

해상풍력자원 예측을 위한 NCAR데이터 적용 타당성 연구

김병민*, 김현기*, 우재균*, 백인수**, 유능수**

*강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과(rhapsodist@kangwon.ac.kr),

*강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과(kimhk@kangwon.ac.kr),

**강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과(venimaru@kangwon.ac.kr),

***강원대학교 기계메카트로닉스공학과 조교수, 공학박사(paek@kangwon.ac.kr),

****강원대학교 기계메카트로닉스공학과 정교수, 공학박사(yooneso@kangwon.ac.kr)

Validation study of the NCAR reanalysis data for a offshore wind energy prediction

Kim, Byeong-min* Woo, Jae-kyoon* Kim, Hyeon-gi* Paek, In-su** Yoo, Neung-soo**

*Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering, Graduate School, Kangwon National University(rhapsodist@kangwon.ac.kr),

*Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering, Graduate School, Kangwon National University(kimhk@kangwon.ac.kr),

**Dept. of Power Plant, Dohwa Engineering CO.,LTD(jkwoo@kangwon.ac.kr),

***Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon National University, Assistant professor, Ph.D(paek@kangwon.ac.kr),

****Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon National University, Professor, Ph.D(yooneso@kangwon.ac.kr)

Abstract

Predictions of wind speed for six different near-shore sites were made using the NCAR (National Center for Atmospheric Research) wind data. The distances between the NCAR sites and prediction sites were varied between 40km and 150km. A well-known wind energy prediction program, WindPRO, was used. The prediction results were compared with the measured data from the AWS (Automated Weather Stations). Although the NCAR wind data were located far away from the AWS sites, the prediction errors were within 9 % for all the cases. In terms of sector-wise wind energy distributions, the predictions were fairly close to the measurements, and the error in predicting main wind direction was less than 30°. This proves that the NCAR wind data are very useful in roughly estimating wind energy in offshore or near-shore sites where offshore wind farm might be constructed in Korea.

Keywords : AWS(Automatic Weather Station), 해상풍력단지(Offshore wind farm), 재해석 데이터(NCAR, Reanalysis wind data)

투고일자 : 2011년 9월 5일, 심사일자 : 2011년 9월 6일, 게재확정일자 : 2012년 1월 26일
교신저자 : 유능수(yooneso@kangwon.ac.kr)

1. 서 론

오늘날 전 세계의 에너지 시장은 에너지사용 증가와 그에 따른 화석 에너지의 고갈로 인해 점차 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 또한 화석에너지의 경우 지구 온난화의 문제를 안고 있기 때문에 이산화탄소 배출 감소 방안이 효율적으로 대처할 수 있는 에너지 개발 및 보급에 세계 각국이 박차를 가하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 신재생 에너지기술로서 풍력발전 기술은 높은 효율과 내구성으로 세계적으로 각광받고 있다[1].

현재 우리나라의 경우도, 교토의정서에 의거한 제2차 의무 이행 기간 (2013~2017)중 온실가스 감축의무를 지게 될 전망이다기 때문에 친환경 에너지의 사용이 더욱 증가되고 있으며[2] 이에 따라 새로운 풍력발전단지가 활발히 조성되고 있다.

현재까지 국내에 조성된 풍력발전단지는 주로 육상에 조성되어 왔다 [3-5]. 하지만, 육상에서의 풍력발전을 위해서는 부지사용의 인허가, 소음, 그림자영향, 경관, 전파 등 거주 환경영향평가 및 민원 문제에 직면하게 된다 [6]. 이러한 여러 가지 문제점과 또한 육상에서의 풍력발전단지 건설 가능 지역이 한정되어 있는 문제로 국내의 풍력발전단지 건설은 점차 육상풍력발전에서 해상풍력발전으로 옮겨가고 있는 추세이며[7], 이는 세계적인 추세이기도 하다[8].

