

육·해상 풍력자원평가를 위한 ERA-Interim 재해석 데이터의 적용

변종기 · 고경남[†]

제주대학교 대학원 풍력공학부

Application of ERA-Interim Reanalysis Data for Onshore and Offshore Wind Resource Assessment

Byun Jong-Ki · Ko Kyung-Nam[†]

Faculty of Wind Energy Engineering, Graduate School, Jeju National University.

[†]Corresponding author: gnkor2@jejunu.ac.kr

Abstract

The investigation on reliability of ERA-Interim reanalysis wind data was conducted using wind data from the five met masts measured at inland and coastal areas, Jeju island. Shinchang, Handong, Udo, Susan and Cheongsoo sites were chosen for the met mast location. ERA-Interim reanalysis data at onshore and offshore twenty points over Jeju Island were analyzed for creating Wind Statistics using WindPRO software. Reliability of ERA-Interim reanalysis wind data was assessed by comparing the statistics from the met mast wind data with those predicted at the interest point using the Wind Statistics. The relative errors were calculated for annual average wind speed and annual energy production. In addition, the trend of the error was analyzed with distance from met mast. As a result, ERA-Interim reanalysis wind data was more suitable for offshore wind resource assessment than onshore.

Keywords: ERA-Interim 재해석 데이터(ERA-Interim Reanalysis Data), 윈드프로(WindPRO), 바람 데이터(Wind Data), 풍력 자원 평가(Wind Resource Assessment), 멱법칙(Power Law)

1. 서론

화석 연료의 과다 사용으로 인해 지구 온난화 현상 및 기상 이변이 발생한다고 알려져 있으며, 이를 해결하기 위해 세계 각국은 지속 가능한 신재생 에너지 개발에 박차를 가하고 있다. 그 중에서 높은 풍속과 민원의 우려가 적은 해상풍력발전단지 개발 및 관련 연구가 활발히 추진되고 있다. 최근 유럽에서는 해상풍력 균등화 발전원가를 기준으로 2012년과 2014년 사이에 2010년 대비 약 11% 원가를 절감하였으며, 2020년에 약 40% 원가 절감 목표를 달성할 수 있을 것으로 예상되어¹⁾, 세계 각국이 해상풍력발전단지 건설에 박차를 가하고 있다.

제주 지역에서도 국내 최초로 상업용 30MW 해상풍력발전단지가 제주도 한경면 연안 지역에 건설되고 있다²⁾. 하지만 제주특별자치도에서는 풍력발전사업 허가 및 지구 지정 조례를

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.37, No.2, pp.1-11, April 2017
<https://doi.org/10.7836/kSES.2017.37.2.001>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 01 December 2016

Revised: 24 March 2017

Accepted: 19 April 2017

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

제정하여 무분별한 풍력발전단지 개발을 방지하고 있다. 즉 해상풍력발전지구 내 발전설비용량은 100 MW 이상이 여야 하며, 제주 지역별 형평성 및 특수성을 고려하여 바닷가(지적공부선)에서 풍력발전기 설치 지점까지의 거리가 1 km 미만인 해역에는 풍력발전단지 설립을 제한하고 있다.³⁾ 이러한 제한에도 불구하고 제주 지역에서는 해상풍력 발전단지를 건설하기 위한 지구 지정 신청이 증가하고 있다.

바람을 에너지원으로 하는 풍력발전은 정확한 풍력자원평가가 사업 타당성의 성패를 결정하는 핵심 요소이다. 바람은 두 지점의 기압 차이에 의해 발생하는 대표적인 대기 운동으로 비 선형성이 강하고, 규모가 다른 운동 사이에 끊임없는 상호작용이 발생하므로, 정확한 예측을 하는 것이 쉽지 않다. 이러한 대기 운동을 예측하기 위하여 관측, 분석, 이해, 예측하는 과정을 거치게 되며 대기 관측에 있어서 중요한 기상 변수는 바람, 온도, 기압, 수분 등이 있다⁴⁾.

