

## 해상풍력발전단지 연간발전량 예측을 위한 MERRA 재해석 데이터 적용 타당성 연구

### A Feasibility Study on Annual Energy Production of the Offshore Wind Farm using MERRA Reanalysis Data

송원\* · 김현규\* · 변준호\* · 백인수\*\* · 유능수\*\*†

Song Yuan\*, Kim Hyungyu\*, Byeon Junho\*, Paek Insu\*\* and Yoo Neungsoo\*\*†

(Received 25 February 2015 ; accepted 14 April 2015)

**Abstract :** A feasibility study to estimate annual energy production of an offshore wind farm was performed using MERRA reanalysis data. Two well known commercial codes commonly used to wind farm design and power prediction were used. Three years of MERRA data were used to predict annual energy predictions of the offshore wind farm close to Copenhagen from 2011 to 2013. The availability of the wind farm was calculated from the power output data available online. It was found from the study that the MERRA reanalysis data with commercial codes could be used to fairly accurately predict the annual energy production from offshore wind farms when a meteorological mast is not available.

**Key Words :** 해상풍력발전단지(Offshore Wind Farm), 연간발전량(AEP), MERRA 재해석 데이터(MERRA Reanalysis Data), 타당성 연구(Feasibility Study)

\*\*† 유능수(교신저자) : 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 E-mail : yoonsoo@kangwon.ac.kr, Tel : 033-250-6371  
\*송원 : 강원대학교 융합시스템공학과  
\*김현규 : 강원대학교 융합시스템공학과  
\*변준호 : 강원대학교 융합시스템공학과  
\*\*백인수 : 강원대학교 기계메카트로닉스공학과  
\*\*\* Yoo Neungsoo(corresponding author) : Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon National University.  
E-mail : yoonsoo@kangwon.ac.kr, Tel : 033-250-6371  
\*Song Yuan : Dept. of Convergence System Engineering, Kangwon National University.  
\*Kim Hyungyu : Dept. of Convergence System Engineering, Kangwon National University.  
\*Byeon Junho : Dept. of Convergence System Engineering, Kangwon National University.  
\*\*Paek Insu : Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon National University

## 1. 서 론

해상풍력발전단지는 육상풍력발전단지에 비하여 일반적으로 풍황이 우수할 뿐 아니라, 수심에서 수백 MW에 이르는 대규모 풍력단지 건설에 대한 지리적 제약조건과 풍력터빈의 운송 및 설치에 대한 제약이 적은 편이다. 이러한 이유로 전 세계적으로 해상풍력에 대한 관심은 점차 증가하고 있다.<sup>1)</sup> 우리나라 역시 2011년 서남해안 2.5GW 해상 풍력발전단지에 대한 계획<sup>2)</sup>을 발표함으로써 국내 해상 풍력발전단지 개발 및 개발 타당성에 대한 관심이 증대되고 있다.

풍력발전단지의 타당성 분석은 일반적으로 풍력자원 측정 및 평가, 경제성분석 그리고 환경평가 등을 고려하여 수행된다. 이중 가장 우선시 되는 것은 풍력자원 평가이다. 이를 위하여 가용한 기상자료를 토대로 풍력발전단지 유망지점을 선정하고 이곳에 기상계측타워를 설치하여 적어도 1년 이상 풍황을 측정 기록하여야 한다. 이 자료를 기반으로 하여 풍력자원 타당성 분석이 수행된다. 이와 같이 풍력발전단지의 풍력자원 타당성을 검토하기 위해서는 풍력발전단지 건설 대상지점에 기상계측타워를 설치하여야 한다. 그러나 해상의 경우에는 육상과 달리 해저 지반에 고정된 해상 구조물 위에 기상 계측타워를 설치하여야 하므로 건설비용이 크게 증가하며 데이터 수집 및 유지보수에도 어려움이 있다. 이와 같은 이유로 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 MERRA(Modern Era Retrospective analysis for Research and Application) 나 NCAR / NCEP(National Center for Environmental Predict / National Center for Atmospheric Research) 등과 같은 재해석 자료를 활용한 연구가 진행되고 있다<sup>3,4,5)</sup>. 하지만 기존에 수행된 연구들은 대부분 풍력발

전과는 관련이 없거나, 육상풍력 발전단지에 초점이 맞추어 수행되었기 때문에 해상풍력발전단지에 대한 적용은 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 재해석 자료를 이용한 해상 풍력발전단지 풍력자원 평가를 수행하였다.