해상풍력발전단지의 건설에 있어서 풍력자원이 우수한 위치를 선정하기 위해서는 자원평가가 필수적이다. 해상에서의 정밀한 풍력자원을 평가하기 위해서는 해상에 기상관측 타워를 설치하여 적어도 1년 이상의 풍속 및 풍향에 대한 관측을 수행하고 그 데이터를 이용하여, 예측을 수행하여야 한다[9]. 하지만, 이는 육상에서의 기상관측에 비해 수배 이상의 설치비용과 유지비용을 필요로 한다. 국내

에는 최근 처음으로 1기의 해상관측타워가 설치되어 현재 수 개월간 풍황자료를 수집중이다 [10].

해상 기상관측 타워로부터의 풍황 자료가 없는 현재까지 해상에서의 풍력 자원평가를 위해 QuikSCAT 이나 NCEP/NCAR 재해석 데이터를 이용한 연구들이 수행되어 왔다 [11- 15]. 이런 위성 데이터를 이용한 연구는 대부분 중규모 해석 프로그램을 이용하여, 우리나라의 육상 및 해상의 넓은 영역에 대한 바람 자원분포를 예측하거나 [11-13], 기상학적 특성을 밝히는 연구가 대부분이며, 실제 해상 풍력발전단지 건설을 위한 마이크로사이팅에 적용 가능한지에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 NCAR (National Center for Atmospheric Research) 데이터와 Microscale 해석 프로그램을 이용하여 NCAR 재해석 데이터의 해상풍력 마이크로 사이팅 적용 가능성을 검토하고자 한다.

이를 위해, NCAR 데이터를 이용하여 우리나라 해안에 위치하고 있는 자동기상관측소(AWS) 6곳의 풍속을 예측하고, 그 결과를 자동기상관측소에서 측정된 풍속과 비교 분석함으로써 그 가능성을 검증하였다.

2. 실측자료 분석

NCAR(National Center for Atmospheric Research)데이터는 미국립 기상연구소에서 회수하며 약 200km에서 250km의 이격거리를 두고 세계 전역에 걸쳐 존재한다. 이중 우리나라의 해안/해상 지역에 적용가능한 해상 NCAR 데이터는 총 4곳이다.

본 연구를 위해, 국내 해안지역에 위치한 6지점 (Site A~F)에 설치된 자동기상관측소(AWS)의 위치와 각 지점의 풍황예측을 위해 사용된 최신근 해상 NCAR 재해석 데이터(NCAR 1-4)의 관측 위치가 그림 1에 제시되었다.

NCAR 1의 데이터는 Site A를 예측하기 위해 사용되었고, NCAR 2의 데이터는 Site B, NCAR 3의 데이터는 Site C, NCAR 4의 데이터는 Site D, Site E 그리고 Site F의 풍력자원을 예측하기 위해 사용되었다.

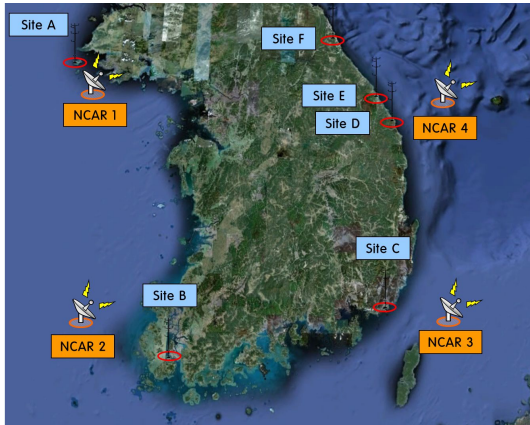


그림 1. The information of NCAR and AWS data

본 연구에 적용된 각 경우(Case)에 대한 설명은 표 1에 제시되어 있으며 NCAR 데이터와 AWS 데이터는 40km~150km의 이격거리를 보이고 있다.

