

북한 지역에서의 30년 동안의 평균 바람 지도

서은경^{1,*} · 윤준희¹ · 박영산²

¹공주대학교 사범대학 지구과학교육과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

²서울대학교 기초과학연구원, 151-742, 서울시 관악구 관악로 599

A 30-year Average Wind Map in North Korea

Eun-Kyoung Seo^{1,*}, Jun-Hee Yun¹, and Young-San Park²

¹Department of Earth Science Education, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

²Research Institute of Basic Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

Abstract: To examine the wind energy potential of North Korea, climatological wind map was constructed using the 30-year hourly observations of wind speed and direction at 27 meteorological stations. This examination was based on the Weibull model, which represents the probability density distribution of wind speed. It was found that overall, high terrain (Geama Gowon) in the central-northern part and south-west coast (Hwanghae-do) of North Korea have the annual average wind speed which exceeds 4 m/s at 50 m altitude above ground. The wind speed >5 m/s is more persistent in spring, but less in summer. Amongst the meteorological stations, Changjin and Yangdok show the most persistent wind speed in time and strength.

Keywords: wind, North Korea, wind energy, Weibull distribution, wind power law

요약: 북한의 풍력발전 가능성을 조사하기 위한 첫 단계로 북한 지역에서의 30년 동안의 27개 지점의 지상관측자료 중 풍속과 풍향 자료를 이용하여 이 지역에서의 기후학적 바람 자원을 분석하였다. 바람자원 분석을 위해 풍속의 확률 밀도함수를 Weibull 함수로 가정하여 접근하였다. 지표로부터 50 m 고도에서 연중 평균 풍속이 4.0 m/s 이상인 지역은 대체적으로 개마고원 지역과 황해도 해안 지역이었다. 이 지역들은 비교적 바람 자원이 풍부한 것으로 나타났다. 풍속이 5 m/s 이상을 유지하는 지속시간이 가장 긴 계절은 봄이었고, 짧은 계절은 여름이었다. 관측 지점 중 장진과 양덕이 지속시간이 가장 길고 평균 풍속도 가장 큰 곳이었다.

주요어: 바람, 북한, 풍력, Weibull 분포, 바람지수식

서론

최근 지구온난화가 급속히 진행되면서 그 원인이 되는 온실기체의 배출을 줄이기 위해 화석연료를 대체하는 재생에너지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 재생에너지 중의 하나인 풍력에너지는 이미 세계적으로 70여 개 국에서 도입하고 있는 가장 광범위한 기술 기반을 가진 것으로 다른 신재생에너지 발전 기술보다 양적으로 급속하게 성장하고 있다. 이 처럼 풍력에너지가 대체에너지 중 가장 각광받고 있

는 이유는 바람 자원의 경우 무한히 재생 가능한 에너지로 활용의 극대화를 꾀할 수 있기 때문이다. 또한 풍력 발전은 투자 비용 면에서 원자력이나 화력 등에 비해 훨씬 효율적이기 때문이다. 정부는 풍력 발전을 선진국 수준의 공급 규모로 확장시킬 계획이며 (방형준, 2007; 지식경제부, 2008), 이러한 계획은 남한의 바람 분포에 대한 많은 연구와 연계되어 있다 (e.g., 김현구 외, 2005; 2006; 이은정 외, 2008; 김도우와 변희룡, 2008).

북한의 경우 2007년 교토의정서에 가입하면서 유엔 기후변화 협약에 따른 온실가스 배출 감축에 동참하였다. 풍력자원 연구를 위해 북한은 1978년 풍력 자원 조사단을 구성하여 북한 전 지역에 걸쳐 130개 지점에서 풍속 데이터 측정기를 설치하여 풍속 데이

*Corresponding author: ekseo@kongju.ac.kr

Tel: 82-41-850-8293

Fax: 82-41-850-8299

터를 수집해왔음을 보고하고 있다(이유진 외, 2007). 하지만 국내에서 북한의 바람자료를 획득하는데 있어서 많은 어려움이 있기 때문에 북한지역의 바람장에 대한 연구는 아직 매우 미약한 형편이다. 남북기술 교류 확대와 미래 에너지자원 확보 측면에서 북한지역의 풍력자원에 대한 연구는 그 의미가 크다 하겠다.

일반적으로 바람은 지형 조건과 기후 특성에 영향을 받는데, 특히 북한지역의 뚜렷한 사계절, 국토면적 80%의 산지, 반도라는 지형적인 특성 등으로 인하여 북한의 국지적 풍계를 예측하기는 매우 힘든 상황이다. 따라서 풍력과 같은 바람 환경에 민감한 사업을 수행함에 있어서 대상 지역 내 특정 지점을 단기간 관측한 기상자료를 이용할 경우, 심각한 오류가 발생할 수 있게 된다. 그러므로 풍력에너지 잠재량과 그 특성을 평가하기 위해서는 비교적 넓은 지역의 바람 환경에 대한 신뢰성 있는 분석이 선행되어야 한다. 한편 남한에 비해 북한이 풍력발전을 하기에 좋은 바람(15 m/s 정도)을 가진 곳이 많은 것으로 알려져 있으며(e.g., 강양구, 2007), 수치바람모의 자료를 이용하여 한반도에서의 저해상도 국가바람지도를 구축한 연구(김현구 외, 2006)가 있어 왔다. 하지만 아직까지 관측 자료를 이용한 북한 지역의 풍력 분석이 국내에 소개된 적이 없다.

