

ORIGINAL ARTICLE

## 기상수치모의 자료를 이용한 부산지역의 소형풍력발전 시스템 적용에 관한 연구

이귀옥 · 이강열 · 강동배 · 박창현<sup>1)</sup> · 정우식<sup>2)</sup>

디엠제이 시스템 기업 부설 연구소, <sup>1)</sup>부산대학교 대기환경학과, <sup>2)</sup>인제대학교 대기환경정보공학과

### A Study on the Application of Small Wind Power System using Meteorological Simulation Data in Pusan

KwiOk Lee, KangYeol Lee, Dongbae Kang, Changhyoun Park<sup>1)</sup>, Woo-Sik Jung<sup>2)</sup>

R&D CenteR DMJ System, Busan 609-735, Korea

<sup>1)</sup>Division of Earth Environment System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>2)</sup>Department of Atmospheric Environment Information Research center Inje University, Gimhae 621-749, Korea

#### Abstract

We investigate the amount of potential electricity energy generated by wind power in Busan metropolitan area, using the mesoscale meteorological model WRF (Weather Research & Forecasting), combined with small wind power generators. The WRF modeling has successfully simulated meteorological characteristics over the urban areas, and showed statistical significant to predict the amount of wind energy generation. The highest amount of wind power energy has been predicted at the coastal area, followed by at riverbank and upland, depending on predicted spatial distributions of wind speed. The electricity energy prediction method in this study is expected to be used for plans of wind farm constructions or the power supplies.

**Key words** : WRF, Aerogenerator, Generation Power, Wind power, Green energy

#### 1. 서 론

신재생에너지 중 풍력에너지는 매우 큰 잠재력과 경제성 및 기술의 성숙도가 뛰어난 것으로 분석되어 세계적으로 각광 받는 에너지원으로 평가되어지고 있다. 풍력산업협회에 따르면 국내 풍력발전 기술수준으로 자원조사 분석예측 기술의 경우 해외 선진 기술은 자원분석에 대한 소프트웨어가 상용화 단계이며 100m해상도의 자원지도를 작성하고 있으나 국내의

경우는 소프트웨어는 해외기술에 의존하고 있으며 1km자원지도를 작성하는 수준이다. 또한 국내에서는 아직까지 개방형 지형의 대형 풍력단지 위주로 연구가 진행되었으며, 건물에 적용하는 기술은 시작단계로서 미흡한 실정이다(Lee et al., 2010). 한국과학기술정보원(KISTI MARKET REPORT, Vol.2)의 “소형풍력발전”에서 6W에서 300kW급의 정격 용량의 풍력터빈을 가진 소형풍력이 가정기기용 같은 적은 용량의 전기를 생산하거나 다양한 가정 기반의 전기

Received 21 February, 2014; Revised 25 February, 2014;

Accepted 23 May, 2014

\*Corresponding author : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Research center Inje University, Gimhae 621-749, Korea

Phone:+82-10-2571-1317

E-mail : wsjun1@inje.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수요를 충족할 수 있을 것으로 전망하고 있으며, 전 세계 설치 용량에서 최근 연간 35%의 급격한 증가를 보이며 2015년까지 연간 288MW의 설치 용량이 되리라 예상하였다. 소형풍력발전 시스템은 주로 농촌, 도서 지역에 사용되어 왔지만 최근에는 저 풍속용 시스템을 도시지역에 적용하고자 지속적으로 연구개발을 하여 왔으며 그 결과 초속 2m에 불과한 미풍에서도 경제성 있는 전기를 생산할 수 있는 소형 수직형 풍력발전 시스템이 개발되었다.

실제 우리나라 건물 환경에서의 에너지 소비현황은 전체 에너지 소비의 25%에 달하는 것으로 보고되고 있다(Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 2011), 도시지역에서 사용할 수 있는 소형풍력발전 시스템의 발전은 건물 환경에서의 에너지 소비의 일부를 신재생 에너지로 대체함으로써 에너지 절감을 유도 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 부산광역시를 대상으로 하여 도시 지역에서 사용가능한 소형풍력 발전기의 제원을 이용하여 중규모 기상 모델인 WRF(Weather Research & Forecasting model)로 1년간 수치모의된 바람자료를 이용하여 실제 소형풍력기로 발전 가능한 발전량을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 2012년의 1년에 대해 연구대상지역인 부산에 있어 수평공간해상도를 500m×500m로 높여서 기상수치모의를 실행하였고 “그린홈 100만호 보급사업”의 참여기업인 하이에너지 코리아의 DS1500 소형풍력발전기, DS300 소형풍력발전기와 금풍에너지의 GWE-3KH 소형풍력 발전기 제원을 이용하여 실제 1년 중 소형풍력의 발전 가능량을 살펴 보았다.