즉, 본 연구에서는 재해석 데이터 중 상대적으로 높은 신뢰성을 갖고 있는 것으로 알려져 있는<sup>6)</sup> MERRA 재해석 데이터를 이용하여 실제 운영 중인 풍력발전단지의 연간발전량을 예측하고, 예측 결과와 실측 데이터간의 비교 검증을 수행함으로써 해상풍력자원 예측을 위한 재해석 데이터 적용 가능성을 검증하고자 한다. 연간발전량 예측에 대한 신뢰도 검증은 덴마크 해상에 Bonus 2MW 풍력터빈 20기로 구성되어있는 40MW 규모의 Middelgrunden 단지를 대상으로 수행하였다. 즉, Middelgrunden 단지의 2011년부터 2013까지의 3년간의 실측 연간발전량을 풍력발전단지 연간발전량 예측에 널리 사용되는 WindPRO와 WindSim을 이용하여 얻어진 예측 연간발전량과 비교하여 신뢰도 검증을 수행하였다.

## 2. 연구내용

### 2.1 단지 현황

본 연구에 적용된 Middelgrunden 해상풍력발전단지는 덴마크 코펜하겐(Copenhagen) 항구에서 동쪽으로 3.5km에 위치하고 있으며, 코펜하겐 전체 소비전력의 약 4%에 해당하는 전력을 생산하고 있다. 풍력발전단지에 설치된 풍력터빈은 Bonus 사의 Bonus B76 이며 허브 높이는 60m(MSL 64m), 로터 직경은 76m이다. Fig. 1은 B76 모델의 출력곡선(Power Curve)으로 시동풍속은 3m/s, 정격풍속은 12m/s, 종단풍속은 25m/s임을 나타내고 있다.<sup>7)</sup>

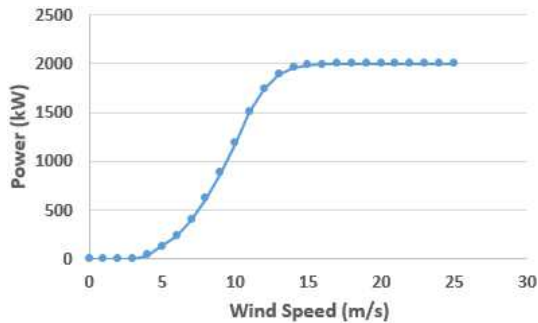


Fig. 1 Power curve of Bonus B76 wind turbine

## 2.2 GIS 지도

Middelgrunden 해상풍력발전단지는 Fig.2와 같이 육상과의 이안거리가 약 3.5km로 상대적으로 해안에 인접한 곳에 위치한다. 이와 같은 이유로 연간 발전량 계산 시 육상의 지형을 고려해야하며, 이를 위해 인근 육상지역을 포함하여 모델링을 수행하였다.

지형 모델링을 위한 전자지형도는 NASA (National Aeronautics and Space Administration)에서 제공하는 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, 90m Resolution) Digital Elevation Models(DEM)을 사용하였다.<sup>8)</sup> 그리고 지표 거칠기의 값은 Google Earth 위성지도와 문헌<sup>9)</sup>에 제시된 지표 거칠기 정보를 이용하여 구현하였다. 지표 거칠기 정보는 상용 GIS 프로그램(Global Mapper)에 입력하여 인근 육상지형 모델링에 사용하였다.

## 2.3 MERRA 재해석 데이터

MERRA 재해석 자료는 미국 NASA에서 1979년부터 현재까지 지속적으로 측정된 인공위성 기상자료와 기타 기상관측자료 등을 GEOS-5(the Goddard Earth Observing System Data Assimilation System Version 5) 기상모델의 대기 자료동화시스템(Atmospheric Data Assimilation System)에 적용하여 재해석한,

온라인으로 제공되는 데이터이다.