따라서 본 연구는 북한의 풍력발전 가능성을 확인하기 위한 첫 단계로 북한 지역에서의 30년 동안의 27개 지상관측지점자료 중 풍속과 풍향 자료를 근거로 북한지역에서의 바람 자원을 분석하고자 한다. 이를 통해 북한 지역에서의 바람장과 풍력발전 가능성을 조사하고자 한다. 특히, 30년간의 바람 자료는 북한 지역에서의 신뢰성 있는 기후학적 풍력 지도를 산출할 수 있기에 충분한 기간으로 보여진다. 따라서 이 연구에서 산출된 풍력 지도는 북한 지역의 풍력 에너지의 유용성을 알아보는 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

자료 및 분석 방법

자료

풍력자원은 시간별 · 계절별 변동성이 큰 자원으로 매해 크게 다르게 변할 수 있기 때문에 어느 지역의 풍력 자원을 평가하기 위해서는 수 년 간에 걸쳐 측정된 풍속 자료를 바탕으로 분석되어야 한다(산업자

원부, 2007). 이 연구는 북한의 27개 관측소의 1978년 1월-2008년 12월까지의 30년간 3시간 간격, 10 m 고도의 풍속과 풍향의 자료를 이용하여 북한 지역의 바람장을 분석하였다. 이들 기상 관측소의 위도, 경도 및 고도에 관한 정보는 Table 1에 나타나있다. 북한 지역의 27개 관측지점은 북한의 9개의 각 도에 골고루 분포하고 있어(Fig. 1), 이 지역의 전체적인 풍속 특성을 파악하는데 있어서 충분할 것으로 보인다.

한편, 27개 관측소의 풍속 자료를 살펴본 결과 무풍인 경우가 예상외로 많았다. 어느 지점의 경우는 30년간의 지상 자료들 중 약 40%가 무풍으로 보고되었다. 비록 지상에서의 바람(10 m 고도)이 무풍일 지라도 50 m와 80 m에서의 바람은 무풍이 아닐 수 있기 때문에, 무풍이 많은 지상 자료를 바람지수식(wind power law)에 넣어 특정 고도에서의 풍속으로 외삽할 경우 실제 바람보다 과소평가될 수 있는 문제가 발생하게 된다. 따라서 이 문제를 잘 알려진 바람 풍속의 확률밀도함수로 해결하고자 한다. 특히 북한의 자료에 대해서는 양질의 검사를 수행할 수 없는 상황이지만, 30년간의 장기간의 자료를 사용함으로써 무작위 오차(random error)를 현저히 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

분석 방법

풍속의 고도 보정: 풍력자원에 대한 사전 조사의 경우 기술적, 경제적 제약 조건에 의해 풍력발전기의 실제 높이보다 낮은 높이에 기상탑을 설치해야 하는 경우가 대부분이다. 이러한 측정자료를 사용할 경우 실제 풍력발전기 높이에서의 풍속으로 외삽하여야 할 것이다. 따라서 이 연구에서 사용된 자료는 10 m 높이에서의 지상관측 자료이기 때문에 이 풍속을 발전기 고도에서의 풍속으로 보정해야 한다. 일반적으로 정상적인 대기 경계층 내에서 풍속에 대한 외삽은 다음과 같은 바람지수식을 이용한다.

$$\frac{V(h)}{V_o(h_o)} = \left(\frac{h}{h_o}\right)^\alpha \quad (1)$$

여기서 V 는 풍력발전기 높이에서의 풍속, V_o 는 관측 높이에서의 풍속, h 는 풍력발전기 높이, h_o 는 관측 높이, α 는 표면 거칠기와 관련된 인자이다. 일반적으로 α 는 지표면 난류 경계층에서 0.143(=1/7)의 값을 갖는다(Weisser and Foxon, 2003). 이 값은 특히 주변의 지형이나 높이, 일사조건 등 여러 가지 주변 환

Table 1. Location information of meteorological stations in North Korea

Station number	station	Latitude(N)	Longitude(E)	Altitude (a.s.l.)
47003	SENBONG	42° 19'	130° 24'	2 m
47005	SAMJIYON	41° 49'	128° 19'	1400 m
47008	CHONGJIN	41° 47'	129° 49'	42 m
47014	CHUNGGANG	41° 47'	126° 53'	331 m
47016	HYESAN	41° 24'	128° 10'	700 m
47020	KANGGYE	40° 58'	126° 36'	305 m
47022	PUNGSAN	40° 49'	128° 09'	1200 m
47025	KIMCHAEK	40° 40'	129° 12'	19 m
47028	SUPUNG	40° 27'	124° 56'	82 m
47031	CHANGJIN	40° 22'	127° 15'	1100 m
47035	SINUJU	40° 06'	124° 23'	6 m
47037	KUSONG	39° 59'	125° 15'	101 m
47039	HUICHON	40° 10'	126° 15'	153 m
47041	HAMHEUNG	39° 56'	127° 33'	40 m
47046	SINPO	40° 02'	128° 11'	15 m
47050	ANJU	39° 37'	125° 39'	34 m
47052	YANGDOK	39° 10'	126° 50'	278 m
47055	WONSAN	39° 11'	127° 26'	35 m
47058	PYONGYANG	39° 02'	125° 47'	36 m
47060	NAMPO	38° 43'	125° 22'	47 m
47061	CHANGJON	38° 44'	128° 11'	34 m
47065	SARIWON	38° 31'	125° 46'	52 m
47067	SINGYE	38° 30'	126° 32'	101 m
47068	RYONGYON	38° 12'	124° 53'	5 m
47069	HAEJU	38° 02'	125° 42'	79 m
47070	KAESONG	37° 58'	126° 34'	72 m
47075	PYONGGANG	38° 24'	127° 18'	371 m