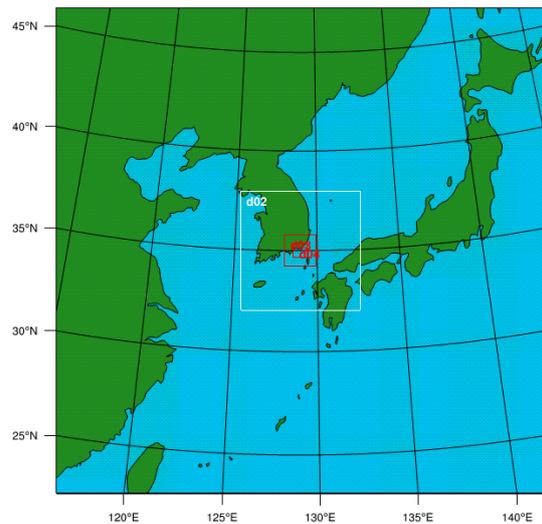
## 2. 연구방법

본 연구는 건물에서 사용가능한 소형 풍력에너지 발전량을 알아보기 위해 미국 국립기상연구소(NCAR, National Center for Atmospheric Research)와 미국 국립환경예측센터(NCEP, National Center for Environmental Prediction)에서 공동 개발된 모델인 WRF ver. 3.5.1을 이용하였으며 모델링에 사용된 물리과정은 Table 1과 같다. 수치모의는 2012년을 대상으로 Fig. 1과 같은 실험영역에서 1년간 수치모의를 실행하였

다. 수치모의의 결과는 30분에 한번씩 출력하여 본 연구에 활용하였다.

**Table 1.** The configuration of WRF Model

	Domain 1	Domain 2	Domain 3	Domain 4
PBL scheme	YSU PBL (YonSei University PBL)			
Cumulus scheme	Kain-Fritsch			
Explicit moisture scheme	WSM 3-class simple ice			
Radiation scheme	RRTM Long Wave, Dudhia Short Wave			
Vertical grid	27 layer			
Horizontal grid	197×197	145×145	115×115	151×151
Horizontal resolution	13.5km	4.5km	1.5km	0.5km
Time step	90s	30s	10s	2s



**Fig. 1.** WRF model domains in this study.

우리나라 대부분의 도심지 풍속은 2~4 m/s로 높지 않아 풍력발전이 효율적이지 못하나 부산의 경우는 다른 내륙도시인 광주에 비해 연평균 풍력에너지 밀도가 최대 79% 정도 높게 나타나고 있다(Hwang et al., 2010). 소형풍력발전기 중에서도 수직형은 저속에서도 발전이 가능하기 때문에 건물의 환경을 고려한 수직형의 개발여부에 따라 광범위하게 적용될 수도 있

다. 또한 고층건물건설이 증가되고 있고 최근 국내 주거용 건축물은 과반수 이상이 공동주택이 차지하고 있음을 고려할 때 공동주택의 소형 풍력발전 도입을 적극적으로 검토해볼 수 있다(Hong, 2012)

그러므로 본 연구에서는 하이에너지 코리아의 소형풍력발전기 DS1500(1.5kw), DS300(300w)와 금풍에너지의 GWE-3KH를 대상으로 기상수치모의 자료를 이용하여 사용가능한 소형 풍력 발전량을 알아보고자 하였다. 이들 세 가지 소형풍력 발전기는 모두 수직축 풍력발전기로 바람의 방향과는 무관하면서 모든 방향의 바람에 대해 에너지 전환이 가능하기 때문에 수평축 풍력 발전기를 이용하여 에너지 생산량을 추정하는 것보다 훨씬 간단하게 추정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 수치모의된 풍속 자료를 이용하여 수직축 풍속 발전기의 풍속에 대한 성능곡선을 고려하여 풍력발전기의 에너지 생산량을 추정하였다. 각각의 풍력발전기의 성능출력곡선은 회사홈페이지에서 제공하고 있는 내용을 참고하였으며(Fig. 2), 에너지 생산량은 풍속의 구간별로 평균 에너지 값을 취하여 생산량을 추정하였다. 연간 발전전력량은 풍속 구간별 발전출력에 8760(h)을 곱하여 산정하였다.

