

# 성산 풍력발전단지의 연간발전량 예측 정확도 평가

## Accuracy Assessment of Annual Energy Production Estimated for Seongsan Wind Farm

주범철\* · 신동헌\*\* · 고경남\*\*\*†

Ju Beom-Cheol\*, Shin Dong-Heon\*\* and Ko Kyung-Nam\*\*\*†

(Received 01 January 2016; Accepted 25 March 2016)

**Abstract :** In order to examine how accurately the wind farm design software, WindPRO and Meteodyn WT, predict annual energy production (AEP), an investigation was carried out for Seongsan wind farm of Jeju Island. The one-year wind data was measured from wind sensors on met masts of Susan and Sumang which are 2.3 km, and 18 km away from Seongsan wind farm, respectively. MERRA (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications) reanalysis data was also analyzed for the same period of time. The real AEP data came from SCADA system of Seongsan wind farm, which was compare with AEP data predicted by WindPRO and Meteodyn WT. As a result, AEP predicted by Meteodyn WT was lower than that by WindPRO. The analysis of using wind data from met masts led to the conclusion that AEP prediction by CFD software, Meteodyn WT, is not always more accurate than that by linear program software, WindPRO. However, when MERRA reanalysis data was used, Meteodyn WT predicted AEP more accurately than WindPRO.

**Key Words :** 풍력에너지(Wind Energy), 바람데이터(Wind Data), MERRA(Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications), 연간발전량(Annual Energy Production), 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)

### 1. 서 론

2014년을 기준으로 세계 풍력발전 총 설비

용량은 369 GW이며, 2010년 이후부터 5년간 연평균 7.8 %의 성장률을 보이며 풍력시장은 지속적으로 성장하고 있다[1].

\*\*\*† 고경남(교신저자) : 제주대학교 대학원 풍력공학부  
E-mail : gnkor2@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-4401  
\*주범철 : (주)엘케이웨이  
\*\*신동헌 : 제주대학교 대학원 풍력특성화협동과정

\*\*\*† Ko Kyung-Nam(corresponding author) : Faculty of Wind Energy Engineering, Jeju National University  
E-mail : gnkor2@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-4401  
\*Ju Beom-Cheol : LKway Co., Ltd.  
\*\*Shin Dong-Heon : Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy, Jeju National University

2015년 10월을 기준으로 국내 풍력터빈 신규 설비용량은 196 MW, 누적 설비용량은 804 MW를 기록하였으며, 제주도 및 서남해상 등 풍력 자원이 풍부한 지역을 중심으로 계속적으로 신규 풍력발전단지가 건설될 계획이다[2].

풍력발전단지 건설 예비 타당성 분석 시, 연간발전량(AEP, Annual Energy Production) 예측을 위해서는 풍력자원이 우수한 지역을 선정한 후, 기상탑(Met mast)을 설치하여 최소 1년 이상의 바람 데이터를 취득하여야 한다. 그 다음 보통 풍력단지 발전량 예측 전용 S/W를 사용하여 취득된 바람 데이터를 분석하고, 이를 기반으로 풍력단지의 발전량을 예측한다.

국내에서는 WAsP, WindPRO 등의 선형해석 S/W를 사용하여 연간발전량을 예측하는 연구가 진행되어왔다.[3-5] 근래에는 전산유동해석 기반인 Meteodyn WT, WindSim 등의 S/W를 이용하여 예측 연간발전량과 실측 연간발전량을 비교·연구하고 있다.[6][7] 또한, 기상탑 데이터뿐만 아니라 NASA 등에서 제공하는 재해석 데이터를 사용하여 연간발전량을 예측하고, 그 신뢰성을 평가하는 연구가 국내·외에서 진행되고 있다[8-13].