경요소에 따라 변화한다(e.g., 김건훈 외, 2002). 한편 바람지수식을 이용하여 지표 바람을 외삽할 경우 50 m 고도에서 관측값과의 오차는 4% 내외인 것으로 알려져 있다(Khan and Iqbal, 2004). 이 연구에서는 각 관측소의 거칠기에 따른 α 값을 사용하고자 한다. 이를 위해 가장 오차가 적고 보정이 용이한 수정 지수모델(modified power law model)을 이용하여 아래 관계식에 의해 관측 높이와 보정 높이와의 풍속 관계를 설정하여 고도 50 m와 80 m에서의 풍속을 구하였다(e.g., 김건훈 외, 2002).

$$\alpha = a + b \ln V_o \quad (2)$$

여기서 계수 a 와 b 는 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$a = \frac{1}{\ln\left(\frac{h_g}{Z_o}\right)} + \frac{0.088}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{h_o}{10}\right)} \quad (3)$$

$$b = \frac{-0.088}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{h_o}{10}\right)} \quad (4)$$

여기서, $h_g = \sqrt{h \cdot h_o}$ 는 기하학적 평균 높이(m)이며, Z_o 는 주변지형의 거칠기 정도(roughness length)를 나타내는 주변 지형변화 요소를 나타낸다. 실측된 주변의 지형을 충분히 고려하여 각 지형조건 변화에 따른 거칠기 값을 활용하여 지수 α 를 보정하게 된다. Z_o 의 값이 증가하면 주변 지형의 거칠기가 증가하는 것을 의미하고, Z_o 값이 감소하면 거칠기가 감소하는 것을 의미한다. USGS(United States Geological Survey)의 32개 거칠기 길이 분류표를 사용하여, 북한지역에서 지면 거칠기 길이의 분포를 얻을 수 있다(Fig. 2). USGS의 32개 분류에 따른 지면 거칠기 길이는 기상청 풍력자원지도(기상청, 2007)에서 찾을 수 있다.



Fig. 1. Locations of 27 observational stations in North Korea.

Weibull 함수: 바람은 충분한 기간 동안의 관측한 자료가 아닐 경우 샘플링 문제로 인해 그 자료를 신뢰하기 어렵다. 한편, 한 장소에서 풍속의 특성은 반복하는 특성을 가진 것으로 알려져 있으므로, 어느 지역에서 풍속의 단계별 빈도에 대한 확률인 풍속의 확률밀도함수(Probability density function)를 알고 있다면 특정 풍속에 대한 풍속 확률을 예상할 수 있을 것이다(Celik, 2003). 일반적으로, 풍속의 확률밀도함수는 Weibull함수로 잘 표현할 수 있는 것으로 알려져 있다(e.g., 박경호 외, 1994; Celik, 2003). Celik (2003)의 연구에 의하면 실제 관측한 바람 자료를 이용한 확률밀도함수와 Weibull 분포를 이용한 풍력에너지밀도 사이의 오차는 가장 클 경우가 11%이며, 대부분의 오차는 그 미만임을 보고하고 있다.

Weibull 함수는 2개의 매개변수로 표현되며, 비교적 간단하고 정확도가 커서 대부분의 풍속특성의 예측에 이용되고 있다. 하지만 풍속이 매우 작은 경우에 대한 확률은 정확히 표현하지 못하는 한계를 가지고 있다. Weibull 함수를 보면 풍속이 0 m/s인 곳에서의 확률밀도는 0이다. 따라서 무풍이 많은 북한의 관측자료의 확률밀도함수는 풍속이 0 m/s 근처에서 Weibull 함수와 상당히 다름을 알 수 있다. 북한의 자료에 대해서는 양질의 검사를 알아볼 수 없는 상황 이어서, 이 연구는 무풍을 제외한 풍속의 확률밀도함수를 Weibull 함수로 표현할 것이다. 따라서 북한의

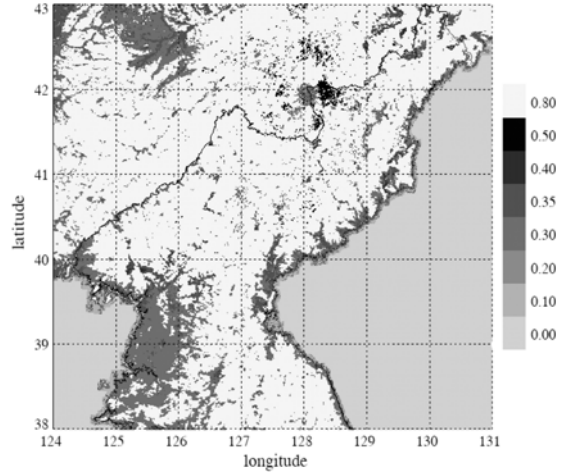


Fig. 2. Spatial distribution of surface roughness length (m).

무풍 자료를 제외한 관측 바람자료의 확률밀도함수에 가장 잘 일치하는 Weibull 분포를 찾을 것이다. 풍속이 어느 특정 풍속(V)일 확률을 나타내는 Weibull 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$P(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \quad (5)$$

여기서 V 는 예상하는 풍속(m/s), C 는 연평균풍속에 비례하는 상수(Scale parameter), K 는 풍속의 편차의 크기를 나타내는 형상계수(Shape parameter)이다. C 와 K 에 관한 자세한 내용은 박경호 외(1994)에서 찾을 수 있다. 따라서 각 지역의 바람 특성에 따라 Weibull 함수의 C 와 K 가 달라지며, 그 함수의 형태가 다르게 나타난다. 김도우와 변희룡(2008)의 연구는 남한 각 지역 바람의 특성에 따른 Weibull 함수의 모습을 자세히 보여주고 있다. 평균풍속은 풍속 범위 전체 구간에서 Weibull 함수와 풍속의 곱을 적분함으로써 얻어질 수 있다.