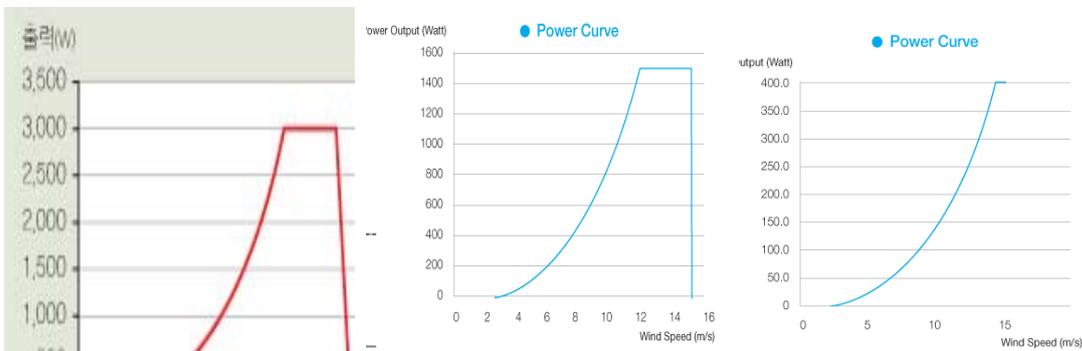
**Table 2.** General Specification of small wind system

Model No.	DS300	DS1500	GWE-3KH
rated capacity	400W	1.5kW	3kW
Rotor Diameter	1.06m	2.9m	2.7m
Cut-in wind speed	<3m/s	<3m/s	3m/s
Rated wind speed	15m/s	12m/s	18m/s

### 3. 연구결과

WRF 수치모의의 타당성을 살펴보기 위해 기온과 풍속에 대해 부산지역 기상대와 AWS에서 관측된 값과 수치모의 결과를 Willimott(1982)의 방법을 이용하여 각 관측소 지점별로 모델 수행기간이었던 2012년 1년에 대해 RMSE(Root-Mean-Square Error)와 IOA(Index Of Agreement)를 계산하고 이와 함께 R(Regression)도 함께 계산하여 Table 3에 나타내었으며 각 관측소 지점은 Fig. 2와 같다. Table 3에서 보는 바와 같이 기온의 경우는 IOA가 대부분 0.9이상으로 관측값과 수치모의 결과가 잘 일치하였다. 풍속의 경우에는 지역적으로 다소 차이가 나타났는데 전반적으로 연안지역에서의 수치모의 결과는 IOA가 0.5이상이었으나 도심내륙지점인 경우에는 0.4정도의 값을 보여주고 있었다. 그러나 경향성을 보여주는 R의 값은 전체적으로 평균 0.7이상의 값을 보여주었다. Fig. 3은 부산기상대지점의 관측값과 수치모의 값의 시계열 그림이다. 기온의 경우 전체적인 패턴이 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며 풍속의 경우에는 겨울철에 다소 과대 예측하는 경향이 있으나 대체로 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

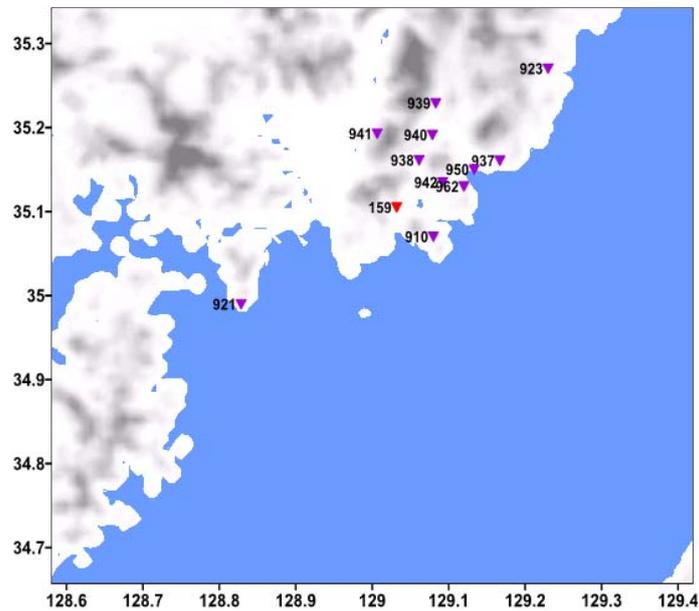
이상과 같이 수치모의 된 풍속 자료를 이용하여 풍속 발전기의 풍속에 대한 성능곡선을 고려하여 풍력발전기의 연간 에너지 생산량을 추정한 결과는 Fig. 4와 같다. 부산지역에 있어서는 소형풍력발전을 이용하는 경우 GWE-3KH모델의 경우에는 연간 발전량이 지역별로 1300kw에서 300kw의 다양한 분포를 보였는데 전반적으로 부산지역의 남서쪽 해안에서 가장