그러나 선형해석 S/W와 3차원 전산유동해석 S/W의 연간발전량 예측특성을 밝히는 연구가 보다 많이 이루어져야 한다. 또한 재해석 데이터를 이용한 풍력자원평가는 아직 충분한 신뢰성을 확보하지 못하고 있으며, 보다 많은 풍력단지를 대상으로 예측 정확도를 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 제주도의 성산 풍력발전단지 주변에 위치한 두 지점의 기상탑 데이터 및 MERRA(Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications) 재해석 데이터를 사용하여 성산 풍력발전단지의 연간발전량을 예측하고 실측 연간발전량과 비교하여 그 예측 특성을 평가하였다. 사용된 S/W는 WindPRO 및

Meteodyn WT 이고, 실측 연간발전량은 성산 풍력단지에서 운영 중인 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템으로부터 취득하였다.

## 2. 분석조건 및 방법

### 2.1 성산 풍력발전단지

성산 풍력발전단지는 Fig. 1과 같이 제주도 한라산을 중심으로 동쪽 지역에 위치하며, Vestas V80-2MW 풍력터빈 10기가 Fig. 2와 같이 설치되어 운영 중이다. Table 1은 성산 풍력발전단지의 조건과 풍력터빈의 사양을 나타낸다.

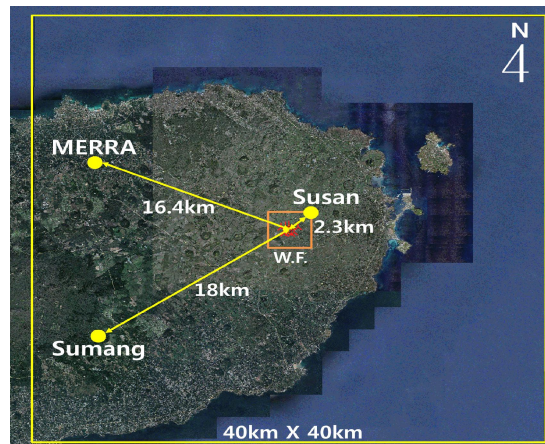


Fig. 1 Locations of Seongsan wind farm, two met masts and MERRA data point

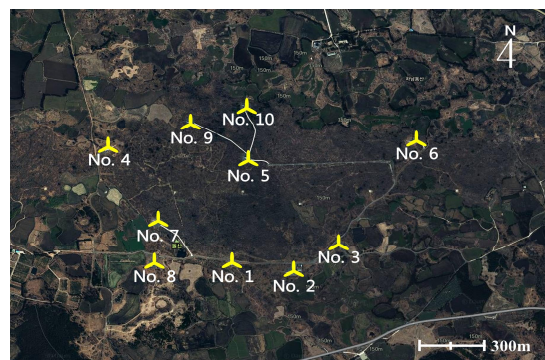


Fig. 2 Layout of wind turbines of Seongsan wind farm

Table 1 Site condition and wind turbine specification

Item	Category	Description
Site	Location	33° 26' 33.70" N 126° 50' 00.20" E
	Capacity	20 MW (2MW×10)
	Altitude	140~178(m)
	Terrain complexity	RIX: 2.05%
	Roughness length	0.001~0.4(m)
Wind turbine	Model	Vestas V80-2MW
	Rotor diameter / Hub height	80m / 78m
	Cut-in / Rated / Cut-out wind speed	4 / 14 / 25(m/s)

성산 풍력발전단지에 설치된 풍력터빈의 로터직경은 80m, 허브 높이는 78m이며, 국제표준 IEC 61400-1에 따라 Class IA 인증을 받은 제품이다.

성산 풍력발전단지의 지형복잡도를 평가하기 위해 단지의 중심부를 기준으로 RIX (Ruggedness index) 분석을 수행한 결과, 2.05%의 지형복잡도를 보였다. RIX 분석은 반경 3.5km 지형에 대하여 72방(5° 간격)으로 선(Line)을 그린 후, 기준 각 0.3을 초과하는 선의 비율을 조사함으로써 이루어진다.[14] RIX 값이 0%일 경우 비교적 평탄한 지형, 10% 미만은 복잡지형, 10% 이상 ~ 50% 혹은 그 이상은 산악지형이다 [15]. 따라서 성산 풍력발전단지는 복잡지형에 해당한다.

## 2.2 기상탑 및 SCADA 데이터

기상탑은 Fig. 1과 같이 성산 풍력발전단지 중심부로부터 각각 2.3km 및 18km 떨어진 지점에 위치한다.