이에 미국, 유럽 등의 선진국은 다양한 방법으로 기상을 관측, 분석, 이해, 예측하여 신재생 에너지 시스템 구축에 활용하고 있다. 이렇게 활용 가능한 대표적인 기상 데이터에는 NASA가 제공하는 MERRA (Modern-Era Retrospective and Applications) 재해석 데이터와 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)가 제공하는 ERA-Interim (ECMWF ReAnalysis - Interim) 재해석 데이터가 있다. 국내외에서 이러한 재해석 데이터를 활용한 육·해상풍력자원평가에 관한 다양한 연구가 진행 중이며, 각 재해석 데이터에 대한 신뢰성 평가도 함께 실시되고 있다⁵⁻⁷⁾. 특히, 해상의 경우에는 NCAR와 MERRA 재해석 데이터를 기반으로 EMD사에서 개발한 풍력발전단지 설계 소프트웨어인 WindPRO로 예측한 값을 실측 기상 데이터 또는 연간발전량과 비교한 결과, 10% 이내의 오차를 나타냈다.^{8,9)}

ERA-Interim 재해석 데이터의 신뢰성에 대한 연구로서, 전 세계에 설치된 60개의 기상탑(Met-Mast)데이터와 여러 종류의 재해석 데이터의 상관 관계를 비교한 결과, 그중에서 ERA-Interim 재해석 데이터의 결정 계수가 가장 높았다고 보고된 바 있으며¹⁰⁾, 제주지역 해상 지점에 대한 MERRA와 ERA-Interim 재해석 데이터의 신뢰성 평가에서도 ERA-Interim 데이터가 보다 신뢰성이 높았다고 보고된 바 있다¹¹⁾. 그러나 여전히 더 많은 신뢰성 평가에 대한 연구가 필요하다. 이러한 연구 결과를 기반으로 ERA-Interim 데이터의 좀 더 정확한 신뢰성 분석 및 적용을 위해 풍력 자원 특성이 다른 육·해상 간의 신뢰성 차이 및 기상탑과 재해석 데이터 지점 간의 이격 거리에 따른 오차 분석 등의 깊이 있는 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 제주 지역에서 육·해상 풍력발전단지 건설을 위한 육·해상 풍력자원평가 방법으로 ERA-Interim 재해석 데이터의 적용 가능성을 논하고, 위에서 언급한 두 가지 관점에서 ERA-Interim 재해석 데이터의 신뢰성을 평가하고자 한다. 우선 ECMWF에서 제주도 주변 153개 지점의 10년간의 ERA-Interim 재해석 데이터를 취득하고, WindPRO에서 제공하는 WAsP 기반 선형 해석을 수행하였다.

다만 선형 해석을 통해 산악 지형의 풍력자원평가를 적용하는 것은 신중한 접근이 필요하다. 최근에 실시된 제주 산간에 위치한 풍력발전단지에 대한 WindPRO의 신뢰성 평가 결과, 비선형 해석 통과와 상대오차 차이가 높지 않은 것으로 나타났다¹²⁾. 이를 기반으로 제주도 해안가에 위치한 3개 지점(신창, 한동, 우도)과 육상에 위치한 2개 지

점(청수, 수산)에서 측정된 5개 기상탑 데이터와 해당 지점을 직사각형 격자로 둘러싼 동일 높이, 동시간대의 ERA-Interim 4개 지점 데이터를 기반으로 풍력자원을 예측하여 육·해상 간의 신뢰성 및 해당 데이터 간의 이격 거리에 따른 오차를 분석하였다.

2. ERA-Interim 재해석 데이터의 이해

2.1 기상 관측 및 재해석 데이터의 정의

기후 변화는 다양한 요인에 의해 발생하며, 동일 지역의 기후도 매년 달라지므로 해당 지역의 기후특성(기온, 기압, 공기밀도, 풍속, 파고, 습도 등)을 분석하기 위해서는 Fig. 1에서와 같이 지속적이고도 다양한 기상관측이 필요하다.