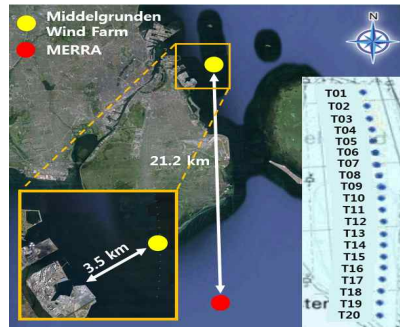


Fig. 2 Distance between Middelgrunden wind farm and MERRA point

MERRA 재해석 자료는 지구 전체에 대하여 위도  $1/2^\circ \times$  경도  $2/3^\circ$ 의 공간해상도를 갖고 있으며, 지표로부터 1m에서 72m까지 총 72개 수직층 높이의 자료를 제공하고 있다.<sup>10)</sup>

일반적으로 기상계측타워에서 측정된 풍속을 이용하여 풍력터빈 설치 지점의 풍속을 예측할 때는 최소 허브 높이의 2/3 이상의 높이에서 측정된 풍속을 사용하여야 한다.<sup>11)</sup> 이와 같은 이유로 본 연구에서는 높이 50m, 1시간 간격의 MERRA 재해석 데이터를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 Middelgrunden 해상풍력발전단지에서 가장 근접한 MERRA 재해석 자료는 Fig. 2에서와 같이 단지에서 21.2km 떨어진 곳에 위치하여 있다.

아래 Table 1은 본 연구에서 사용한 MERRA 재해석 자료의 연평균 풍속과 에너지 밀도의 주방향을 제시하고 있다.

Table. 1 MERRA Reanalysis data

MERRA			
Year	2011	2012	2013
Mean Wind Speed (m/s)	7.89	7.69	7.28
Dominant Wind Direction of Energy	270°	300°	240°

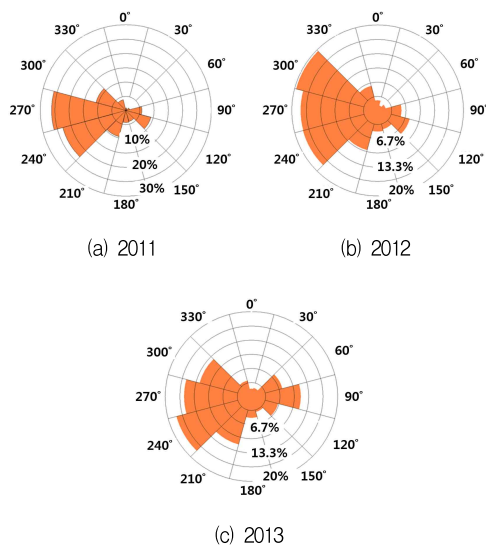


Fig. 3 Energy Density Rose of MERRA Reanalysis Data

Fig. 3은 MERRA 재해석 자료에 의한 연도별 에너지 밀도장미로 전체 에너지 밀도에 대한 방향별 분포를 백분율로 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 2011년부터 2013년까지 에너지 밀도가 270°, 300°, 240° 방향에서 우세하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 MERRA 재해석 자료에 의한 연도별 공기 밀도는 2011년, 2012년, 2013년에 각각  $1.251\text{kg/m}^3$ ,  $1.250\text{kg/m}^3$ ,  $1.250\text{kg/m}^3$ 이었다.

## 2.4 연간발전량 예측 프로그램

Middelgrunden 풍력발전단지의 실측 연간 발전량과 예측 연간발전량을 비교하기 위해서 덴마크의 EMD사에서 개발한 WindPRO (V2.8) 프로그램과 노르웨이 WindSim AS사에서 개발한 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 프로그램인 Wind-Sim (V6.0)을 사용하였다.