Table 2는 두 지점의 기상탑 관련 정보와 성산 풍력단지의 SCADA 시스템 관련 정보를 나타낸다. 두 지점의 기상탑은 측정높이, 바람센서 형식 등이 동일한 조건으로 설치되었으며, 50m, 60m, 70m 높이의 풍속 데이터와

70m 높이의 풍향 데이터가 분석되었다. 데이터 측정기간은 2013년 6월 1일부터 2014년 5월 31까지 1년간이며, 동일 기간의 데이터가 분석되었다. 또한 RIX 분석 결과, 수산 2.10%, 수망 2.91%의 지형복잡도를 보였다.

Table 2 Description of met masts and SCADA system

Item	Category	Description
Met mast	Location	Susan 33° 27' 26.59" N 126° 51' 03.91" E RIX : 2.10%
		Sumang 33° 21' 20.45" N 126° 40' 20.45" E RIX : 2.91%
	Anemometer	Ammonit Thies First Class (50m, 60m, 70m)
	Wind vane	Ammonit Thies First Class (70m)
	Averaging time	10 minute
	Measurement period	June 1, 2013 ~ May 31, 2014 (1 year)
SCADA	Model	Vestas SCADA CX-300
	Measurement period	June 1, 2013 ~ May 31, 2014 (1 year)

SCADA 시스템은 Vestas SCADA CX-300 모델이며, 기상탑 데이터와 동일 기간의 SCADA 발전량 데이터가 분석되었다. 연구대상 풍력터빈은 고장발생 등에 따른 문제가 있거나 유지보수를 위해 정지했을 때, 풍력터빈의 나셀 풍속계에서 측정된 평균풍속 데이터를 해당 풍력터빈의 출력곡선에 적용하여 손실된 발전량을 추정하고 SCADA 시스템에 기록한다 [16]. 이 연구에서는 풍력터빈의 고장, 정비, 유지보수에 따른 손실된 발전량을 이 SCADA 시스템의 기록을 그대로 활용하여 분석하였다. 따라서 두 S/W에서 예측한 연간발전량과 공평한 비교가 가능할 것으로 생각된다.

### 2.3 MERRA 재해석 데이터

MERRA 재해석 데이터는 수치기상모델 (NWP)인 GEOS-5(Goddard Earth Observing System Version 5)의 자료동화시스템에서 인공위성 자료 등과 같은 실측자료를 재해석한 기상자료로서 1979년부터 미국 NASA에서 무료로 제공하고 있다.[17] 지구 전체에 대해 위도  $1/2^\circ \times$  경도  $2/3^\circ \times$  72개의 연직 층에서의 자료가 제공된다.

Table 3 Description of MERRA reanalysis data

Item	Category	Description
MERRA	Location	33° 29' 59.99" N 126° 40' 08.41" E RIX : 0.53%
	Height	50m
	Time interval	1 hour
	Analyzed period	June 1, 2013 ~ May 31, 2014 (1 year)

이 연구에서는 Fig. 1과 같이 성산 풍력발전 단지로부터 16.4km 떨어진 지점에서 50m 높이에 대하여 1시간 간격으로 제공되는 MERRA 데이터를 분석하였다. Table 3은 MERRA 데이터 관련 정보를 나타낸다. 기상탑 데이터와 동일한 기간의 데이터가 사용되었다. MERRA 지점에서의 RIX 분석 결과, 0.53%의 지형복잡도를 보였다.

WindPRO v2.9 User Guide [18]에 따르면 예측지점과 기상탑 지점에서의 RIX 값의 차, 즉,  $\Delta$ RIX 값이  $\pm 5\%$  이하이면 풍속을 수정하지 말 것을 권장하고 있다. 이 연구에서 세 지점의  $\Delta$ RIX 값의 범위는 수산  $-0.2 \sim 0.7\%$ , 수망  $-1.01 \sim -0.11\%$ , MERRA 지점  $1.37 \sim 2.27\%$ 이므로 풍속수정을 하지 않았고, 따라서 풍속의 과다 또는 과소예측은 없을 것으로 판단된다.