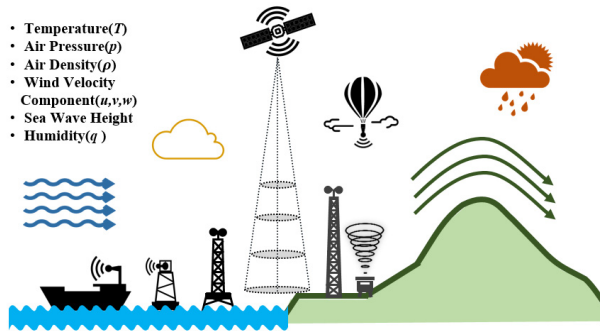


Fig. 1 Various methods to measure onshore and offshore wind resources

이러한 기상관측을 위한 장비로서 육상에서는 기상탑, 종관기상관측장비(ASOS), 방재기상관측장비(AWS) 등이 있으며 해상에서는 기상측정선박, 라디오존데(Radiosonde), 해양기상부이(BUOY) 등이 있다. 또한 필요시 해양에 많은 비용을 들여 구조물을 세우고 기상관측장비를 설치한 뒤 관측하기도 한다. 최근에는 기상위성을 사용하여 지구상의 매 시간마다 구름 상태, 분포, 변화를 정밀하게 파악하여 관련 데이터를 제공하고 그 외에도 해면 온도, 대기의 연직 온도, 수분 구조, 바람 및 수분 분포 등의 정량적 자료를 제공하고 있다⁴⁾.

이렇게 기상관측장비를 통해 관측한 데이터를 입력 값으로 하여 물리적인 수식에 기반을 둔 수치기상예측(Numerical Weather Prediction, NWP) 모델을 구동시켜 다시 분석한 것이 재해석 데이터이다. 이 중에서도 위성 기반의 재해석 데이터는 대류권 계면에서의 대기 순환을 위성에 장착된 각종 센서로 측정하여 다시 분석한 데이터이다.

2.2 ERA-Interim 재해석 데이터의 특성

ECMWF는 1979년부터 현재까지 약 40여 년간의 수치기상예측 모델 구동 결과를 6시간 간격으로 제공하고 있다. 과거에는 시기별로 ERA-15, ERA-40으로 제공하였고, 최근에는 ERA-Interim으로 통합 제공하고 있다.

ERA-Interim 재해석 데이터는 GRIB (기상형식 : Meteorological Format)과 NetCDF(자기기술형식 : Self-describing Format)로 나누어져 있으며, 약 4,600개 파라미터의 방대한 정보를 지구의 전 지역에 걸쳐 위·경도 기준으로 최소 0.125° × 0.125°, 최대 3° × 3° 간격으로 제공하고 있다. 특히 지상에서 10m 이하의 지표면 기후 특성을 재해석한 데이터는 Surface and Single Level, 10 m 이상의 지표면 위 영역은 Model 및 Pressure Level로 데이터를 제공한다. 이러한 ERA-Interim의 주요 특징 및 종류를 Table 1에 나타낸다¹³⁾.

Table 1 Properties of ERA-Interim reanalysis data provided by ECMWF

ERA-Interim reanalysis data		Description
Common Item	Period	1979-01-01 ~ Present
	Level	Model, Pressure, Surface
	Time	00:00, 06:00, 12:00, 18:00 (UTC)
	Area	0E to 358.875E, 90N to 90S
	Grid	0.125 × 0.125 Gaussian grid
	Forecast	00:00 UTC, 12:00 UTC ⁽¹⁾
Upper Air Parameters	Model	60 "full" model levels Height : 10 m ~ 64.56 km 1.5 km : middle stratosphere
	Pressure	37 pressure levels Interpolated data from model 1 ~ 1000 hPa
	Surface and Single Level	10m u,v wind speed Temperature(2 m, skin, dew) Cloud cover, Surf roughness Ocean-wave Etc : snow, vertical integrals for energy, mass, water and ozone budgets

3. 사이트 및 평가 방법

3.1 사이트 선정

Fig. 2에 기상탑 설치 지점인 제주도의 5개 지점(신창, 청수, 한동, 우도, 수산)을 나타낸다. 5개 지점 중에서 신창, 한동, 우도의 경우에는 해안가에 위치하여 해상풍력평가를 위한 사이트로 선정하였으며, 청수, 수산은 제주도 중 산간 지역에 위치하므로 육상풍력평가 사이트로 선정하였다. ERA-Interim 재해석 데이터는 각 기상탑 지점을 둘러싼 4개 지점을 선정, 취득하였고 시계방향으로 좌측 상단을 시작으로 E1, E2, E3, E4로 명명하였다.

(1) ECMWF에서는 재해석 데이터 외에 분석일 기준으로 10일간의 예측데이터(Forecast Data)를 하루 2회(00:00 UTC, 12:00 UTC) 추가 제공한다.