표 1. Case description

Case	Reanalysis Data (NCAR, 42m)	Predicted Site (AWS, 10m)	Distance (km)
1	NCAR 1	Site A	40
2	NCAR 2	Site B	129
3	NCAR 3	Site C	85
4	NCAR 4	Site D	71
5		Site E	77
6		Site F	150

2.1 NCAR 데이터 분석

풍력자원평가를 위해 사용되는 데이터는 2초 또는 더 짧은 측정간격으로 Sampling하고, 그 데이터들을 10분 간격으로 평균하여 사용하는 것을 원칙으로 하고 있다. 하지만, NCAR 데이터의 경우 6시간 간격을 두고 데

이터를 회수하게 되어, 그 데이터가 바람이 갖고 있는 난류특성을 나타내기 어렵게 되는 문제점을 갖게 된다.

본 연구에 사용된 NCAR 데이터는 총 2005년 1월 1일부터 2009년 12월 31일까지 총 5년의 데이터가 이용 되었으며, 42m 높이의 데이터를 이용하였다.

표 2에서 알 수 있듯이, 본 연구에 적용된 NCAR 데이터의 평균풍속은 각각 5.12m/s, 5.75m/s, 5.42m/s 그리고 6.12m/s 이다.

표 2. Mean wind speed of each NCAR data

No	NCAR	wind speed (m/s)
1	NCAR 1	5.12
2	NCAR 2	5.75
3	NCAR 3	5.42
4	NCAR 4	6.12

각 지점에 대한 방향별 에너지 분포(%)는 그림 2와 같으며, 대체로 북북서, 서북서풍의 에너지가 많음을 알 수 있다.

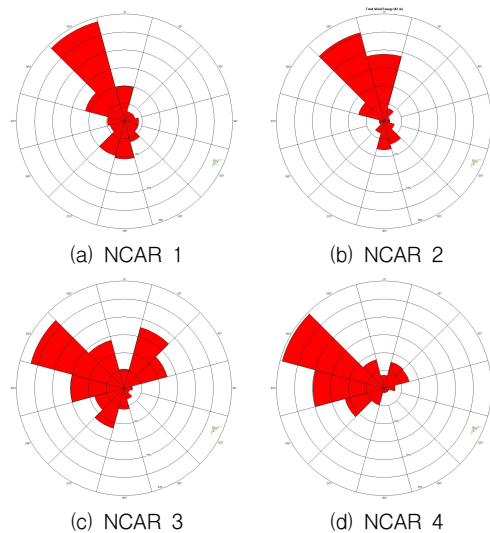


그림 2. The energy rose (%) of each NCAR data

2.2 자동기상관측소(AWS) 데이터 분석

본 연구에 사용된 자동기상관측소(AWS)의

데이터는 NCAR 데이터와 동기간인 5년 동안의 10m 높이에서 측정된 10분 평균 풍속, 풍향 데이터이며, 측정높이는 지면으로부터 10m 이다. 각 지점의 AWS 데이터의 5년 평균풍속이 표 3에 제시되었다. Site A와 D를 제외한 대부분의 경우 2m/s~3m/s 의 풍속을 보였다.

표 3. Measured wind speed of each Site

Site	AWS	wind speed (m/s)
A	백령도	4.93
B	화원	2.35
C	대연	1.90
D	원덕	2.52
E	동해	2.79
F	속초	2.53

각 지점에 대한 방향별 에너지 분포(%)는 그림 3과 같다.