### 2.4 S/W에 따른 연간발전량 분석방법

#### 2.4.1 WindPRO

WindPRO는 덴마크의 EMD사에서 개발하였으며, 덴마크의 RISOE 연구소에서 개발한 WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program) 솔버를 기반으로 구동한다. 사용자가 주어진 사이트에 대하여 WindPRO를 구동하여 풍력자원 분석 및 효율적인 풍력터빈 배치를 할 수 있고, 나아가 풍력터빈의 이용률 및 배치효율, 연간발전량 등을 계산할 수 있다. 이 외에도 소음, 그림자 영향, 경제성 평가 등 다양한 분석이 가능하다[15][18].

이 연구에서는 등고선 간격이 5m인 수치 지형 데이터가 사용되었고, 해석 도메인 면적  $40\text{km} \times 40\text{km}$ 에 대하여 거칠기 길이를 지표면 상태에 따라 정의하였다. 세 지점의 바람 데이터를 사용하여 각 지점의 바람 통계값(Wind statistics)을 만들고, 이를 성산 풍력발전단지에 적용하여 바람을 예측하였다. 그 다음 실제 운영 중인 풍력터빈 기종과 위치 등 실제 운전 조건과 동일하게 풍력터빈을 설정하여 발전량을 산출하였다. 발전량 산출시 후류영향을 고려하기 위하여 N. O. Jensen 모델을 적용하였다.

#### 2.4.2 Meteodyn WT

Meteodyn WT는 2003년 프랑스의 Didier Delaunay에 의해 개발된 풍력단지 해석용 CFD S/W로서 세계적으로 사용자가 증가하고 있다. 바람유동을 정상류 및 비압축성으로 가정하고, RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식과 1-방정식(one equation) 난류점성 모델을 사용한다. 이 S/W는 1차적으로 바람장에서의 CFD 해석을 수행한 후, 풍력터빈과 바람 데이터를 입력하여 2차 전산해석을 수행하게 된다[19].

Meteodyn WT를 이용한 분석 시, WindPRO

에서 사용된 동일한 수치 지형데이터 및 표면 거칠기 길이 값이 사용되었고, 해석 도메인 면적 또한 같다. 수평방향 100m, 수직방향 10m, 수직 및 수평방향 확장계수를 각각 1.1 및 1.2로 설정하여 격자를 생성한 결과, 격자점은 12,603,492개였다. 중립대기 상태로 유동분석을 수행한 후, 세 지점의 바람 데이터를 입력하여 성산 풍력발전단지에서의 연간발전량을 산출하였다. 후류모델은 WindPRO와 동일하게 N. O. Jensen 모델이 사용되었다.

### 3. 분석결과

#### 3.1 세 지점에서의 바람 데이터 분석

김현구 등[20]의 연구에서도 분석한 바와 같이, 바람 데이터의 동질성 확인을 위하여 MERRA 풍속 데이터와 수망 및 수산 풍속 데이터를 시계열 분석하여 피어슨 상관계수를 도출하였다. 그 결과, MERRA 지점과 수산 및 수망지점의 상관계수는 각각 0.62와 0.61이었다. 따라서 두 지점간의 상관관계가 떨어지지만, 이 연구를 위하여 활용가능한 수준이라고 판단하여 연구를 진행하였다.

수산, 수망, MERRA 지점의 50m 높이에서의 월별 평균풍속 및 풍속의 와이블 분포를 Fig. 3, 4에 나타낸다. 2013년 7월 평균풍속이 특이하게 여름철임에도 불구하고 세 지점에서 모두 6.5m/s 이상을 기록했다. 수산, 수망, MERRA 데이터 지점의 각 연평균풍속은 6.26m/s, 4.92m/s, 6.63m/s로 분석되었다. MERRA 데이터 지점이 기상탑이 설치된 두 지점에 비해 평균풍속 및 와이블 분포의 척도계수, 형상계수가 높게 나타나며, 고풍속의 빈도가 높음을 알 수 있다.

Fig. 5에 수산과 수망에서 70m 높이에서의 풍향 데이터와 50m 높이에서의 MERRA 풍향 데이터를 사용하여 바람장미를 분석한 결

과를 보여준다. 세 지점 모두 비슷한 풍향빈도를 보였으며, 북서에서 북북서 방향으로 수망 25.6%, 수산 33.3%, MERRA 데이터 지점이 21.5%의 우세한 풍향빈도를 보였다.