전체적 바람장

이 절에서는 북한 지역에서의 풍속의 평균 분포와 주풍향을 연평균과 계절별로 분석하였으며, 특히 풍속이 5 m/s 이상인 지속시간을 계절별로 조사하였다.

풍속의 분포

연평균 풍속분포: 기존 연구에 따르면 연평균풍속이 약 5 m/s 이상일 경우 풍력자원 활용이 가능하며, 이

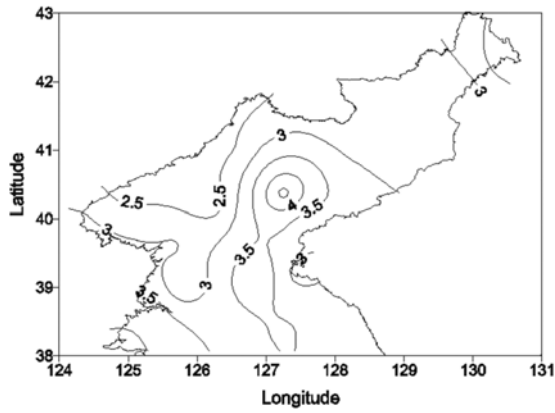


Fig. 3. Spatial distribution of annual mean wind speed (m/s) at 50 m altitude above ground.

기준으로 볼 때 남한 지역의 경우 해안, 도서, 고산 지대가 풍력 발전이 가능한 곳으로 알려져 있다(기상청, 2007). Fig. 3은 북한 지역의 27개 지점의 고도 50 m에서의 30년 풍속 자료를 평균한 바람의 공간적 분포이다. 북한의 전 지역에서의 연평균 풍속은 3.1 m/s에 달하며, 몇몇 지역은 풍력발전을 위해 비교적 양호한 풍속 조건을 보이고 있다. 전체적으로 해안

주변과 개마고원에서 풍속이 높고, 그 밖의 내륙 지역에서는 상대적으로 낮게 분포하고 있다. 내륙 지역에서 풍속이 낮은 것은 풍속 자체가 낮을 수도 있지만, 내륙 지역의 복잡 지형으로 인해 관측 지점의 대표성의 문제일 수도 있다. 즉, 관측된 풍속이 도심에 위치해 있거나 근처 방해물들이 많아 실제 풍속보다 낮게 측정될 가능성이 있기 때문이다. 따라서 이러한 복잡한 지형에서는 좀 더 조밀한 관측망을 이용하여 장기간 관측할 필요가 있다.

계절별 평균 풍속분포: 고도 50 m에서 각 계절별 북한 지역에서의 바람의 분포를 Fig. 4에 나타냈다. 여름과 겨울 사이에 풍속의 뚜렷한 계절적 변화를 보이고 있다. 각 계절별 전체적인 풍속 분포는 연평균 풍속 분포와 비슷하나, 평균 풍속의 크기는 계절별 변화를 보임을 알 수 있다. 북한 지역의 27개 관측지점에서의 고도 10, 50, 80 m에서 연 평균 또는 계절별 평균 풍속을 보여주고 있다(Table 2). 고도 50 m에서 계절별 평균 풍속은 봄, 여름, 가을, 겨울에 각각 3.5, 2.8, 3.0, 3.3 m/s로 나타났다. 여름에 5 m/s 이상의 풍속이 부는 확률이 13.6%로 18.5%인 겨울

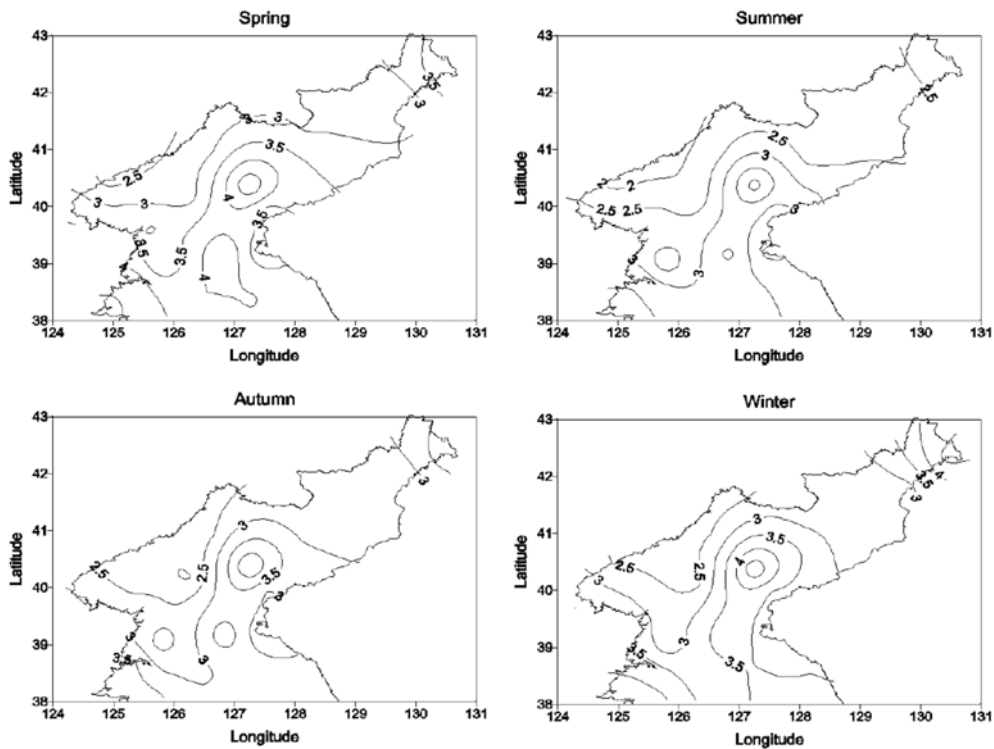


Fig. 4. Spatial distribution of seasonal mean wind speed (m/s) at 50 m altitude above ground.