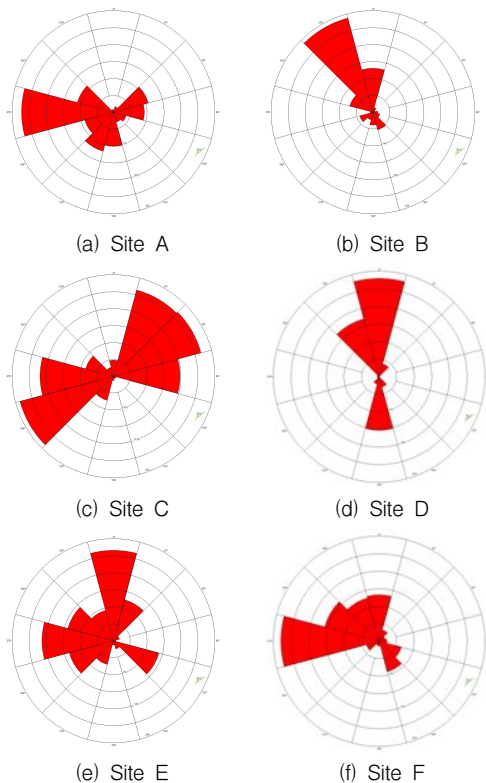


그림 3. The energy rose of each AWS data

3. 모델링(Modeling)

NCAR 데이터는 약 200km~250km의 이격거리를 두고 위치하고 있기 때문에 NCAR 데이터의 위치와 자동기상관측소(AWS)가 멀리 위치하게 된다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 육상에서의 풍력자원예측과는 달리 상당히 넓은 영역에서의 풍력자원예측이 이루어졌다. 이에 따른 1:50,000의 축척을 갖는 전자지도를 사용하였으며, 해석영역인 각 전자지도의 크기는 표 4에 제시되었다.

예측 지점인 AWS 지점의 경우 인접한 지형 및 지표 거칠기의 영향을 받기 때문에 이를 충분히 반영 하기위해 AWS 지점에서 가장 인접한 지도 경계까지의 거리를 10km 로 설정하였다.

표 4. Map Size

Case No.	Map size(km)
1	65×65
2	150×90
3	95×30
4	80×50
5	108×20
6	138×90

본 연구에서 총 6지점의 풍향예측을 위해 적용된 지형에 대한 거칠기 등급(Roughness class)값들은 표 5에 제시되었으며, 모두 공통적으로 적용되었다[16].

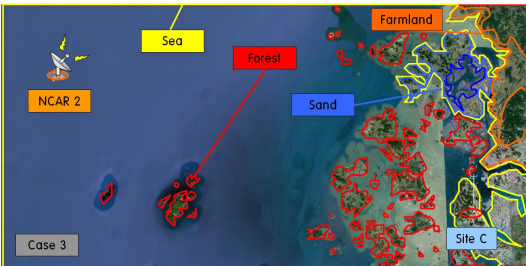
각각의 Case에 대한 모델링 결과는 그림 4와 같다.

표 5. Surface roughness class

Terrain description	Roughness class
Sea, River	0.0
Sandy beach, Mug flat	0.1
Farmland	1.0
Village	2.8
Forest	3.0
City	3.8



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



(e) Case 5



(f) Case 6

그림 4. Surface Roughness modeling

4. 해석 및 결과

NCAR 데이터를 이용한 6지점에 대한 풍향 예측은 전세계적으로 많은 사용자를 확보하고 있는 WindPRO (WAsP solver)를 이용하였다 [17]. WindPRO (WAsP solver)는 복잡지형의 경우 유동의 비선형 효과를 계산할 수 없기 때문에 예측오차가 크게 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다 [18]. 하지만, 본 연구의 경우 예측 지점이 평지와 유사한 해안에 위치하여 평지에서 높은 예측 정확도를 보이는 WindPRO (WAsP solver)를 적용하였다.