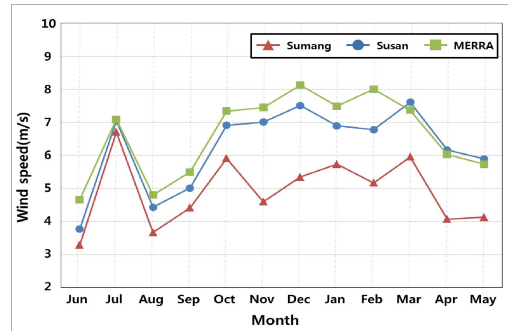


Fig. 3 Monthly average wind speed at met masts and MERRA data point

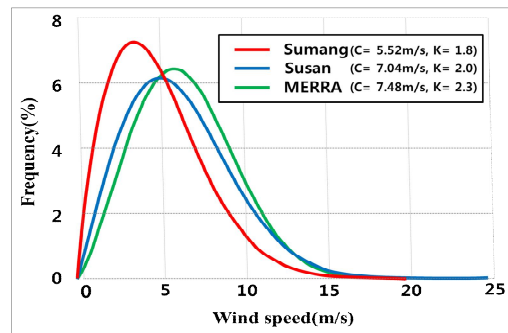


Fig. 4 Weibull wind speed distribution at met masts and MERRA data point

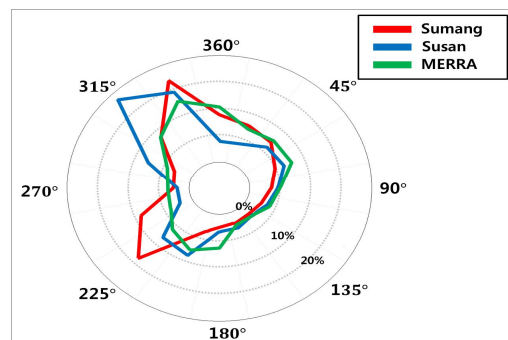


Fig. 5 Wind rose at met masts and MERRA data point



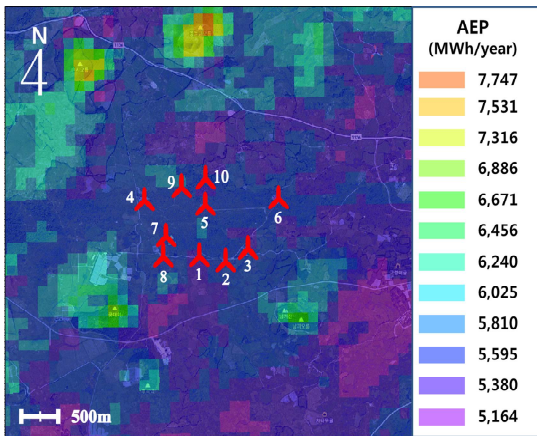
### 3.2 성산 풍력단지에서의 연간발전량 예측

#### 3.2.1 풍력단지 전체의 연간발전량

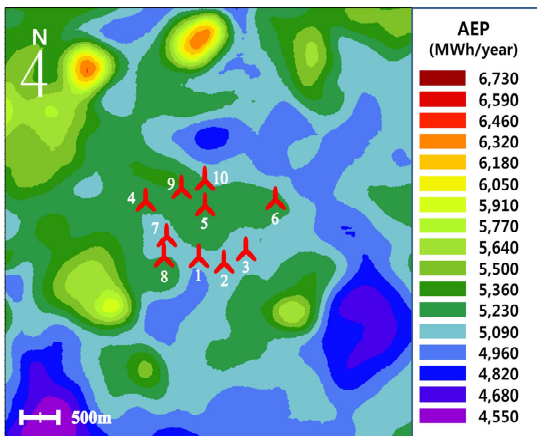
Fig. 6은 수산 지점의 50m 높이 바람 데이터를 사용하여 성산 풍력단지를 중심으로 5km x 5km 범위에 대한 S/W 별 예측 연간발전량 분포를 나타낸다.