### (1) WindPRO

WindPRO는 WAsP을 Solver로 사용하고

있는 단지설계 및 발전량 예측프로그램이며, 풍속 및 발전량 예측과정 또한 WAsP과 동일하다. WindPRO의 Solver인 WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)은 1987년 덴마크의 Risø 국립연구소에서 개발한 풍력자원분석 및 평가 프로그램이다.<sup>12,13)</sup>

WAsP은 대기경계층 (Atmospheric Boundary Layer)내 대기유동의 원리에 기초한 여러 변환모델들에 의해 한 지점에서 측정된 풍향 데이터를 수직 및 수평 방향으로 외삽 시켜서 원하는 지점의 풍향을 예측하는 프로그램이다. WAsP은 먼저 실측지점의 풍향 자료의 Weibull Distribution를 등고선, 지표거칠기, 장애물 등의 영향을 제거한 일반화된 바람기후(Generalized Wind Climate)로 변환한 후, 이를 예측하고자하는 지점에 적용하여 그 지점의 등고선, 지표 거칠기, 장애물 등의 영향을 받도록 역변환 함으로써 예측 지점의 풍향을 계산한다.<sup>12,13)</sup>

본 연구에서 WindPRO로 연간발전량 예측의 경우에 N.O Jensen(EMD, 2005) 후류 모델과 S. Frandsen(1999) 난류 모델을 이용하였다.

### (2) WindSim

WindSim은 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식에 기반한 3차원 유동장 해석 프로그램으로서 Terrain, Wind Field, Object, Result, Wind Resource, Energy 등 6개 모듈로 구성된다.

본 연구에서는 WindSim을 이용한 연간발전량 예측의 경우 N.O. Jensen 후류 모델과 표준 k-ε 난류 모델을 이용하였다.

WindSim의 경우, Middelgrunden 풍력발전단지의 해석영역은  $40\text{km} \times 40\text{km}$ 로 설정하였으며, 격자 생성결과는 Table. 2와 Table. 3에 정리하였다. 수평면 (x, y)격자 간격은 100m

로 균일하게 하였으며, 수직축(z) 격자간격은 Table 3과 같이 고도가 증가할수록 간격이 증가하도록 하였다.

WindSim 바람장 해석의 경우 풍속 대수수직분포(Log Profiles)의 정확도를 향상시키기 위해서 Nesting 방법을 사용하였다. 즉, Fig. 4와 같이 큰 격자간격(150m ×150m)을 갖는 60km x 60km의 외부 영역을 해석한 후 그 결과를 경계조건으로 이용하여 작은 격자간격(100m×100m)을 갖는 40km x 40km의 실제 해석 영역을 해석하였다.

Table. 2 Number of cells in simulation

	x	y	z	Total
Middelgrunden	400	400	40	6,400,000

Table. 3 Distances to grids in z axis

	Middelgrunden	
	z-dist, min (m)	z-dist, max (m)
1	2.0	1.8
2	6.4	5.9
3	11.7	10.8
4	17.9	16.5
5	25.0	23.1
6	33.1	30.5
7	42.0	38.7
8	51.9	47.8
9	62.7	57.8
10	74.4	68.5

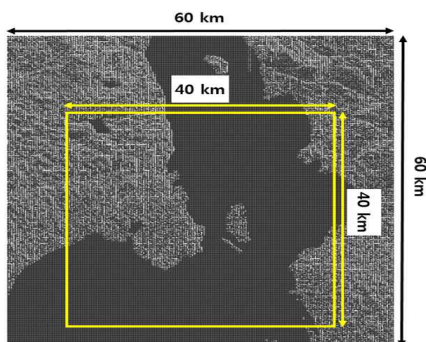


Fig. 4 Grids used for Wind Farm

풍력발전단지의 연간발전량을 정확히 예측하기 위하여서는 풍력단지의 가동률 정보가 필요하다. 그러나 Middelgrunden 풍력발전단지 가동률에 대한 정보는 직접적으로 제시되지 않기 때문에 본 연구에서는 2011년부터 2013년까지 총 3년의 실측Monitoring System에서 얻어진 자료를 이용하여 각 풍력발전기의 가동률을 계산하였다. 가동률은 단지 내 동시간대에 작동중인 풍력발전기와 정지되어 있는 풍력발전기를 비교하여 발전량 데이터가 존재하지 않는 경우를 발전기 고장 및 수리 등에 의한 비 가동시간으로서 판단하여 계산하였다.