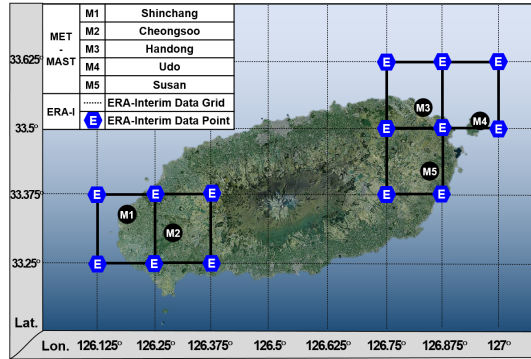


Fig. 2 Points of Met-mast and reanalysis data

각 데이터의 위치, 측정 높이, 기상탑과 재해석 데이터간의 이격 거리 및 데이터 수집 기간 등을 Table 2에 나타낸다. 기상탑 데이터의 측정 기간은 1년 ~ 2년이며, 이격 거리는 거리에 따른 예측 신뢰성을 평가하는데 활용되었다. 일반적으로 기상탑 측정 데이터는 10분 평균 데이터이지만, ERA-Interim 재해석 데이터가 6시간 간격의 데이터를 제공하므로, 동일한 시간 간격 해상도를 위해 기상탑 측정 데이터도 동 시간대의 6시간 간격 데이터만을 추출하여 사용하였다.

Table 2 Properties of Met-Mast and ERA-Interim data

Loc.	Loc. No	Lat, Lon	Offset (km)	6 Measurement	
				Height	Period
Shin chang	M1	33.30°N, 126.20°E	-	80 m	13.03.29 ~ 14.03.28 :1year
	E1	33.37°N, 126.12°E	5.2		
	E2	33.37°N, 126.25°E	8.8		
	E3	33.25°N, 126.25°E	12.6		
	E4	33.25°N, 126.12°E	10.8		
Cheongsso	M2	33.30°N, 126.30°E	-	60 m	07.01.01 ~ 07.12.31 :1year
	E1	33.37°N, 126.25°E	8.0		
	E2	33.37°N, 126.37°E	12.5		
	E3	33.25°N, 126.37°E	11.0		
	E4	33.25°N, 126.25°E	6.0		
Han dong	M3	33.50°N, 126.80°E	-	60 m	11.01.01 ~ 12.12.31 :2years
	E1	33.62°N, 126.75°E	12.2		
	E2	33.62°N, 126.87°E	9.8		
	E3	33.50°N, 126.87°E	5.6		
	E4	33.50°N, 126.75°E	8.9		
Udo	M4	33.50°N, 127.00°E	-	60 m	08.01.01 ~ 08.12.31 :1year
	E1	33.62°N, 126.87°E	15.2		
	E2	33.62°N, 127.00°E	14.0		
	E3	33.50°N, 127.00°E	4.0		
	E4	33.50°N, 126.87°E	7.4		
Susan	M5	33.40°N, 126.90°E	-	70 m	13.02.01 ~ 15.01.31 :2years
	E1	33.50°N, 126.75°E	10.5		
	E2	33.50°N, 126.87°E	5.1		
	E3	33.37°N, 126.87°E	9.3		
	E4	33.37°N, 126.75°E	13.0		

ERA-Interim 재해석 데이터 중에서 Model Level 데이터는 다양한 높이(30 m, 60 m, 100 m, 160 m 이상)에서의 풍속 데이터를 제공한다. 하지만 신뢰성 평가에 사용된 기상탑 데이터의 측정 높이와 동일한 풍속(V_z)을 구하기 위해 60 m와 100 m 풍속 데이터를 기반으로 해당 구간의 멱지수를 구한 다음, 이를 다음 식(1)과 같은 멱법칙¹⁴⁾에 적용하여 70 m, 80 m 높이 풍속으로 보정하였다.

$$V_z = V_{ref} (z/z_{ref})^\alpha \tag{1}$$

- V_z : z 높이에서의 풍속
- V_{ref} : 기준 높이에서의 풍속
- α : 멱지수

3.2 신뢰성 평가 방법

Fig. 3에 ERA-Interim 재해석 데이터의 신뢰성 평가 절차를 나타낸다. 사전 작업으로 제주도 지역의 ERA-Interim 및 기상탑 데이터를 취득하고, 기상탑 데이터 지점을 중심으로 동시간대, 동일 높이의 ERA-Interim 재해석 데이터를 가지고 WindPRO의 STATGEN 모듈을 구동시켜 해당 지점의 바람통계값(Wind Statistics)을 만든다. 분석 시 사용된 지표거칠기 모델은 WindPRO에서 온라인 데이터로 제공하는 300m grid를 가지는 “Global Land Cover Map (GlobCover 2009)” 모델을 적용하였으며, 지형모델의 경우에는 국토지리정보원에서 제공하는 1 : 50,000 수치지도를 상용 GIS 프로그램(Global Mapper)에 입력하고 필터링을 한 뒤 UTM-WGS84 좌표로 변환하여 사용하였다.