전체적으로 WindPRO는 5,164 ~ 7,747MWh/y, Meteodyn WT는 4,550 ~ 6,730MWh/y 범위로 예측함에 따라 WindPRO가 Meteodyn WT 보다 연간발전량을 더 높게 예측하고 있음을 알 수 있다.

수산과 수망 지점의 50m, 60m, 70m 높이의 바람 데이터와 MERRA 지점의 50m 바람 데이터를 입력 값으로 하여 두 S/W를 구동시켜서 성산 풍력발전단지 전체의 연간 발전량을 예측하였다. SCADA 데이터로부터 얻은 실측 연간발전량 50,933.3MWh/y를 실측값으로 하고 예측된 발전량에 대해 상대오차를 아래 식 (1)에 따라 구하였다. 이를 Table 4에 나타내었다. 상대오차가 음수일 때 과소예측, 양수일 때 과대예측을 의미한다.



(a) WindPRO



(b) Meteodyn WT

Fig. 6 Annual energy production predicted by WindPRO and Meteodyn WT

$$\text{상대오차(\%)} = \frac{\text{예측값} - \text{실측값}}{\text{실측값}} \times 100 \quad (1)$$

Table 4 Relative error for AEP according to height

Site	Height (m)	WindPRO		Meteodyn WT	
		AEP (MWh/y)	Relative error (%)	AEP (MWh/y)	Relative error (%)
Susan	50	51418.2	1.58	44924.0	-11.74
	60	52656.2	3.52	47329.6	-7.01
	70	52384.8	2.98	48167.5	-5.36
Sumang	50	45936.4	-9.70	38828.2	-23.69
	60	47277.1	-7.04	40450.1	-20.50
	70	47847.7	-5.91	41909.5	-17.63
MERRA	50	64759.9	27.39	56872.9	11.82

수산 지점의 기상탑 데이터 분석 결과, WindPRO는 측정 높이가 변화해도 상대오차가 크게 감소하지 않고, 1.58 ~ 3.52%범위인 반면, Meteodyn WT의 분석결과는 -5.36 ~ -11.74% 범위의 상대오차를 보이며 WindPRO의 상대오차 보다는 크지만 측정 높이가 높아질수록 상대오차가 감소하였다.

수망 지점의 기상탑 데이터 분석 결과, WindPRO는 -5.91 ~ -9.70%, Meteodyn WT는 -17.63 ~ -23.69% 범위의 상대오차를 보임에 따라 수산 지점의 기상탑 데이터 분석 결과 보다 더 높은 상대오차를 보였다. 왜냐하면 성산 풍력단지로

부터 2.3km 떨어진 수산 지점에서의 바람 데이터가 18km 떨어진 수망 지점의 바람 데이터보다 더 성산 풍력단지의 바람특성을 잘 나타내기 때문이다.

수산과 수망 지점의 기상탑 데이터 분석 결과, Meteodyn WT의 AEP 예측 결과가 WindPRO의 결과 보다 낮은 정확도를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 일반적으로 CFD 해석용 S/W가 선형해석 S/W보다 풍력자원을 더 정확히 예측한다고 알려져 있지만, 위 결과를 통해 CFD S/W의 3차원 유동해석이 모든 경우에 적합하지는 않다는 것을 알 수 있다. 또한 가장 오차가 낮은 수산 지점 바람 데이터를 사용한 WindPRO의 해석결과를 제외하고 측정 높이가 높아질수록 연간발전량 예측 정확도가 높아지는 것을 알 수 있다.