### 3. 연구 결과

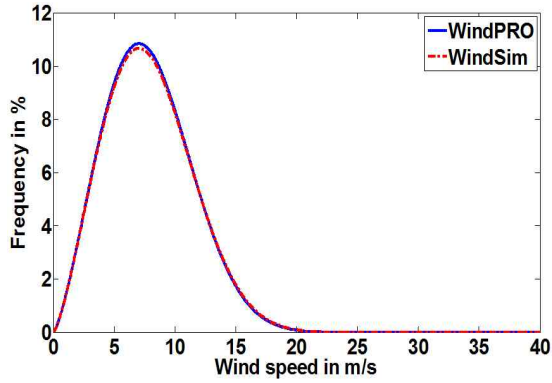
Table 4는 MERRA 자료로부터 도출된 형상계수(k)와 척도계수(C)를 나타내고 있으며 Fig. 5는 WindPRO와 WindSim을 이용하여 피팅된 연도별 와이블 분포를 보여주고 있다. 그림에서 살펴보면 WindPRO와 WindSim을 이용한 두 Weibull 분포함수 예측결과는 매우 유사한 것을 확인할 수 있다.

Table. 4 Weibull distribution parameters of WindPRO and WindSim

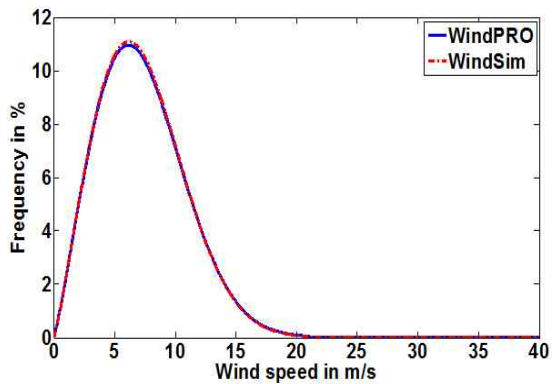
Weibull Distribution Parameters						
Year	2011		2012		2013	
Program	Wind PRO	Wind Sim	Wind Pro	Wind Sim	Wind PRO	Wind Sim
k	2.37	2.33	2.49	2.51	2.15	2.18
C (m/s)	8.91	8.88	8.67	8.69	8.22	8.26
Mean (m/s)	7.89	7.82	7.69	7.63	7.28	7.35

Table. 5에서 제시된 결과는 총 20기로 이루어진 Middelgrunden 풍력발전단지의 각 풍력터빈의 연도별 가동률이며, 이를 WindPRO

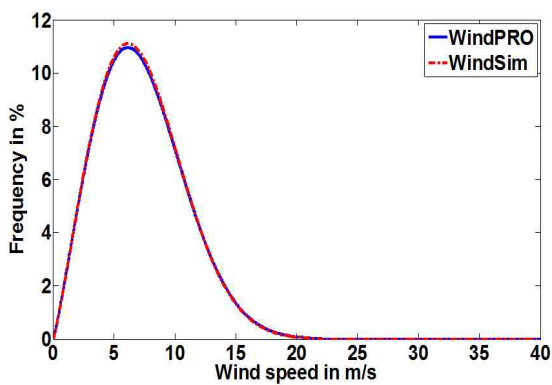
와 WindSim에 적용하여 각 풍력빈별 연간발전량을 예측하였다.



(a) 2011



(b) 2012



(c) 2013

Fig. 5 Weibull distribution of annual MERRA data obtained from WindPRO and WindSim

Table. 5 Availability of each wind turbine in Middelgrunden wind farm

Wind Turbines Availability(%)			
WT \ Year	2011	2012	2013
T01	87.40	86.61	86.58
T02	68.77	81.97	82.74
T03	83.84	68.58	66.58
T04	58.36	89.34	84.11
T05	87.12	87.70	85.75
T06	86.85	88.52	77.26
T07	67.95	89.07	80.27
T08	88.22	89.07	80.00
T09	83.01	84.97	77.81
T10	87.95	89.62	69.86
T11	83.56	93.44	92.05
T12	81.10	85.25	78.36
T13	91.51	90.16	90.96
T14	84.38	92.62	92.88
T15	77.53	87.43	77.26
T16	80.82	98.36	95.07
T17	91.78	96.17	93.70
T18	89.86	83.61	87.12
T19	89.32	92.08	85.21
T20	96.71	84.70	80.00