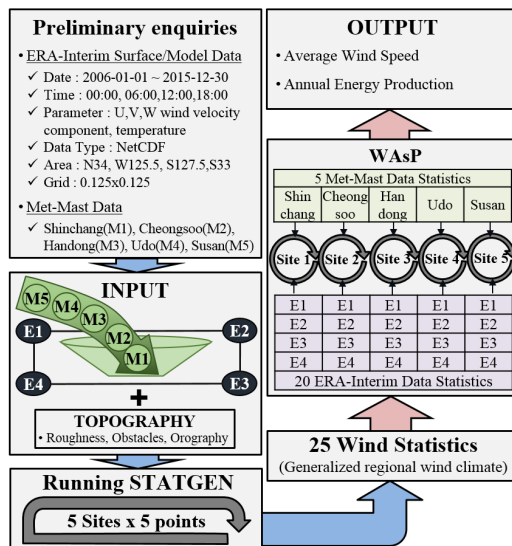


Fig. 3 Procedure for assessing the reliability of ERA-Interim reanalysis data

5개 기상탑 지점은 육상이나 해안 지역에 위치해 있다. 육상의 경우에는 VESTAS V80 2 MW(허브높이: 78 m), 해안 지역의 경우에는 Siemens SWT-4.0-130 4 MW(허브높이: 89 m)를 이 연구를 위한 풍력터빈으로 선정하였다.

각 기상탑 지점에서의 허브높이 풍속 V_{Hub} 및 연간발전량 AEP를 예측하기 위하여 해당 기상탑 데이터와 각 기상탑 지점 주변의 ERA-Interim 재해석 데이터를 사용하여 개별 바람통계값을 각각 만들었다. 그 다음 만들어진 기상탑 주변 개별 바람통계값을 각 기상탑 지점에 위치시킨 후 WAsP Interface 모듈을 구동시켰다.

이렇게 ERA-Interim 재해석 데이터를 사용하여 예측된 V_{Hub} 와 AEP를 기상탑 측정 데이터로 만든 바람통계값으로 자기예측한 기상탑 지점의 V_{Hub} 및 AEP와 비교하여 그 상대오차(Rel.Error)를 식(2)를 통해 구한 후 신뢰성을 평가하였다.

$$Rel. Error = \frac{|Value_{M.M} - Value_{E.I}|}{Value_{M.M}} \quad (2)$$

$Rel. Error$: 예측된 V_{Hub} , AEP의 상대오차

$Value_{M.M}$: Met-Mast 데이터로 예측된 값

$Value_{E.I}$: ERA-Interim 데이터로 예측된 값

4. 신뢰성 평가 결과

4.1 육·해상 지점 풍속 및 출력 예측 결과

Table 3에 기준 값인 각 지점 기상탑 예측 값과 ERA-Interim의 연 평균 풍속 및 AEP 예측 값을 나타낸다. 해안 지역에 설치된 기상탑(신창, 한동, 우도)에서 측정된 데이터는 해상 풍력터빈 출력 예측에 적용하고, 육상에 설치된 기상탑(청수, 수산) 데이터는 육상 풍력터빈 출력 예측에 적용하였다.

V_{Hub} 예측 결과를 살펴보면, 신창, 한동, 우도 지점은 해안 지역에 설치되었으므로 예측된 연 평균 풍속이 7.95 m/s 이상이다. 이는 7.18 m/s 이하로 예측된 육상의 청수, 수산 지점보다 높은 것이며, 이러한 결과는 해상이 육상보다 풍력자원이 높다는 일반적인 특성을 잘 나타내고 있다. 또한 이격 거리는 4.0 km ~ 15.2 km 정도인데, 육상은 기상탑과의 이격 거리가 멀어질수록 V_{Hub} 및 AEP 예측에 대한 상대오차가 높게 나타났으며, 해상은 이격 거리에 거의 관계없이 육상보다 상대오차가 낮게 나타났다.