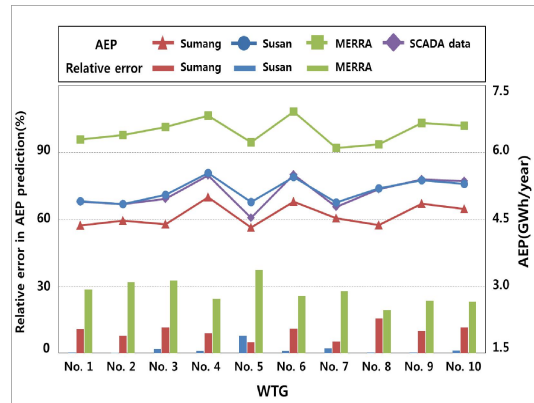
MERRA 데이터를 사용하여 분석한 결과, 수산과 수망 지점의 기상탑 데이터를 사용한 결과와는 반대로 Meteodyn WT의 분석결과가 WindPRO 보다 더 정확하였다. WindPRO를 이용한 분석 결과는 27.39%의 상대오차를 가지며 사실상 MERRA 재해석 데이터는 신뢰할 수 없는 연간발전량 예측 값을 보였다. 그러나 Meteodyn WT를 이용한 경우, 11.82%의 연간발전량 상대오차를 보임에 따라 적절히 CFD S/W를 활용하면 MERRA 재해석 데이터의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다.

김진한 등[9]은 강원과 영양 풍력단지를 대상으로 WindSim CFD S/W를 이용하여 MERRA 재해석 데이터의 유효성을 평가하였고, 10.9% 및 7.8% 내의 연간발전량 상대오차를 얻었다. 이 연구에서 Meteodyn WT를 이용하여 11.82%의 상대오차를 얻었으므로 유사한 결과라고 할 수 있다. 그러나 이 연구와 분석조건이 유사한 모든 경우에 MERRA 데이터를 이용하여 유사한 연간발전량 예측 결과를 얻을 수 있다고 할 수

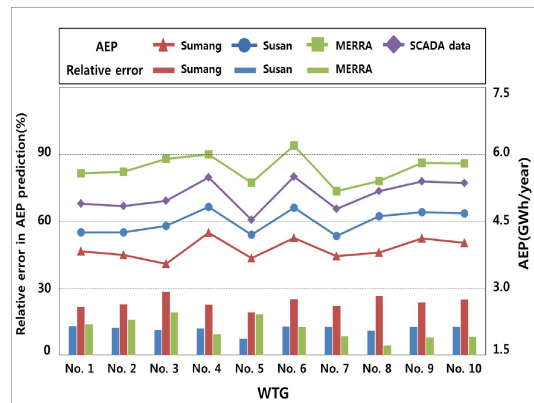
는 없으며, MERRA 데이터를 이용한 보다 많은 연구가 이루어져야 하고, 이를 바탕으로 정량적이고 일반적인 결과를 도출해야 할 것이다.

### 3.2.2 풍력터빈 별 연간발전량

세 지점의 50m 높이에서의 바람 데이터를 가지고 두 S/W를 이용하여 분석한 예측 연간발전량과 실측 연간발전량을 각 풍력터빈별로 비교 분석하고, 그 상대오차를 구하였다. Fig. 7은 그 결과를 나타낸다. 이 그림에서 상대오차는 편의상 절대 값으로 나타내었다.



(a) WindPRO



(b) Meteodyn WT

Fig. 7 Comparison of measured and predicted AEPs with each wind turbine including the relative error

전반적으로 세 지점의 바람 데이터로부터 예측된 풍력터빈 별 연간발전량과 실제 연간발전량의 추세는 비슷한 경향을 보였다. 하지만 정량적인 연간발전량 값에는 차이가 있었다.

WindPRO를 이용하여 분석했을 때, 각 풍력터빈 별 상대오차는 수산 -0.13 ~ 7.77%, 수망 -4.82 ~ -11.62%, MERRA 지점은 19.30 ~ 37.20% 범위였다. Meteodyn WT를 이용한 분석 결과, 수산 -7.40 ~ -13.07%, 수망 -19.06 ~ -28.38%, MERRA 지점은 4.29 ~ 19.09% 범위의 상대오차를 보였다. 따라서 동일한 바람 데이터를 이용하여 연간발전량을 예측하여도 S/W 종류에 따라 연간발전량이 크게 차이가 날 수 있음에 유의해야 한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 수산과 수망 지점의 기상탑 바람 데이터와 MERRA 재해석 데이터를 사용하여 풍력단지 발전량 예측 전용 S/W인 WindPRO와 Meteodyn WT를 구동시켜 성산 풍력발전단지에서의 연간발전량을 예측하고, 실제 값과 비교하였다. MERRA와 실측 기상 데이터와의 상관관계가 다소 떨어지지만 이 연구를 위하여 활용가능한 수준이라고 판단하여 연구를 수행하였다.