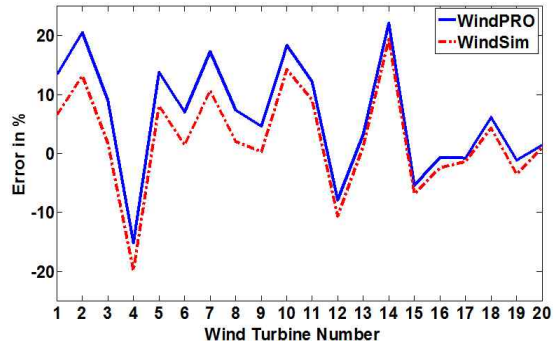
Table. 6 AEPs measured and predicted of each wind turbine in Middelgrunden wind farm

(a) 2011

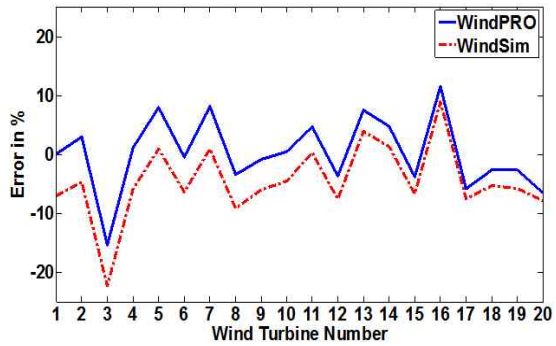
	AEPs of Wind Turbines					
	Measur ed	AEP (GWh/y)			Error (%)	
		Wind PRO	Wind Sim	Wind PRO	Wind Sim	
T01	4.35	4.93	4.63	13.34	6.57	
T02	3.16	3.81	3.57	20.46	13.12	
T03	4.27	4.65	4.34	8.99	1.71	
T04	3.76	3.19	3.01	-15.18	-19.92	
T05	4.18	4.76	4.52	13.75	8.09	
T06	4.42	4.73	4.48	7.03	1.42	
T07	3.13	3.67	3.46	17.27	10.62	
T08	4.41	4.73	4.50	7.30	2.01	
T09	4.22	4.41	4.23	4.61	0.23	
T10	3.91	4.63	4.47	18.28	14.20	
T11	3.89	4.37	4.24	12.17	9.04	
T12	4.56	4.20	4.08	-7.94	-10.62	
T13	4.53	4.68	4.58	3.21	1.14	
T14	3.52	4.30	4.21	22.06	19.32	
T15	4.10	3.88	3.82	-5.39	-6.87	
T16	4.07	4.04	3.97	-0.71	-2.45	
T17	4.53	4.49	4.47	-0.79	-1.39	
T18	4.17	4.43	4.35	6.09	4.26	
T19	4.52	4.47	4.37	-1.14	-3.49	
T20	4.87	4.94	4.92	1.42	1.00	

(b) 2012

AEPs of Wind Turbines					
	AEP (GWh/y)			Error (%)	
	Measu red	Wind PRO	Wind Sim	Wind PRO	Wind Sim
T01	4.62	4.63	4.30	0.08	-7.00
T02	4.16	4.28	3.96	2.99	-4.71
T03	4.24	3.59	3.30	-15.37	-22.31
T04	4.54	4.59	4.27	1.06	-5.96
T05	4.17	4.50	4.21	7.95	0.96
T06	4.51	4.49	4.22	-0.43	-6.36
T07	4.16	4.50	4.20	8.15	0.93
T08	4.63	4.47	4.20	-3.47	-9.16
T09	4.25	4.22	4.00	-0.82	-5.97
T10	4.40	4.43	4.21	0.46	-4.53
T11	4.38	4.58	4.39	4.65	0.32
T12	4.28	4.13	3.96	-3.67	-7.58
T13	4.01	4.31	4.17	7.47	3.89
T14	4.20	4.40	4.26	4.72	1.32
T15	4.25	4.09	3.96	-3.84	-6.73
T16	4.07	4.54	4.43	11.55	8.90
T17	4.64	4.37	4.29	-5.87	-7.54
T18	3.91	3.80	3.70	-2.68	-5.31
T19	4.38	4.26	4.12	-2.68	-5.78
T20	4.32	4.04	3.98	-6.53	-7.90



