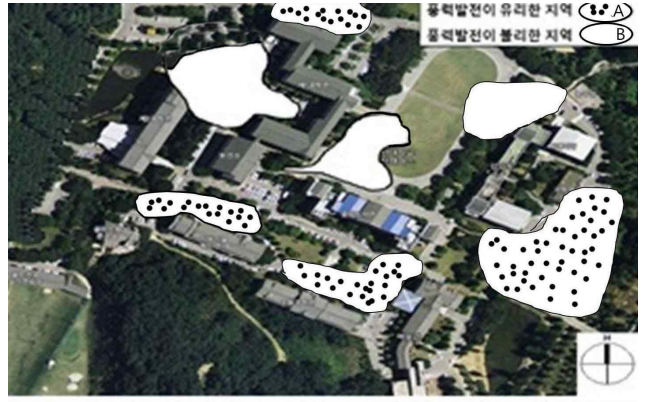
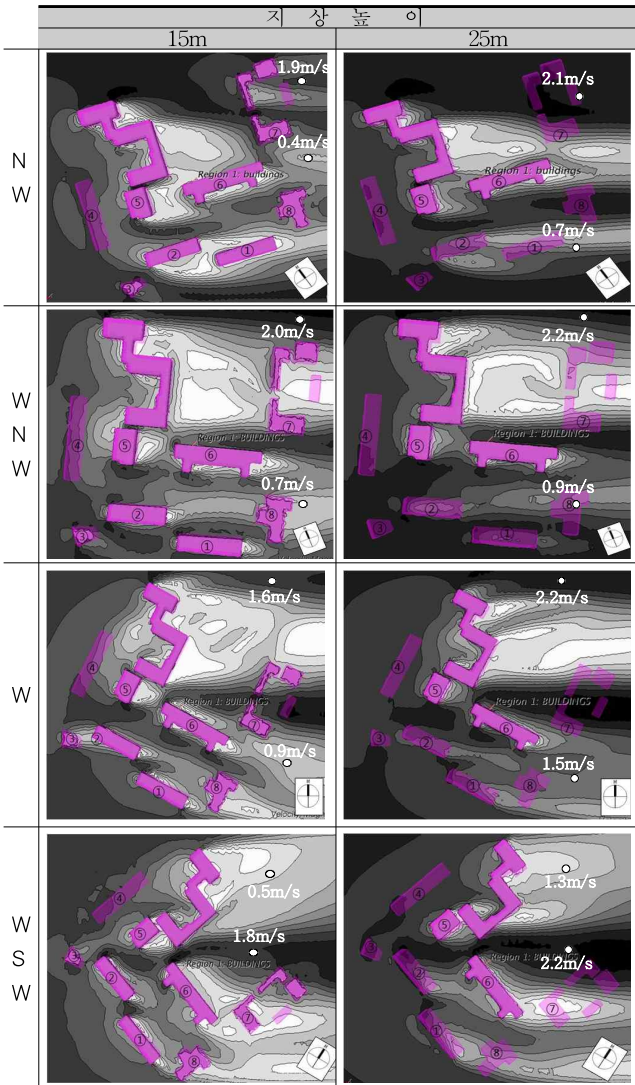


그림 8. H대학교 25m 풍속 분포

5. 수직형 소형 풍력발전기 선정 및 발전량 예측

5.1 수직형 소형 풍력발전기 선정

표 6. 소형 풍력발전기 제원

MODEL		IRTV13-10kW	
Nominal power	10kW		
Operating Data			
Cut-in wind speed	1.6m/s		
Cut-out wind speed	20m/s		
Rated wind speed	13m/s		
Survival wind speed	45m/s		
Rotor			
Number of blades	4		
Rotor diameter (m)	6		
Generator			
Type	PMSG		
Voltage	220~380V		
Frequency	50/60Hz		

H 대학교 소형 풍력발전기는 캠퍼스 안에서 실측된 AWS 자료와 현재 소형 풍력발전기 개발 현황을 조사하여 선정 하였다. 수직형 소형 풍력발전기는 풍속이 작아도 발전기 구동이 가능하고 풍력에너지 생산도 가능하므로 유리하다고 판단된다. 수직형 소형 풍력발전기의 Cut-in-wind speed는 대부분 1.5m/s ~ 2.5m/s 이므로 비교적 풍력이 약한 H 대학교 캠퍼스 내 적용하기에 유리하다고 사료된다. 수직형 소형 풍력발전기 중 아이알 윈드파워사의 IRTV13-10kW를 선택하고, 이를 이용하여 5.3에서 발전량을 예측하였다.

5.2 각 풍향별 풍속이 가장 빠른 지점

H 대학교 캠퍼스 내의 소형 풍력 발전기 설치 위치는 7가지 풍향별 예측풍속을 고려하여 선정 하였다. 그림 9는 지상25m 에서 각 풍향(NW, WNW, W, WSW, SE, ESE,



그림 7. H대학교 15m 풍속 분포

ENE)의 각각 가장 강한 풍속 위치(가:W, 나:WSW, 다:WNW, 라:ENE, 마:NW, 바:ESE, 사:SE)를 보여주고 있으며 그림 8의 결과와 동일 한 것을 알 수 있었다.