**Fig. 2.** Power generation curve of three aerogenerator (GWE-3KH, DS1500, DS300).

**Table 3.** Statistics calculated for 11 surface stations

	Temperature			wind speed		
	R	RMSE	IOA	R	RMSE	IOA
159	0.9489	1.2453	0.9369	0.7999	1.3908	0.6259
910	0.9442	1.4640	0.9431	0.7569	1.5385	0.5805
921	0.9397	2.4104	0.8816	0.8756	1.6790	0.7026
923	0.9364	1.1716	0.9403	0.5001	2.0955	0.3307
937	0.9319	1.7084	0.9329	0.6809	2.1957	0.4586
938	0.9431	1.5860	0.9318	0.6482	1.8659	0.4338
939	0.9297	1.3804	0.9350	0.6425	1.9412	0.4436
940	0.9324	1.3163	0.9382	0.7583	1.9284	0.4375
941	0.9361	1.4849	0.9309	0.7344	1.6524	0.5262
942	0.9435	2.4371	0.9300	0.6135	2.0031	0.4054
950	0.9427	2.4504	0.9293	0.7626	2.1745	0.5260



**Fig. 3.** Observation stations in Pusan.

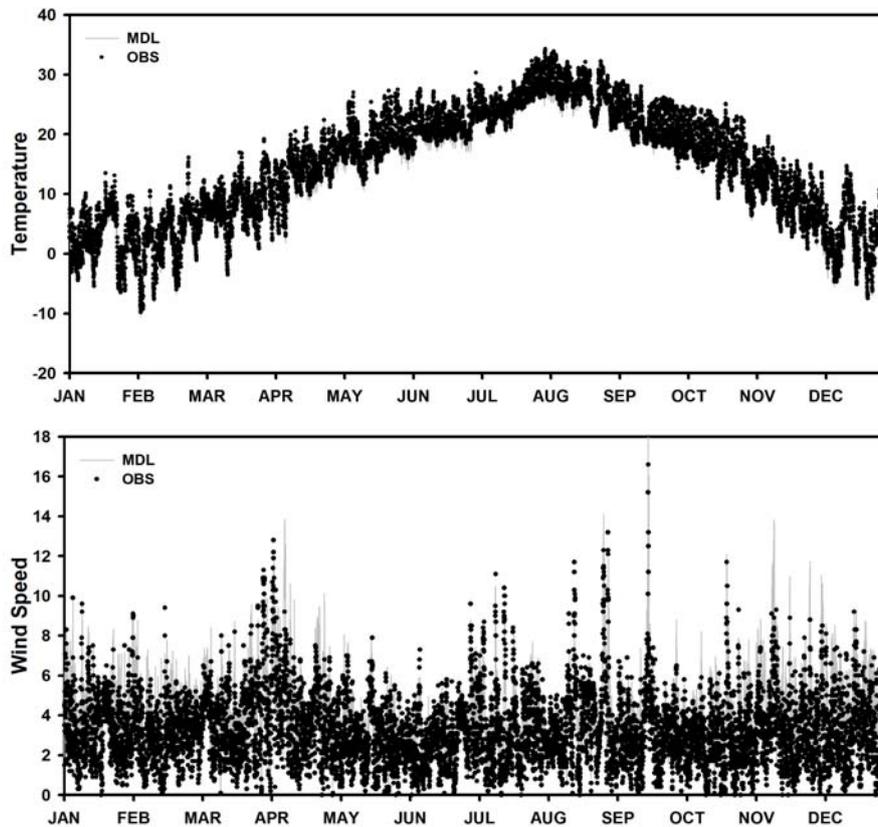


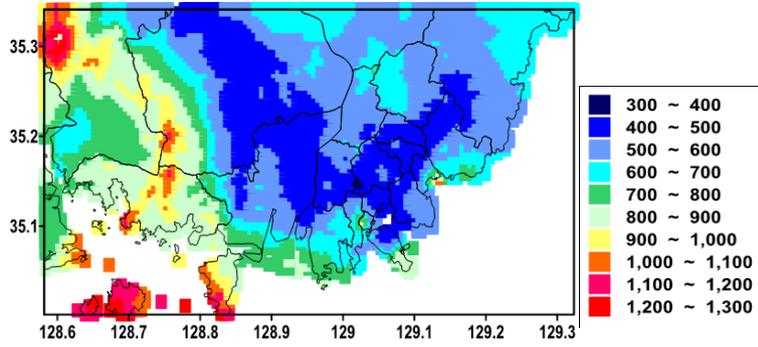
Fig. 4. Time-series of observed and modeled temperature and wind speed in 159 stations.