Table 2. Annual mean wind speed (m/s) at 10 m, 50 m and 80 m, and seasonal mean wind speed (m/s) at 50 m

Station	10 m	50 m	80 m	Seasonal mean wind speed at 50 m altitude above ground.			
				Spring	Summer	Fall	Winter
SENBONG	2.8	3.8	4.1	3.9	3.0	3.7	4.6
SAMJIYON	1.7	2.6	2.8	2.8	2.3	2.6	2.8
CHONGJIN	1.7	2.5	2.8	2.6	2.1	2.5	2.9
CHUNGGANG	1.4	2.3	2.6	2.7	2.1	2.4	2.2
HYESAN	1.7	2.5	2.8	2.9	2.1	2.6	2.6
KANGGYE	1.7	2.5	2.8	2.9	2.2	2.4	2.6
PUNGSAN	2.1	3.0	3.3	3.5	2.4	3.0	3.3
KIMCHAEK	2.0	2.9	3.1	3.3	2.6	2.9	2.6
SUPUNG	1.5	2.2	2.5	2.3	1.8	2.3	2.5
CHANGJIN	3.5	4.7	5.0	5.0	4.3	4.6	5.0
SINUJU	2.2	3.0	3.2	3.2	2.5	3.0	3.3
KUSONG	1.8	2.7	3.0	3.1	2.5	2.4	2.9
HUICHON	1.5	2.3	2.5	2.8	2.1	2.0	2.2
HAMHEUNG	2.2	3.1	3.4	3.3	2.8	3.0	3.4
SINPO	2.4	3.3	3.6	3.7	3.2	3.3	3.2
ANJU	2.2	3.1	3.3	3.6	3.0	2.8	3.0
YANGDOK	2.6	4.0	4.4	4.5	3.6	3.9	4.0
WONSAN	1.9	2.8	3.1	3.1	2.4	2.6	3.2
PYONGYANG	1.7	2.5	2.8	3.0	2.1	2.2	2.7
NAMPO	2.7	3.7	4.0	4.3	3.4	3.5	3.8
CHANGJON	2.3	3.2	3.5	3.8	2.5	3.1	3.5
SARIWON	2.5	3.5	3.7	3.9	3.2	3.1	3.7
SINGYE	2.3	3.3	3.6	4.0	3.1	2.9	3.1
RYONGYON	3.0	4.1	4.4	4.6	3.7	3.8	4.2
HAEJU	2.8	3.8	4.2	4.1	3.5	3.7	4.2
KAESONG	2.4	3.3	3.6	3.7	3.2	3.2	3.4
PYONGGANG	2.5	3.5	3.8	4.0	3.2	3.4	3.6

에 비해 약 4.9% 가량 작게 나타났다. 또한 봄에는 23.8%로 겨울보다 5% 가량 높게 나타났다. 즉, 봄이 높은 평균 풍속과 함께 양질의 바람이 많이 부는 계절로 나타났다. 따라서 풍력 자원 입장에서 볼 때 겨울보다 봄이 좋은 계절임을 알 수 있었다. 이 연구 결과는 이유진 외(2007)의 보고서에 있는 북한의 발표자료와 매우 유사하다.

풍향의 분포

30년 동안의 지상 관측 자료를 바탕으로 볼 때, 봄에는 해안지역을 제외한 내륙에서는 북서풍계열의 바람이 주풍이었다. 해산과 강계는 사계절 동안의 주풍은 북풍이었으며, 그 밖의 지역에서 여름 동안 주풍은 조금씩 다르기는 하지만 남풍계열의 바람이었다.

봄철 동안의 주풍은 북서풍과 남풍계열이 대등하게 나타나고 있으며, 여름철은 남동풍과 남풍계열의 바람이 주풍으로 나타났다. 가을의 주풍은 대체적으로 북서풍의 풍향을 나타내는 경우가 많았다. 겨울에는 많

은 지역이 북서풍을 나타내었으나, 삼지연, 중강, 희천, 평강 지역은 주로 남풍계열의 바람이 우세하였다.

바람 지속시간의 분포

풍력발전이 가능할 것으로 예상되는 지역의 바람의 양질을 평가하기 위하여 보통 80 m 고도에서 풍속 5 m/s 이상의 바람이 연 3000시간 이상 부는 지점을 한다(기상청, 2007). 따라서 80 m 고도에서 이를 고려하여 풍속이 5 m/s 이상인 지속시간을 각 관측소 별로 계산하였다. 가장 긴 지속시간을 가진 계절은 봄이었고, 짧은 계절은 여름이었다(Table 3). 이 기준으로 볼 때 장진과 양덕이 풍력단지 건설에 가장 적합한 지역으로 보인다. 가장 오랜 시간 동안 지속적으로 부는 관측지점은 장진으로, 이 지역은 평균 풍속이 가장 높았다. 연중 가장 짧은 지속시간을 지닌 관측 지점은 중강으로, 이 관측지점은 평균 풍속이 다른 관측 지점보다 비교적 낮게 나타났다.