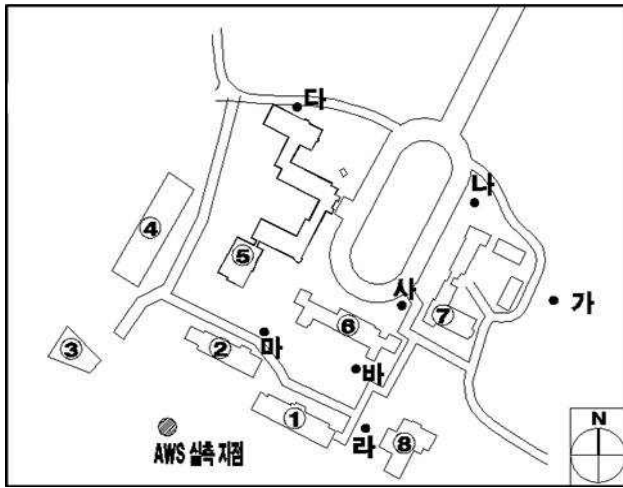


그림 9. H대학교 풍향별 풍속이 가장 빠른 지점

5.3 소형 풍력발전기 발전량 예측

소형 풍력발전기의 연간 발전량(P , kWh)은 출력곡선과 설치지점의 발전기 높이 25m에서의 풍속 출현율 분포를 사용하여 예측하였다¹⁾.

$$P = \sum [P(V) \times f(V) \times 8,760] \quad (9)$$

풍속 V 의 발생 전력 $P(V)$ 는 선정된 풍력 발전기의 출력곡선에서 찾아 볼 수 있다. 풍속 V 의 출현율 $f(V)$ 는 식 (10)과 같이 풍속 계급별 출현율로부터 구할 수 있다.

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \frac{V}{\bar{V}} \exp - \frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 \quad (10)$$

$f(V)$: 풍속 V 의 출현율
 \bar{V} : 연평균 풍속(m/s)
 V : 풍속(m/s)

풍향별 소형 풍력발전기의 최대 풍력에너지 발전량은 다음과 같다. 각 풍향별 선정된 7가지 지점에서의 풍력 에너지 발전량은 가:1,375kWh, 나:1,109kWh, 다:1,109kWh, 라:1,109kWh, 마:921kWh, 바:747kWh, 사:747kWh 이었다. 7개 지점 중에서 비교적 발전량을 많이 확보 할 수 있는 4지점 (가:W, 나:WSW, 다:WNW, 라:ENE)에 수직형 소형풍력발전기를 설치하였다고 가정하였다. 수직형 소형풍력발전기 4대를 설치했을 경우 연간 발전량이 4,514kWh 이었다. 이 발전량은 H대학교에 설치되어 있는 가로등 115개의 연간 전력을 공급할 수 있는 전력량으로 판단된다.

6. 결론

H 대학교 캠퍼스 AWS 실측 풍향 풍속 자료와 CFD 시뮬레이션 결과를 이용 하여 소형 풍력발전기 설치 위치

를 선정하고 풍력 에너지 발전량을 예측하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) H 대학교 캠퍼스 2년간에 주풍향은 WNW풍, 부풍향은 W풍이었다. 겨울철에 주로 불어오는 풍향은 NW, WNW, W, WSW풍이고, 여름철에 주로 불어오는 풍향은 SE, ESE, ENE풍 이었다. 풍속은 봄철 2.6m/s로 바람이 가장 강하게 불었고 연평균 풍속은 2.25m/s 이었다.

2) CFD 시뮬레이션 결과 겨울철에는 주로 ②번, ⑤번, ⑦번 건물의 영향으로 캠퍼스 내 풍속 영역이 결정되는 것으로 분석 되었다. 여름철에는 주로 ①번, ⑧번, ⑥번 건물의 영향으로 캠퍼스 내 풍속영역이 결정되는 것으로 분석 되었다. 풍속 1.6m/s 이상의 지역이 지상15m의 경우보다 25m의 경우 여러 곳으로 넓게 나타났다.

3) 캠퍼스에 소형 풍력발전기 설치 위치를 제안하였다. 비교적 발전량을 많이 확보할 수 있는 4곳을 선정하고 예측한 소형 풍력발전기 발전량은 연간 4,514kWh 이었다.

추후, 풍력발전기 설치를 위한 CFD시뮬레이션 연구를 보다 다양하게 실시하고, 실 상황에 맞는 자료보완이 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. 박진철, 경남호, “공동주택에서의 소형풍력발전시스템 적용에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제 23 권 2호, pp 21 - 34, 2003년.
2. 윤재욱, “서울지역의 바람특성과 확률 분포(와이블분포)를 이용한 풍향, 풍속 예측에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제 42권, pp 145 - 152, 1992년.
3. 박경호, 김진훈, 정현생, “국내의 풍력자원 특성 분석”, 태양에너지, 제 10권, 2호, pp 3 - 9, 1990년.
4. 강소영, “공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안 관한연구”, 중앙대학교, 석사학위논문, 2002년.
5. 조관행, “대학교 캠퍼스 내의 소형풍력발전기 적용에 관한 연구”, 석사학위논문, 2011년.
6. 김명래, 윤재욱, 대학교 캠퍼스의 풍력자원 측정 및 분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 2008년.
7. R. M Aynsley, W. Melbourne, B. J. Vickery, “Architectural Aerodynamics”, Applied Science Publishers LTD, pp 12-34, 1977년.
8. 박노길, 외 3인 공저, “풍력발전기의 이론과 실제”, 홍릉과학출판사, pp 11 - 36, 2010년.
9. 風工學研究所, “ビル風の基礎知識”, 鹿島光一, pp 14-65, 2005년.

투고(접수)일자: 2012년 1월 1일
 수정일자: (1차) 2012년 2월 8일
 (2차) 2012년 2월 21일
 게재 확정일자: 2012년 2월 24일