높게 나타났으며 낙동강 지류를 따라 강가에서 높은 발전량을 보여주었으며 지형의 영향으로 풍속이 약한 내륙지역에서는 전체적으로 낮은 발전량을 보여주고 있다. 최대 에너지 발전량은 남서 해안의 가덕도 주변에서 나타났다. DS1500모델의 경우에는 부산지역에서 최저 100에서 최고 600kw의 발전량을 보였으며 DS300 모델의 경우에는 최대 120kw의 발전량을 보였다.

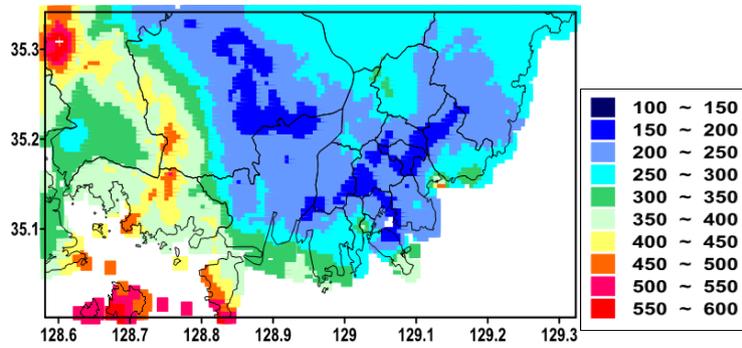
Fig. 5, Fig. 6, 그리고 Fig. 7에는 부산 지역을 대상으로 WRF 모형에서 예측된 바람을 이용하여 소형 풍력발전기 GWE-3KH, DS1500, DS300에서 생산한 것으로 예측되는 전력량의 지상 분포를 계절별로 각각 나타내었다. Fig. 8은 모델이 예측한 계절별 평균 풍속의 분포를 각각 나타내었다.

우선 풍속의 분포를 살펴보면 전체적으로 겨울이 가장 풍속이 높고 여름이 가장 낮게 예측되었다. 또한

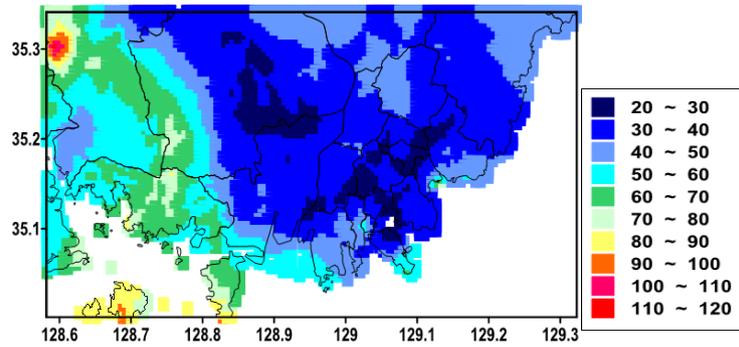
해양의 바람이 육지에 비해, 고도가 높을수록 높은 풍속을 가지는 경향이 보인다. 그리고 도메인의 서쪽이 동쪽에 비해 풍속이 높았다. 이러한 경향은 풍력 에너지 발전량에 그대로 드러나 풍력에너지는 남서쪽 해안이 가장 높으며, 지형의 영향으로 풍속이 가장 약해지는 내륙지역에서 가장 낮게 나타났다. 최대에너지 발전량은 남서해안의 가덕도 주변으로 나타났으며 낙동강 지류를 따라 높은 발전량이 예측되었다. 계절별 발전량 분포를 살펴보면 풍속이 강했던 겨울에 가장 발전량이 많고 여름이 가장 낮았다. 봄철과 겨울철에 낙동강 지류에서 상대적으로 높은 발전량이 나타난 것은 한반도 주변의 기단의 영향으로 주로 서풍이 발달하는 계절이기 때문인 것으로 추측되며 부산의 연평균 경향을 잘 나타내고 있는 것으로 사료된다.