Table 3. Seasonal mean persistent time (hour) of wind speed greater than 5 m/s at 80 m altitude above ground

Station	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
SENBONG	721.6	404.1	681.5	938.4	2745.6
SAMJIYON	379.3	216.2	281.9	283.6	1160.9
CHONGJIN	337.3	171.5	302.9	415.2	1226.8
CHUNGGANG	379.5	202.8	272.0	214.2	1068.5
HYESAN	429.2	176.5	313.2	304.6	1223.6
KANGGYE	402.7	184.2	215.5	267.8	1070.3
PUNGSAN	610.4	245.7	436.5	562.0	1854.5
KIMCHAEK	553.0	317.1	431.9	314.9	1616.9
SUPUNG	218.8	69.9	147.6	211.8	648.0
CHANGJIN	1070.5	857.2	959.2	1070.0	3956.9
SINULJU	488.2	231.9	388.9	528.0	1637.0
KUSONG	442.8	238.9	245.5	386.1	1313.3
HUICHON	398.4	171.7	165.6	233.5	969.1
HAMHEUNG	550.1	370.3	427.3	573.3	1921.1
SINPO	652.8	496.5	547.9	517.7	2215.0
ANJU	624.2	443.3	374.7	434.5	1876.6
YANGDOK	970.8	674.1	756.2	812.9	3214.0
WONSAN	485.3	233.2	316.7	497.6	1532.8
PYONGYANG	422.2	118.5	207.0	363.5	1111.2
NAMPO	858.0	562.2	609.7	694.2	2724.1
CHANGJON	694.9	285.1	466.3	602.5	2048.7
SARIWON	725.5	507.0	477.4	660.7	2370.7
SINGYE	769.3	463.8	398.8	474.6	2106.6
RYONGYON	987.7	662.9	707.4	832.0	3190.0
HAEJU	807.7	587.1	658.5	811.0	2864.3
KAESONG	653.5	503.0	505.7	566.3	2228.5
PYONGGANG	785.1	499.5	548.8	616.5	2450.0

5개 관측지점의 바람장

27개의 관측 지점 중에서 풍속이 높게 나타나며, 비교적 긴 지속시간(80m에서 풍속이 5 m/s 이상인 시간)을 가진 5개의 관측 지점(선봉, 장진, 양덕, 남포, 해주)을 선정하여, 각 지점별로 그 지역의 지형적 특성과 바람의 특성을 알아보려고 한다. 계절별 풍향의 빈도를 Fig. 5에 나타내었다.

선봉(47003)

선봉은 함경북도의 동북부에 위치하며 주변 지형은 대체로 낮은 산지를 이루고 있다. 이 지점의 북쪽과 서쪽에는 고도 500-1,000 m의 산들이 위치하며, 두만강 유역과 동해안으로 갈수록 고도가 낮아져 평야가 발달해 있다. 선봉의 연간 주풍향은 북서풍이라 할 수 있다(Fig. 5). 봄부터 남동풍이 발달하면서 여름에는 남동풍이 주풍으로 발달한 풍계를 갖고 있다. 가을과 겨울에는 북서풍계열의 바람이 탁월하다. 50 m 고도에서 평균 풍속은 약 3.8 m/s로 27개 지점 중 가

장 강한 바람을 갖는 곳 중의 하나이다(Table 2). 고도 80 m에서 5 m/s 이상의 풍속이 1년 중 약 4 개월 동안 지속되는 곳으로, 풍력에너지 잠재력이 큰 곳으로 분석되었다.

장진(47031)

장진은 함경남도 서북부에 위치하며 주변 지형은 개마고원 지대로서 대부분의 지역이 험준한 고지대에 발달되어 있다. 장진의 주풍향은 여름은 남풍이나, 나머지 계절 동안은 북서풍이 탁월하게 발달되어 있다(Fig. 5). 평균 풍속은 고도 50 m에서의 풍속이 4.7 m/s로써 27개 지점 중 가장 강한 바람을 갖고 있으며, 연 중 고도 80 m에서 5 m/s 이상의 풍속을 유지하는 시간이 약 5.5 개월에 달하여, 풍력에너지 잠재력이 가장 큰 곳으로 분석 되었다(Tables 2 and 3). 특히 겨울과 봄에 평균 5.0 m/s의 높은 풍속을 나타냈으며, 여름에는 4.3 m/s로 다른 계절에 비해 낮은 풍속을 보이지만, 여름의 평균 풍속은 다른 관측 지점의 어느 계절보다도 높은 풍속을 나타냈다.