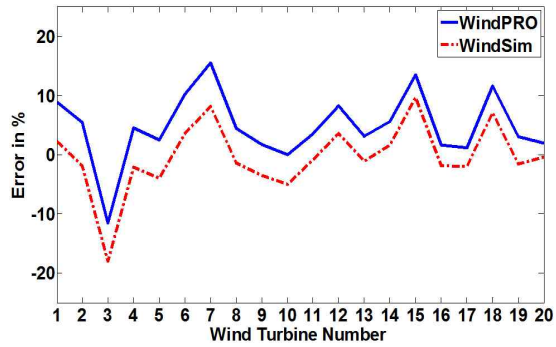
(a) 2011



(b) 2012

(c) 2013

AEPs of Wind Turbines					
	AEP (GWh/y)			Error (%)	
	Measu red	Wind PRO	Wind Sim	Wind PRO	Wind Sim
T01	3.94	4.29	4.03	8.92	2.27
T02	3.80	4.01	3.73	5.49	-1.87
T03	3.64	3.21	2.98	-11.57	-18.01
T04	3.83	4.00	3.75	4.55	-2.07
T05	3.99	4.10	3.83	2.53	-3.99
T06	3.33	3.67	3.44	10.24	3.58
T07	3.28	3.79	3.55	15.54	8.17
T08	3.59	3.75	3.54	4.48	-1.38
T09	3.56	3.62	3.43	1.68	-3.54
T10	3.23	3.23	3.07	-0.01	-4.97
T11	4.09	4.23	4.05	3.49	-0.85
T12	3.30	3.57	3.42	8.30	3.58
T13	3.99	4.12	3.95	3.12	-1.13
T14	3.95	4.17	4.02	5.61	1.66
T15	3.02	3.42	3.31	13.48	9.64
T16	4.13	4.19	4.05	1.61	-1.91
T17	4.04	4.08	3.96	1.19	-1.94
T18	3.42	3.82	3.66	11.64	7.12
T19	3.68	3.79	3.62	3.03	-1.54
T20	3.58	3.64	3.56	1.92	-0.39



(c) 2013

Fig. 6 AEP prediction error of each wind turbine in Middelgrunden wind farm

Table 6과 Fig. 6은 Middelgrunden 풍력발전단지 내 각 터빈들의 실제 측정된 연간발전량을 WindPRO, WindSim을 이용하여 계산된 결과와 비교한 표와 예측오차를 나타낸 그래프이다. 표 및 그림에 제시된 바와 같이 본 연

구에서 고려한 가동률 계산 방법을 통한 연간 발전량 예측은 특정 터빈들에 대한 오차율을 제외하고 다수의 터빈들의 발전량 예측에 오차가 10% 이내인 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 6에서 살펴보면 대체적으로 WindPRO 보다 WindSim 예측 결과가 약간 낮은 것을 알 수 있다. 본 예측 결과가 정확한 가동률에 대한 결과가 아니기 때문에 정확한 판단을 할 수는 없지만, 대체적으로 우수한 예측 결과를 보여주는 것으로 판단된다.

Table 7은 WindPRO와 WindSim을 사용하여 예측한 Middelgrunden 풍력발전단지의 연간발전량과 Middelgrunden Official Monitoring System<sup>14)</sup>이 제공하는 실측 연간발전량을 비교한 결과를 보여준다. Table. 6에서 알 수 있듯이 WindPRO는 최대 5.71%, 최소 0.09% WindSim은 최대 4.64% 최소 0.56%의 비교적 작은 차이를 보이는 것을 확인 할 수 있다.