그 결과, 전반적으로 Meteodyn WT가 WindPRO에 비해 연간발전량을 낮게 예측하는 경향이 있었다. 수산과 수망 지점의 기상탑 바람 데이터를 사용하여 연간발전량을 분석한 결과, WindPRO의 연간발전량 예측 정확도가 Meteodyn WT 보다 높았으며, CFD 해석 S/W가 모든 경우에 선형해석 S/W보다 연간발전량을 더 정확히 예측하지는 않는다는 것을 알 수 있었다.

MERRA 재해석 데이터를 이용하여 분석한

결과, Meteodyn WT가 WindPRO에 비해 연간발전량을 실측 발전량에 근접하게 예측하였다. 그러나 보다 일반적인 MERRA 재해석 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해서는 보다 많은 풍력발전단지에 MERRA 데이터를 적용하여 비교·분석을 수행해야 할 것이다.

#### 후 기

이 논문은 2015학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

#### References

1. Navigant Consulting Inc, Executive summary: World Wind Energy Market Update p.3, 2015
2. Korea Wind Energy Industry Association, www.kweia.or.kr
3. Jeong, M. S., Moon, C. J., Kwak, S. H., Choi, M. S., Chang, Y. H., The Energy Production of Offshore Wind Farm Using WindPRO, Journal of power electronics, pp. 267-268, 2010
4. Jeong, Y. M., Kim, J. K., Kim, Y. D., A study on 750kW Wind farm at Taean Coastal National Park using WindPRO, Korean Society for New and Renewable Energy, pp. 181-181, 2010
5. Kim, H. G., Variation of AEP to wind direction variability, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp. 1-8, 2011
6. CARLOS DIAZ-ASENSIO MANCEBO, Comparison Study For Wind Resource Assesment In Complex Domain Using METEODYN And WINDSIM, Master of science thesis, 2014
7. CARLOS DIAZ-ASENSIO MANCEBO, BAhri Uzunoglu, A Comparison Study For Two Commercial Wind Resource Analysis CFD Software For An EMBANKMENT, EWEC 2014, 2014



8. Rienecke, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., et al., MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *J. Climate*, Vol. 24, pp. 3624-3648, 2012
9. Kim, J. H., Kwon, I. H., Park, U. S., Yoo, N. S., and Paek, I. S., Prediction of annual energy production of wind farms in complex terrain using MERRA reanalysis data, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 34, No. 2, pp. 82-90, 2014
10. Song, Y., Kim, H. G., Byen, J. H., Park, I. S., 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
11. Gao, Y., Kim, B. S., Lee, J. H., P, I. S., Yoo, N. S., Prediction of Energy Production of China Donghai Bridge Wind Farm Using MERRA Reanalysis Data, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 35, No. 3, pp. 1-8, 2015
12. Kubik, M.L., Brayshaw D.J., Coker P.J., Barlow J., Exploring the role of reanalysis data in simulating regional wind generation variability over Northern Ireland, *Renewable Energy*, Vol. 57, pp. 558-561, 2013
13. Olauson, J., Bergkvist, M., Modelling the Swedish wind power production using MERRA reanalysis data. *Renewable Energy*, Vol. 76, pp. 717-725, 2015
14. Jain, Pramod, *Wind Energy Engineering*, Mc Graw Hil, 2011
15. WAsP, <http://www.wasp.dk/>
16. energetica INTERNATIONAL, Superior performance and business case certainty combining efficiently predictive and reactive service, N°123 JULY|AUGUST, pp. 54-55, 2012,
17. National Aeronautics and Space Administration Goddard Space Flight Center, <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra>
18. WindPRO, <http://www.emd.dk/windpro/>
19. MeteodynWT, <http://meteodyn.com/>
20. Kim, H. G., Kang, Y. H., Yun, C. Y., Jang, M. S., Long-Term Wind Resource Assessment of Shinan-gun Bigeum-do Using The Wind Farm SCADA Data and Reanalysis Data, *The Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 17, No. 4, pp. 127-132, 2013