Table 3 The wind resource predicted by WindPRO

Loc.	Sites			V_{Hub}^*		AEP	
	No	Data Point	Offset (km)	Value (m/s)	Rel. Error	Value (MWh)	Rel. Error
Shin chang	M1	Coast	-	8.17	-	16933.5	-
	E1	Offshore	5.2	7.61	6.9%	15573.5	8.0%
	E2	Onshore	8.8	8.76	7.2%	19026.9	12.4%
	E3	Onshore	12.6	9.1	11.4%	19445.6	14.8%
	E4	Offshore	10.8	7.8	4.5%	16310	3.7%
Cheong soo	M2	Onshore	-	7.06	-	5625.2	-
	E1	Onshore	8.0	7.48	5.9%	6267.5	11.4%
	E2	Onshore	12.5	7.94	12.5%	7022.4	24.8%
	E3	Onshore	11.0	8.02	13.6%	7187.1	27.8%
	E4	Onshore	6.0	7.79	10.3%	6790	20.7%
Han dong	M3	Coast	-	7.95	-	16848.4	-
	E1	Offshore	12.2	7.8	1.9%	16535.1	1.9%
	E2	Offshore	9.8	7.64	3.9%	16244	3.6%
	E3	Onshore	5.6	9.07	14.1%	20006.9	18.7%
	E4	Onshore	8.9	10.17	27.9%	22387.9	32.9%
Udo	M4	Coast	-	8.08	-	16895.1	-
	E1	Offshore	15.2	7.47	7.5%	15369	9.0%
	E2	Offshore	14.0	7.61	5.8%	15691.5	7.1%
	E3	Offshore	4.0	7.64	5.4%	15959.6	5.5%
	E4	Onshore	7.4	8.96	10.9%	19576.3	15.9%
Susan	M5	Onshore	-	7.18	-	5951.3	-
	E1	Onshore	10.5	8.28	15.3%	7533.1	26.6%
	E2	Onshore	5.1	7.46	3.9%	6338.5	6.5%
	E3	Onshore	9.3	7.97	11.0%	6971.6	17.1%
	E4	Onshore	13.0	8.56	19.2%	7981.6	34.1%

* V_{Hub} : Free mean wind speed at hub height

4.2 육·해상 지점 간 데이터 신뢰성 비교

육·해상 지점 간의 재해석 데이터의 신뢰성 비교를 위해 Fig. 4에 평균값을 포함한 상자-수염(Box and whisker) 그림을 나타낸다.