< GWE-3KH >



< DS1500 >



< DS300 >

Fig. 5. Calculated generation power of wind energy with three aerogenerator.

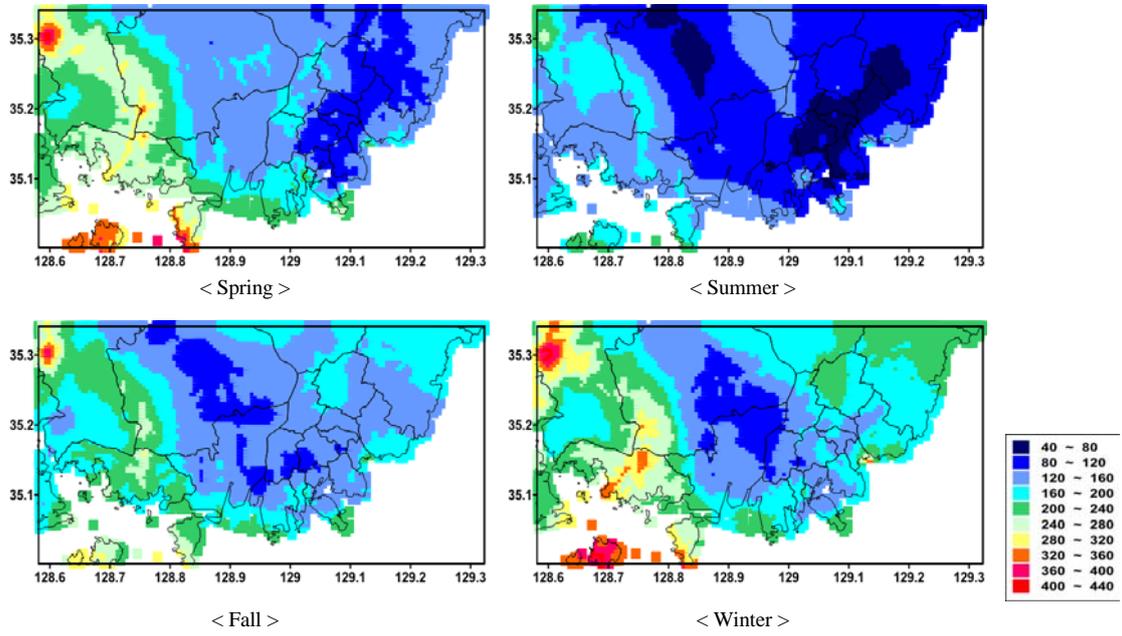


Fig. 6. Seasonal distribution of generation power of wind energy with GWE-3KH.