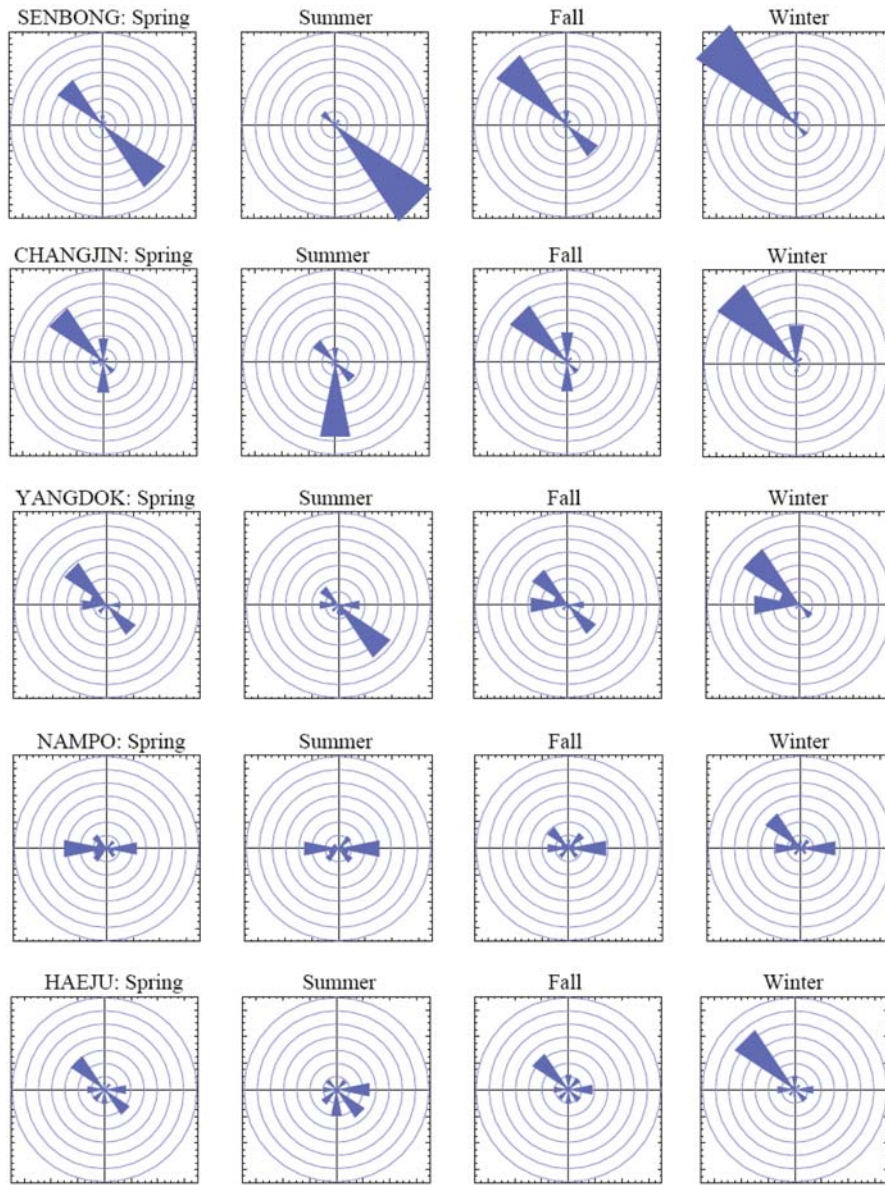


Fig. 5. Seasonal mean frequencies (%) of wind direction at Senbong, Changjin, Yangdok, Nampo, and Haeju from top. Each circle denotes 7.5% interval.

장진 지역이 27개 지점 중 강한 풍속과 풍력잠재력이 높은 이유는 이 관측지점의 고도가 1100 m의 고원에 위치하여 북쪽의 광활한 넓은 대륙에서 불어오는 강한 북서풍의 계절풍에 의한 바람이 있기 때문이다. 또한 서쪽에 남북으로 뻗어 있는 낭림산맥과 남쪽에 동서로 뻗은 부전령산맥으로 둘러싸여 있어 산맥이 벽의 역할을 하여 바람이 강하게 집중되는 경향이 있다. 따라서 이 지역이 큰 풍력에너지 자원을 잠재하고 있는 것으로 보인다.

양덕(47052)

양덕은 평안남도 동부에 위치하며 여름을 제외하고는 주풍향은 북서풍이지만 장진만큼 탁월한 주풍은 아니다(Fig. 5). 평균 풍속은 50 m 고도에서 연평균 풍속이 4.0 m/s로 강한 바람을 갖고 있으며, 봄에 평균 풍속이 4.5 m/s로 가장 높게 나타났다. 반면, 여름에는 3.6 m/s로 낮은 풍속을 나타냈다. 이 관측지점의 지형적 특성을 보면 높은 산과 험한 고개가 중첩되는 산악지대로서 동·남·북의 세 방면이 산맥으로 둘러

러싸여 고원상을 이루고 있다. 이로부터 고풍력의 잠재력을 설명할 수 있을 것이다.

남포(47060)

남포시는 평안남도 남서부의 대동강 하구에 자리잡고 있으며, 주풍향은 서풍과 동풍이며, 가을과 겨울에는 북풍계열의 바람이 점점 뚜렷이 나타난다(Fig. 5). 고도 50 m에서의 평균 풍속은 3.7 m/s로 상위 6개 지점 중 가장 약한 바람풍속을 갖고 있다. 봄에는 4.3 m/s로 가장 높은 풍속을 나타냈으며, 나머지 계절에는 평균 3.6 m/s의 풍속을 유지함을 볼 수 있다. 이 지역의 지형적 특성을 알아보면 남포시는 서해와 대동강의 영향을 받아 내륙지대 보다 겨울철에 따뜻하며, 여름철에 서늘한 해양성 기후로 좋은 바람의 영향권 내에 위치하고 있다. 한편 남포는 서부 평야 지대에 속하여 대부분의 지역이 구릉성 준평원과 대동강 유역의 퇴적평야로 되어 있는 것으로 보아 바람의 분산이 발생해 평균적인 풍속을 가짐을 생각해 볼 수 있다(국가지식포털 북한지역 정보넷, 2009).

해주(47069)

해주시는 황해도 남부에 위치하고 있으며, 주풍향은 여름을 제외하고 북서계열의 풍향이 탁월하다. 여름에는 남풍 및 남동계열의 바람의 빈도가 높게 나타났다(Fig. 5). 평균 풍속은 50 m 고도에서 3.8 m/s이며, 겨울과 봄에 비교적 높은 풍속(4.1-4.2 m/s)을 나타냈으며, 여름에는 3.5 m/s로 가장 낮은 풍속을 나타냈다. 기후는 바다에 면하여 있고, 북쪽에 놓인 산이 겨울철에 북서계열풍을 막아주므로 대체로 온난하다.