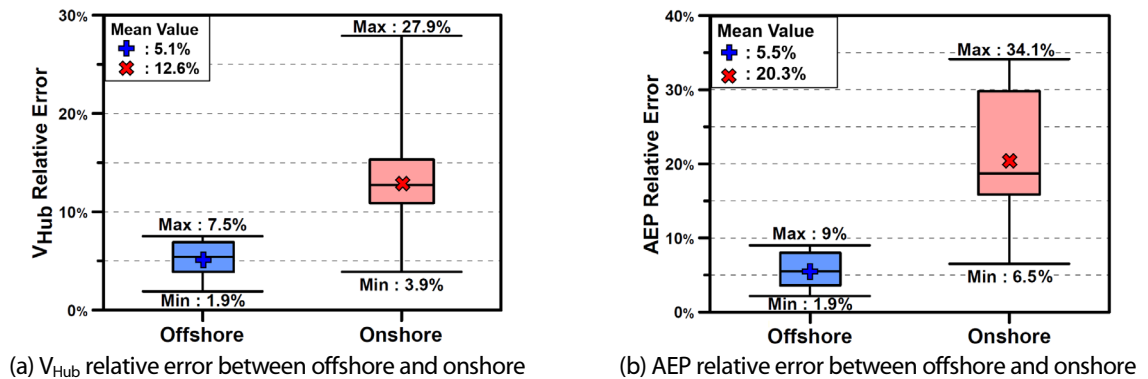


Fig. 4 Box-whisker plots of the relative errors

예측된 허브 높이에서의 풍속 V_{Hub} 에 대한 해상의 상대오차 평균값은 5.1%이며, 육상은 12.6%로 나타났다. AEP에서도 해상은 5.5%, 육상은 20.3%로 나타나 해상이 육상보다 높은 예측 정확도를 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 V_{Hub} 의 최소·최대 상대 오차 값에 있어서 육상은 최소 3.9%, 최대 27.9%로 나타났으며, 해상은 최소 1.9%, 최대 7.5%로 나타났다. AEP에 있어서도 육상은 최소 6.5%, 최대 34.1%로 나타났으며, 해상은 최소 1.9%, 최대 9%로 나타났다. 따라서 해상은 육상에 비해 약 2~3배 정도 상대오차가 적고, 오차 값의 편차가 크지 않아서 해상풍력발전단지의 예비 타당성 평가에 ERA-Interim 재해석 데이터의 적용이 가능할 것으로 생각된다. 또한 향후 해상 풍력발전단지 타당성 검토 및 해상 주변 지역에 대한 장기간의 풍력자원데이터로도 활용 가능하다고 생각된다.

4.3 이격 거리에 따른 신뢰성 비교 결과

풍력발전단지 후보지에 기상탑 설치 시 정확한 풍력자원평가를 위해 건설될 풍력발전단지의 중심에 설치·측정하고 이 결과를 바탕으로 풍력발전단지 설계를 진행하게 된다. 이는 이격 거리가 증가할수록 다양한 지형 요소의 영향을 받아 불확도 증가를 초래하기 때문이다¹⁵⁾. 본 연구에서도 이격 거리에 따른 예측정확도를 비교한 결과를 Fig. 5에 나타낸다.

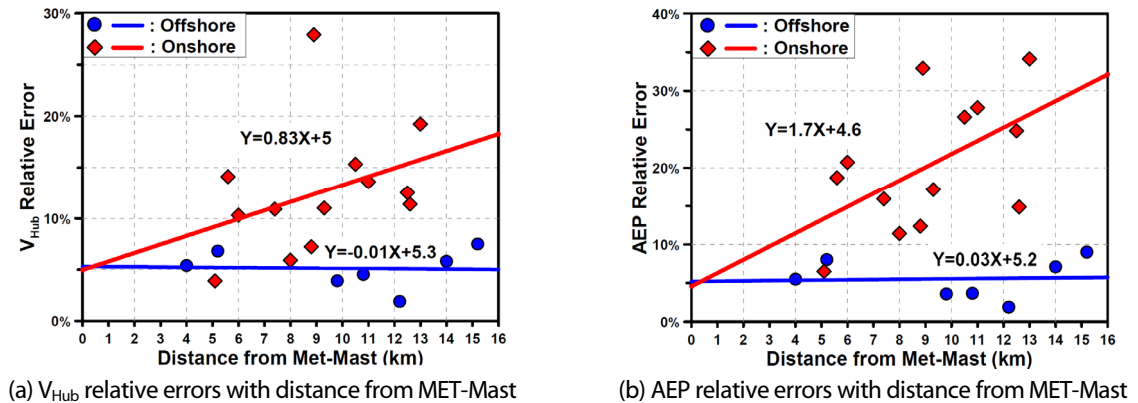


Fig. 5 Relative errors of the predicted V_{Hub} and AEP

예측된 V_{Hub} 상대오차와 이격 거리의 상관 관계를 나타내기 위한 추세선을 봤을 때, 육상의 추세선 기울기는 0.83으로 이격 거리에 비례하여 증가함을 보이지만, 해상은 기울기가 -0.01으로 이격 거리가 증가해도 상대오차는 별로 변하지 않았다. AEP 추세선의 경우, 출력은 풍속의 세제곱에 비례하므로 육상은 기울기가 1.7으로 증가하여 이격 거리에 따른 상대오차가 증가했지만, 해상은 기울기가 0.03으로서 이격 거리에 따른 상대오차가 별로 변하지 않았다. 이러한 결과는 해상은 육상에 비해 지형적인 간섭과 기상 변동성이 적어서 이격 거리가 증가해도, 육상에 비해 높은 예측 정확도를 보이는 것으로 생각된다.

5. 결론

제주 지역에서 ERA-Interim 재해석 데이터의 활용 가능성을 확인하고 신뢰성을 평가하기 위하여 육상 및 해안가에 위치한 5개 지점의 Met-Mast 데이터와 주변 지역에서 재해석된 ERA-Interim 데이터를 비교·분석하였다.

이러한 분석 결과, 기상탑과 ERA-Interim 재해석 데이터를 사용하여 예측한 연평균 풍속의 상대오차에 있어서, 해상은 평균 5.1%, 육상은 평균 12.6%으로 나타났다. 또한, AEP에 대한 상대오차는 해상은 평균 5.5%, 육상은 평균 20.3%으로 나타났다.