Table. 7 Measured and predicted AEPs of Middelgrunden wind farm

	AEP(GWh/y)			Error (%)	
	Measured	Wind PRO	Wind Sim	Wind PRO	Wind Sim
2011	82.58	87.30	84.22	5.71	1.98
2012	86.14	86.21	82.14	0.09	-4.64
2013	73.36	76.71	72.95	4.56	-0.56

## 5. 결 론

본 연구에서는 해상풍력단지의 풍력자원 타당성연구를 위한 MERRA 재해석 데이터의 적용 가능성을 검증하고자 하였다. 이를 위하여 MERRA 재해석 데이터를 상용 풍력발전단지 예측 프로그램에 적용하여 덴마크 Middelgrunden 해상풍력발전단지의 연간 발전량을 예측하고 이를 실측된 연간발전량과 비교 분석하였다.

풍력발전단지 발전량 예측에 필요한 풍력발전단지의 가동률은 공식인증 사이트에서 공개되지 않기 때문에 날짜별 풍력터빈 실측발전량 자료에 기반을 두어 단지 내 각 발전기의 가동률을 계산하였다.

그 결과, 개개의 풍력터빈에 대한 최대 오차는 WindPRO의 경우 22.06%, WindSim의 경우 22.31%를 보였으며, 특정 터빈들의 경우 20% 이상의 오차를 보여주었지만, 대부분의 풍력터빈들의 경우 10% 이내의 오차를 보여주었다. 또한 단지 전체 발전량 예측오차의 경우 WindPRO 예측 오차는 5.71% 이내이며, WindSim 예측 오차는 4.64% 이내로 매우 우수한 예측결과를 보여주었다. 이로부터 해상 기상관측 타워 설치이전에 MERRA 재해석 데이터를 이용하여 비교적으로 우수한 신뢰도를 갖는 해상풍력발전단지 발전량 예측이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 연구대상이 덴마크 위치한 Middelgrunden 해상풍력발전단지의 2011년부터 2013년부터 총 3년 결과만으로 제한되었기 때문에, 향후 보다 일반적인 결론을 도출하기 위해서는 많은 해상풍력발전단지에 MERRA 재해석 자료를 적용하여 발전량 예측 및 분석을 수행하여야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구에서의 내용 중 일부는 풍력에너지학회 2014 추계 학술대회에 발표한 내용이 포함되어 있습니다. 본 연구는 해양수산부의 해양청정에너지개발사업 "10MW급 부유식 파력-해상풍력 연계형 발전시스템 개발"의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다. 본 연구는 또한 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였습니다. (관리번호-120140130)



## Reference

1. Roland Berger, Offshore Wind Toward 2020-On the Pathway To Cost Competitiveness, Roland Berger Strategy Consultants, 2013
2. Offshore Wind Farm Council, the Southwest 2.5GW offshore wind energy synthesis promotion plan, Ministry of Knowledge Economy, 2011
3. Schwartz, M., George, R., & Elliott, D. The Use of Reanalysis Data for Wind Resource Assessment at the National Renewable Energy Laboratory. In EWEC-CONFERENCE, pp. 1093-1096, 1999
4. Kim, B. M., Woo, J. K., Kim, H. G., Paek, I. S., & 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, pp. 1-7. 2012
5. Rienecker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., ... & Woollen, J., MERRA: NASA's Modern-era Retrospective analysis for Research and Applications. Journal of Climate, Vol. 24, No.14, pp. 3624-3648, 2011
6. Jimenez, B., Monnich, K., & Durante, F. Comparison between NCEP/NCAR and MERRA Reanalysis Data for Long Term Correction in Wind Energy Assessment. The European Wind Energy Association, 2012
7. LORC Knowledge, <http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/middelgrunden>, 2014
8. U.S. Geological Survey, <http://srtm.usgs.gov/>, 2014
9. WAsP, DTU Wind Energy, Risø Campus, Denmark, <http://www.wasp.dk/Support-and-services/FAQ>, 2014
10. Global Modeling and Assimilation Office Earth Sciences Division, GAO Office Note No. 1 (Version 2.3), 2012
11. MEASNET Organisation, Evaluation of Site-Specific Wind Conditions Version 1, pp.11-13, 2009
12. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, European Wind Atlas, The Commission of the European Communities Directorate-General for Science, Research and Development, 1989
13. EMD, WindPRO Ver 2.8 Manual, <http://www.emd.dk>, 2013
14. Middelgrundens Vindmøllelaug I/S, <http://www.middelgrund.dk>, 2014