WindPRO (WAsP solver)를 이용한 6 지점의 예측 결과가 표 6에 제시되어 있다. 표에서 알 수 있듯이 예측오차는 약 9% 이하의 결과를 보여주었다. 이는 낮은 고도(10m)로 인해, Site A를 제외한 모든 지점의 풍속이 2.8 m/s 이하인 점과 풍속예측 오차는 저풍속인 경우 더 커질 수 있음을 감안할 때 매우 높은 예측 결과라고 판단된다. 또한 NCAR

데이터가 10분 평균 데이터가 아닌 6시간 간격의 데이터임에도 불구하고 이와 같은 높은 예측 정확도를 보이는 것은 해안지역의 경우 비교적 장애물이 적고, 해발고도가 높지 않아 그 지점의 바람의 특성이 인근 해상에서 6시간마다 회수된 NCAR 데이터에 충분히 반영이 되어있기 때문이라고 판단된다. 또한 이 결과로 미루어 볼 때 지표면의 영향이 더 낮아지게 되는 해상에서 그리고 실제 풍력발전기 허브 높이(80m 이상)에서의 풍속 예측 오차는 이 결과 보다 낮을 것으로 판단된다.

표 6. Predicted error for each case

Case No	Measured Wind Speed (m/s)	Predicted Wind Speed(m/s)	Error (%)
1	4.93	4.98	1.01
2	2.35	2.56	8.94
3	1.90	2.05	7.89
4	2.52	2.30	-8.73
5	2.79	2.90	3.94
6	2.53	2.63	3.95

그림 5는 각 예측 지점에서의 방위별 에너지 분포를 AWS 실측 데이터의 에너지 분포와 비교한 결과이다.

그림에서 알 수 있듯이 예측결과와 실측자료의 방위별 에너지분포를 비교한 결과 Case 2의 경우 예측자료와 실측자료의 에너지분포와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 하지만 다른 Case들의 경우 대체적으로 유사한 경향을 보여주었으나 예측결과의 주풍향이 실측자료의 주 풍향과 약 30° 이내의 오차를 보이는 것으로 나타났다. 이는 낮은 높이에서 측정된 실측자료가 주변 장애물들의 영향을 받았다는 점을 감안한다면 비교적 나쁘지 않은 결과로 판단된다. 따라서 해상 풍황탐의 풍속 및 풍향 데이터가 존재 치 않는 경우, 풍황탐의 설치 위치선정이나, 기초적인 해상 풍력자원 분석을 위해 NCAR 재해석 데이터의 적용 가능성을 보여준다고 판단된다.

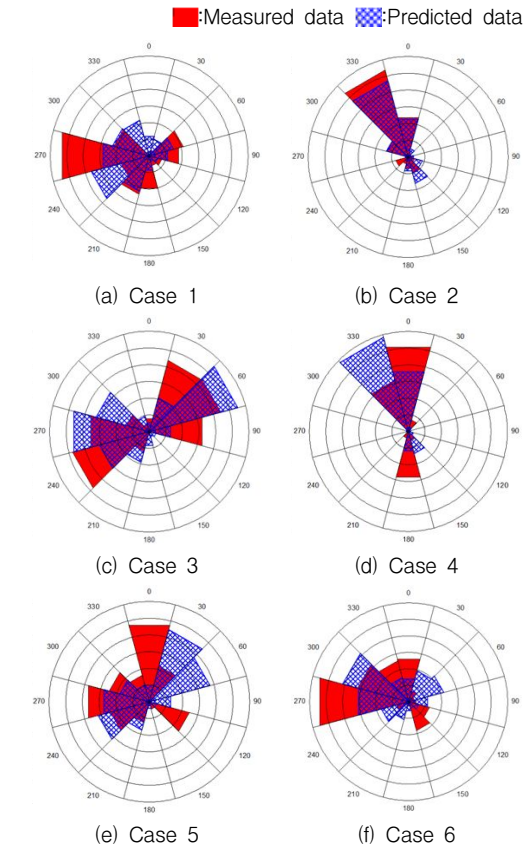


그림 5. The energy rose of each cases

5. 결 론

해상에서의 NCAR 데이터의 적용 타당성을 검토하기 위해 총 6지점에 대해 NCAR 데이터를 이용한 WindPRO 프로그램의 풍속 예측과 이에 대한 자동기상관측소 측정풍속과의 비교를 수행하였다. 비교 결과로 예측오차는 1.01%에서 8.94%로 비교적 높지 않은 예측오차를 보여주었다. 또한 방위별 에너지분포를 통한 주풍향 예측도 약 30° 이내의 오차를 보이고 있다. 본 연구의 결과로 볼 때 해안 지역이나, 해상의 풍력자원평가를 수행할 시, 해상 풍황탐의 풍속 및 풍향 데이터가 존재 치 않는 경우, 초기 풍황 분석을 위해 NCAR 데이터를 적용 가능하다고 판단된다. 하지만,