이격 거리에 따른 ERA-Interim 재해석 데이터의 신뢰성을 평가한 결과, 육상은 이격 거리에 비례(V_{hub} 기울기: 0.83, AEP 기울기: 1.7)하여 상대오차가 증가하는 결과를 보였으나, 해상의 경우에는 이격 거리에 대한 영향이 적은 추세선(V_{hub} 기울기: -0.01, AEP 기울기: 0.03)을 보였다. 즉, 해상은 연구범위 내에서의 이격 거리에 별로 영향을 받지 않고 예측된 AEP는 최대 9.0%의 오차를 보였다.

향후 이번 연구에서 언급된 해상에서의 신뢰성을 좀 더 높이기 위해서 BUOY에서 측정된 기상청 데이터와 ERA-Interim 데이터 간의 비교·분석을 수행할 필요가 있다.

후기

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업 「풍력 O&M 기술 고급트랙」으로 지원받아 수행한 인력양성 성과이며(No. 20164030201230), 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다(No. 20163010024560).

REFERENCES

1. Aaron Smith, Tyler Stehly, and Walter Musial, 2014-2015 Offshore Wind Technologies Market Report, National Renewable Energy Laboratory Publications, p. 8, 2015.
2. Kim, S. H., Hur, J. C., Kim, H. M., and Jung, S. Y., The Research Report of Detailed Plan to Implement the 2 GW Offshore Wind Power Plant Until 2030, Economy and Industry Bureau, Jeju Special Self-Governing Province, p. 10, 2014.
3. Jeju Special Self-Governing Province, The Management Plan of Wind Power Plant at Jeju island, p. 168, 2012.
4. Min, K. D., The Introduction of Atmospheric Science, Sigma Press, pp. 153, 233-235, 2009.
5. Park, U. S., Paek, I. S., Yoo, N. S., Kwon, I. H., and Kim, J. H., Comparison of Correlation Between Measured and Reanalysis Data, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 1165-1166, 2013.
6. Kim, H. G., Jang, M. S., and Ryu, K. W., Wind Resource Assessment on the Western Offshore of Korea Using MERRA Reanalysis Data, Journal of Wind Energy, Vol. 4, No. 1, pp. 39-45, 2013.
7. Cannon, D. J. Brayshaw, D. J., Methven, J., Coker, P. J. and Lenaghan, D., Using Reanalysis Data to Quantify Extreme Wind Power Generation Statistics: A 33 Year Case Study in Great Britain, Renewable Energy, Vol. 75, pp. 767-778, 2015.

8. Kim, B. M., Kim, H. K., Woo, J. G., Paek, I. S., and Yoo, N. S., Validation Study of the NCAR Reanalysis Data for a Offshore Wind Energy Prediction, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 1, 2012.
9. Song, Y., Kim, H. G., Byeon, J. H., Paek, I. S., and Yoo, N. S., A Feasibility Study on Annual Energy Production of the Offshore Wind Farm using MERRA Reanalysis Data, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 35, No. 2, pp. 33-41, 2015.
10. Brower, M. C., Barton, M. S., Lledó, L., and Dubois, J., A Study of Wind Speed Variability Using Global Reanalysis Data, Technical Papers of AWS Truepower, pp. 3-4, 2013.
11. Byun, J. K., Son, J. H., Ko, K. N., Reliability Assessment of ERA-Interim/MERRA Reanalysis Data for the Offshore Wind Resource Assessment, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 44-51, 2016.
12. Ju, B. C., Jeong, J. H., and Ko, K. N., Assessment of Wind Atlas Analysis and Application Program and Computational Fluid Dynamics Estimates for Power Production on a Jeju Island wind farm, Wind Engineering, Vol. 40, pp. 59-68, 2016.
13. Paul Berrisford, The ERA-Interim archive, ECMWF, ERA Report Series No. 1 Ver 2.0, 2011.
14. Prandtl, L., Uber Flussigkeitsbewegung Bei Sehr Kleiner Reibung, In: Verhandlungen Des Dritten Internationalen Math. Kongresses, Heidelberg, Teubner Verlag, Leipzig, pp. 484, 491, 1904.
15. Brower, M. C., Wind Resource Assessment, A John Wiley & Sons, Inc. Publication, pp. 31-32, 2012.