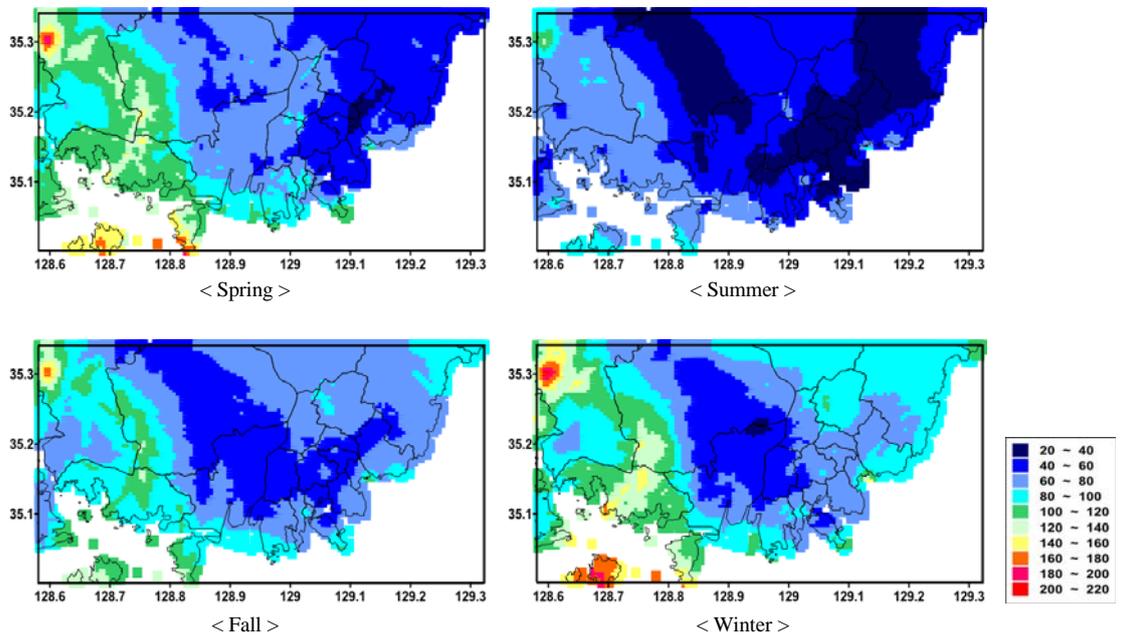


Fig. 7. Seasonal distribution of generation power of wind energy with DS1500.

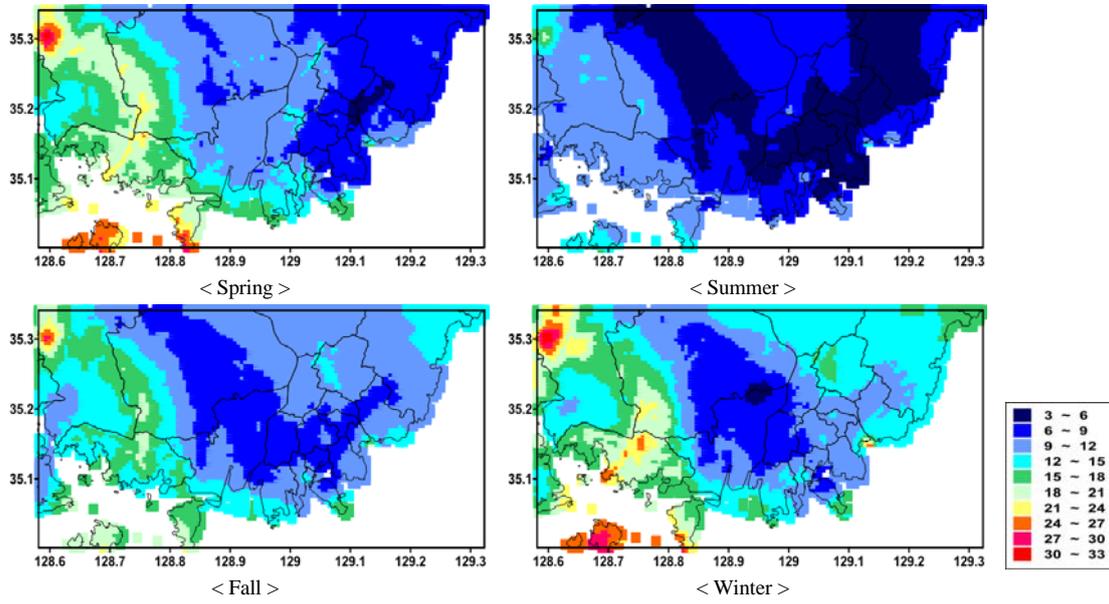


Fig. 8. Seasonal distribution of generation power of wind energy with DS300.