보다 일반적인 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 해안/해상 지역에 대한 적용 및 분석이 필요하다.

후 기

본 연구는 2011(3차년도)년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20093021020030)

본 연구의 선행연구 결과는 2010년 대한기계학회 추계학술대회와 2010년 한국풍력에너지학회 추계학술대회에서 발표되었습니다.

참 고 문 헌

1. 장문석, 방형준, 풍력발전기술의 현황과 전망, 환경과학회지, 18권 8호, 2009.
2. 홍금우, 이민희, 기후변화협약이 산업에 미치는 영향 및 대응방안, 한국비즈니스리뷰, 2008.
3. 박준택, 국내신재생에너지 보급현황 및 주요 설치사례(3)-풍력발전, 대한설비공학회 설비저널, 39권 4호, 2010.4.
4. 김일환, 허종철, 김건훈, 제주 행원 풍력발전단지의 운전현황, 전력전자학회지, 11권 1호, 2006.2.
5. 우재균, 김현기, 김병민, 백인수, 유능수, AWS 풍황데이터를 이용한 강원풍력발전단지 연간에너지발전량 예측, 한국태양에너지학회 논문집, 11권 2호, 2011.4.
6. 김현구, 최재우, 손정봉, 정우식, 이화운, 포항 호미곶 풍력발전 단지설계 및 전파간섭영향평가에 대한 연구, RIST, 17권 2호, 2003.
7. 이준신, 강금석, 박병목, 원영진, 김봉기, 안남성, 국내 해상풍력발전 현황 및 방향성 분석, 풍력에너지저널, 2권 1호, 2011.6.
8. Mehmet, Abdulkadir, Erdogan, Offshore

- wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, 2010.11.
9. Manwell, Rogers, McGowan, and Bailey, An offshore wind resource assessment study for New England, Renewable Energy, Vol.27 No.2, 2002.10.
10. 이재경, 김지영, 오기용, 유무성, 이준신, 해상기상탑 통합계측 시스템 설계 및 적용, 풍력에너지저널, 2권 1호, 2011.6.
11. 장재경, 유병민, 유기완, 이준신, QuikSCAT 위성 데이터를 이용한 한반도 주변의 해상 풍력자원 평가, 한국항공우주학회지, 37권 11호, 2009.11.
12. 경남호, 윤정은, 장문석, 장동순, 한반도 해역의 해상풍력자원 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 23권 2호, 2003.
13. 김현구, 이화운, 정우식, 한반도 바람지도 구축에 관한 연구 I. 원격탐사자료를 이용한 해상풍력자원 평가, 한국대기환경학회지, 21권 1호, 2005.1
14. 김유준, 이진화, 김병근, 한반도 주변에서 MODIS와 NCEP/NCAR 재분석 자료를 이용한 에어로졸과 구름의 연관성 분석, 한국대기환경학회지 27권 2호, 2011.1.
15. 이동규, NSCAT에 의한 한국근해의 해상풍, 대한원격탐사학회지, 14권 1호, 1998.
16. Claveri, Beran, Durante, Lange and Strack, Offshore wind resource assessment with a mesoscale model, WRF/MM5 Users' Workshop, 2005.
17. WindPRO 2.7 User Guide, EMD, 2010.
18. Bowen and Mortensen, WAsP prediction errors due to site orography, Risø National Laboratory, 2004.