결 론

이 연구는 북한지역의 풍력 자원을 조사하기 위한 사전 연구로 30년간의 북한 지역의 27개 지상 관측소의 풍속(고도 10 m)을 수집하였다. 이 풍속을 고도 50 m로 환산하였으며, 풍속의 확률밀도함수를 Weibull 함수로 가정하여 분석하였다. 30년 동안의 지상 관측 자료를 바탕으로 볼 때, 대체적으로 황해도 해안지역과 개마고원지역에서 평균 풍속이 북한 전역에서의 평균 풍속 4.0 m/s 보다 큰 지역이 나타났다. 따라서, 해안지역에서 바람 자원이 풍부함을 알 수 있었다. 지역의 차이는 있으나, 봄철 동안의 주풍은 북서풍과 남풍계열이 대등하게 나타나고 있으며, 여름은 남풍

계열의 바람이 주풍으로 변하며, 가을과 겨울 동안은 북서풍 계열이 주된 바람이었다.

고도 80 m에서 풍속이 5 m/s 이상 지속되는 기간이 연간 30% 이상인 주요 6개 지점 중 장진을 제외한 나머지 다섯 곳은 해안 근처에 위치함을 알 수 있다. 북한 지역 내륙의 중심부인 장진에서 연간 평균풍속 4.7 m/s 이상으로 관측 되었다. 이 지역은 개마고원 일대로 낭림산맥과 함경산맥의 두 줄기가 만나는 곳으로 산맥에 의해 뒤쪽이 막혀있어 바람이 집중되어 높은 풍속을 나타낸 것으로 보인다. 또한 이 지역은 고원지대에 위치하여 북쪽에서 고도 1 km 이상에서 강하게 불어오는 북서풍의 영향으로 풍속이 높게 나타나는 것으로 보인다.

이 연구에서 사용한 관측자료는 단순히 지상의 풍속과 풍력만으로 분석한 것이므로 몇 가지 제약성을 가지고 있어 추후 보강이 필요하다. 관측지점의 지리적 위치나 주변의 환경에 따라 바람장의 변화가 크게 달라질 수 있으므로, 북한의 지형적인 요인을 고려한 정확한 실측을 통해 정확도를 높이는 풍력 자원 조사가 뒷받침 되어야 한다. 북한지역의 고층기상 자료에 대한 제한된 정보로 직접적인 오차에 대한 추정에는 한계가 있지만, 이 연구의 가치는 30년간의 바람 자료를 이용하였기 때문에 북한 지역에서의 바람장을 살펴보는 데 중요한 정성적 자료로 쓰여질 수 있으리라 본다. 또한, 이 자료를 바탕으로 풍력에너지 발전의 후보지 선정에 유용하게 활용되기를 기대하며, 더 나아가 두 나라간에 에너지 교류가 활발히 이루어지기를 바란다.

사 사

이 연구에서 사용한 북한 지역의 지상관측자료는 기상청으로부터 제공되었습니다. 이 연구에 도움을 준 이영이 연구원에게 감사드립니다. 이 연구는 공주대학교 신입교수정착연구비(2008년)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강양구, 2007, 아톰의 시대에서 코난의 시대로. 프레시안북, 서울, 295 p.
국가지식포털 북한지역 정보넷, 2009, <http://www.cybernk.net/>(검색일: 2009.7.18)
기상청, 2007, 풍력자원지도 개발 연구 보고서. 기상청자료

- 관리서비스팀, 11-1360000-000355-14, 102 p.
- 김건훈, 경남호, 김은일, 이철형, 박완순, 김홍우, 주영철, 이동현, 유승덕, 2002, 국내 풍력자원 조사 및 풍력단지 사전 개발 연구. 한국에너지기술연구원, KIER-A24510, 303 p.
- 김도우, 변희룡, 2008, 한반도 바람자원의 시공간적 분포. 대기지, 18, 171-182.
- 김현구, 이화운, 정우식, 2005, 한반도 바람지도 구축에 관한 연구 I. 원격탐사자료를 이용한 해상풍력자원 평가. 한국대기환경학회지, 21, 63-72.
- 김현구, 장문석, 이화운, 김동혁, 최현정, 2006, 수치바람모의에 의한 저해상도 국가 바람지도의 구축. 한국태양에너지학회지, 26, 31-38.
- 박경호, 김건훈, 조덕기, 전홍석, 1994, 국내의 풍력자원 분포특성분석. 한국에너지공학회지, 3, 187-192.
- 방형준, 2007, 풍력발전기술의 현황과 전망. 한국태양에너지학회지, 6, 3-12.
- 산업자원부, 2007, 중대형 풍력발전 시스템의 성능평가 기반 및 기술기준 확보. 산업자원부, 2004-N-WD10-P-02, 392 p.
- 이유진, 이강준, 윤지훈, 장주영, 2007, 남북에너지 협력방안 연구-재생가능에너지를 중심으로. 국회사무처, 120 p.
- 이은정, 조일성, 허철운, 김태룡, 이동일, 김영신, 2008, 기상정보를 활용한 풍력자원지도 개발 연구. 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, 332-333.
- 지식경제부, 2008, 제1차 국가에너지기본계획(2008-2030). 제3차 국가 에너지위원회, 의안번호 제1호, 179 p.
- Celik, A.N., 2003, A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. Renewable Energy, 29, 593-604.
- Khan, M.J. and Iqbal, M.T., 2004, Wind energy resource map of Newfoundland. Renewable Energy, 29, 1211-1221.
- Weisser, D. and Foxon, T.J., 2003, Implications of seasonal and diurnal variations of wind velocity for power output estimation of a turbine: A case study of Grenada. International journal of Energy Research, 27, 1165-1179.

2009년 10월 19일 접수
 2009년 12월 2일 수정원고 접수
 2009년 12월 18일 채택