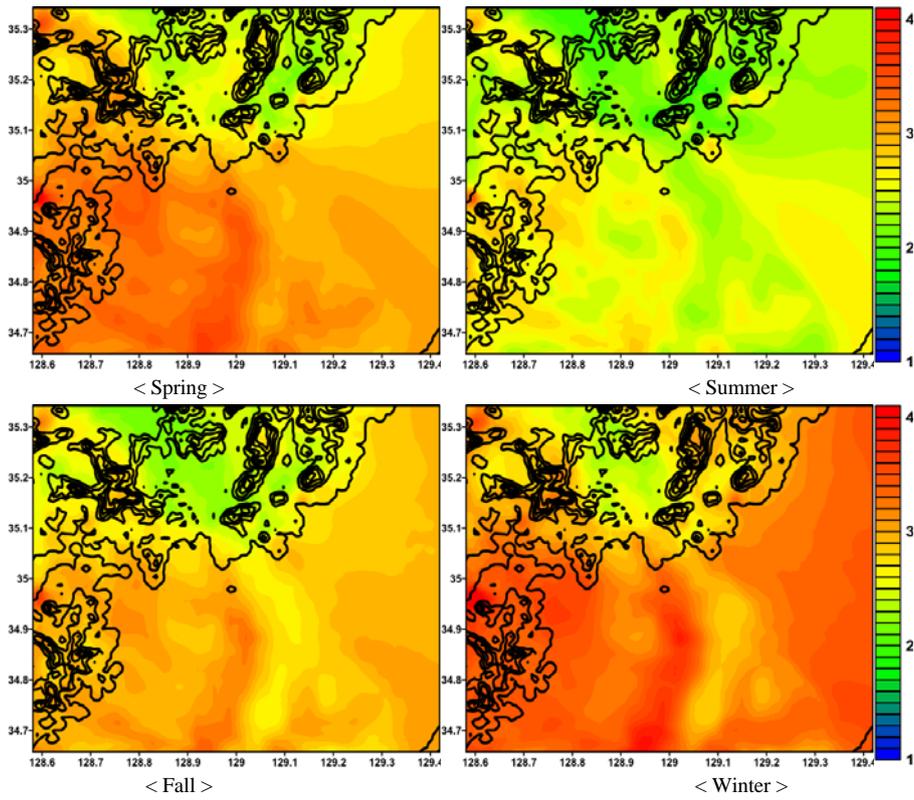


Fig. 9. Seasonal distribution of averaged wind speed.

발전기 규모에 따라서는 발전량의 차이가 두드러지게 나타났지만 지역별 발전량의 높고 낮은 경향은 유사한 것으로 예측되었다. 향후, 발전기의 제원에 따라 지역적으로 변할 수 있는 발전량의 차이를 정량적으로 계산할 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

풍력 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 정확한 바람의 예측이 가장 중요한 것이다. 그러나 부산에는 12개의 기상관측소만이 설치되어 있어 넓은 지역에서의 상세한 수평 단위의 풍향, 풍속을 계산하는데 무리가 있다. 또한, 유인관측소인 부산기상대 지점을 제외하고는 10m 높이의 AWS가 도심지 위주로 설치되어 있어 관측소 주변 지형지물의 영향을 받게 되므로 주변 지역을 대표하는 바람의 관측값을 얻기 힘들다. 이런 환경에서 건물 단위의 풍력 에너지 발전량을 정량적으로 예측할 수 있는 가장 효율적인 방법은 중규모 기상 모델을 이용하는 것이다.

본 연구에서는 기상 예보 및 현업에서 널리 쓰이고 있는 검증된 중규모 기상 모델인 WRF 모형을 이용하여 부산 지역을 대상으로 2012년 한 해 동안 500m 단위의 상세한 바람장을 예측하여 풍력 에너지 발전량을 계산하였다. 에너지 발전량을 직접 검증할 수는 없었지만, WRF 모형에 의한 기상 예측이 유의한 것으로 판단되며 부산 지역의 기상 특성을 잘 반영하고 있는 바람장을 얻을 수 있었으므로 유의한 에너지 발전량 예측이 가능할 것으로 사료된다. 풍력 에너지 발전량은 예측된 바람의 속도 분포에 따라 해안, 강변, 고지대 순으로 높은 에너지 발전량이 예측되었다.

이러한 풍력 에너지 발전량 예측 시스템을 활용하여 건설 및 발전 계획에 기초자료로 사용 될 수 있을 것으로 생각되며, 향후 모델링 시스템을 좀 더 발전시켜 지형고도 및 해발고도에 따라 에너지 발전량을 예측할 수 있도록 정량화 하고 토지이용도와 숲, 도심 캐노피를 고려한 모델링을 수행하여 좀 더 도시지역에서 유용하게 쓰일 수 있도록 하려는 노력이 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMIPA2013-12090)의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- Hong, W. P., Small wind power system for Green City, 27(1), 57-70.
- Hwang, J. W., You, K. P., Kim, H. Y., 2010, Comparison of Wind Energy Density Distribution Using Meteorological Data and the Weibull Parameters, 30(2), 54-64.
- Lee, D. Y., Jang, H. J., Park, J. C., 2010, CFD Simulation on the Application of Wind power system to Super High-rise Building, Proceedings of Architectural Institute of Korea Conferences, 30(1).
- Willmott, C. J., 1982, Some comments on the evaluation of model performance, Bulletin of the American Meteorological Society, 63, 1309-1313.
- Korea Wind Energy Association, 2013, <http://www.kweia.or.kr/>
- GeumPoong Energy Inc., 2013, <http://www.goldwind.co.kr/>
- Hi-energy Korea, 2013, <http://www.hi-energy.co.kr/>