

MERRA 재해석 자료를 이용한 복잡지형 내 풍력발전단지 연간에너지발전량 예측

Prediction of Annual Energy Production of Wind Farms in Complex Terrain using MERRA Reanalysis Data

김진한* · 권일한*** · 박웅식*** · 유능수*** · 백인수**†

Kim Jin-Han*, Kwon Il-Han***, Park Ung-Sik***, Yoo Neungsoo***
and Paek Insu**†

(Submit date : 2014. 2. 18., Judgment date : 2014. 2. 25., Publication decide date : 2014. 4. 18.)

Abstract : The MERRA reanalysis data provided online by NASA was applied to predict the annual energy productions of two largest wind farms in Korea. The two wind farms, Gangwon wind farm and Yeongyang wind farm, are located on complex terrain. For the prediction, a commercial CFD program, WindSim, was used. The annual energy productions of the two wind farms were obtained for three separate years of MERRA data from June 2007 to May 2012, and the results were compared with the measured values listed in the CDM reports of the two wind farms. As the result, the prediction errors of six comparisons were within 9 percent when the availabilities of the wind farms were assumed to be 100 percent. Although further investigations are necessary, the MERRA reanalysis data seem useful tentatively to predict adjacent wind resources when measurement data are not available.

Key Words : 복잡지형(Complex terrain), WindSim, MERRA(Modern - Era Retrospective Analysis for Research and Applications), 연간에너지발전량(AEP; annual energy prediction), 강원풍력발전단지(Gangwon wind farm), 영양풍력발전단지(Yeongyang wind farm)

**† 백인수(교신저자) : 강원대학교 기계메카트로닉스공학과
E-mail : paek@kangwon.ac.kr, Tel : 033-250-6379
*김진한 : 강원대학교 융합시스템공학과 기계메카트로
닉스전공
***권일한 : 강원대학교 융합시스템공학과 기계메카트로
닉스전공
***박웅식 : 강원대학교 융합시스템공학과 기계메카트로
닉스전공
***유능수 : 강원대학교 기계메카트로닉스공학과

**† Paek Insu(corresponding author) : Department of Mechanical
and Mechatronics Engineering, kangwon University.
E-mail : paek@kangwon.ac.kr, Tel : 033-250-6379
*Kim Jin-Han : Department of Convergence System Engineering,
Haeundae University.
***Kwon Il-Han : Department of Convergence System Engineering,
Haeundae University.
***Park Ung-Sik : Department of Convergence System Engineering,
Haeundae University.
***Yoo Neungsoo : Department of Mechanical and Mechatronics
Engineering, kangwon University.

1. 서 론

풍력에너지는 신재생에너지원 중 상대적으로 낮은 발전단가로 인해 매년 전 세계적으로 많은 풍력발전단지가 건설되고 있다. 국내에는 2013년 9월까지 약 532 MW 용량의 풍력발전기가 설치되어 있으며, 추가단지 건설 및 관련연구가 지속적으로 진행되고 있다.

풍력발전단지를 건설하기 위한 전 단계로서 풍력자원을 예측하기 위해 전 세계적으로 선형 유동 모델을 기반으로 하는 WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)과 RANS(Reynolds averaged Navier-stokes) 수식을 기반으로 하는 WindSim 프로그램이 많이 사용되고 있다. WAsP은 복잡지형에서 발생할 수 있는 유동박리(Flow Separation), 와류(Vortex)와 같은 비선형 유동을 해석하지 못하는 한계 때문에 풍속 및 풍향예측에 있어 오차를 발생시킬 수 있어 복잡지형에 대한 해석에는 주로 WindSim 프로그램이 사용되고 있다¹⁾.

현재 국내에 설치된 풍력발전기는 대부분 복잡지형에 위치하고 있으며, 복잡지형에서의 실측자료와 WindSim 프로그램을 이용한 풍력자원예측의 정확성을 검증하기 위해 국내에서 다수의 연구가 진행되어왔다²⁻⁵⁾.

하지만, 풍력자원 예측을 위해서 필요한 적어도 1년 이상 인근에서 측정된 실측 자료는 한정되어 있으며, 더욱이 장기간 측정된 자료는 매우 한정되어 있어, 이러한 부분들이 복잡지형 풍력자원예측 연구에 큰 제약이 되어왔다. 이러한 실측 데이터의 한계점에 대한 대안으로 최근 재해석 데이터인 MERRA 재해석 자료를 WindSim 에 적용하여 독도의 풍력자원 예측을 수행한 연구가 시도되었다⁶⁾. 하지만, 국내 산악지형

에 대해 MERRA 재해석 데이터를 적용하여 그 정확성을 검증한 연구는 극히 제한적이다.

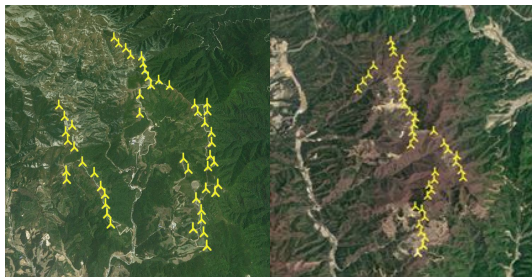
따라서, 본 연구는 MERRA 재해석 데이터의 국내 복잡지형 풍력자원 예측 정확성을 알아보고자 수행되었다. 이를 위해 MERRA 재해석 데이터와 WindSim 프로그램을 이용하여, 복잡지형에 위치한 강원풍력발전단지과 영양풍력발전단지의 연간 에너지 발전량을 예측하고, 이를 실측 연간에너지발전량(AEP)과 비교 하였으며 오차의 원인에 대해 정성적으로 분석을 수행하였다.

2. 연구내용

2.1 단지 현황

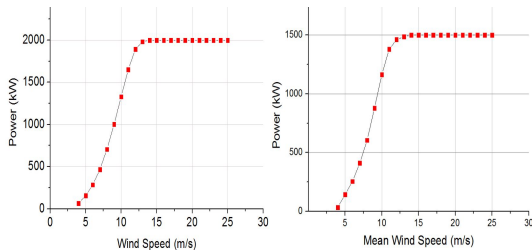
강원풍력발전단지는 강원도 평창군 대관령면에 위치한 국내 최대 육상풍력발전단지이며, Fig. 1(a)에서 알 수 있듯이 총 49기의 풍력발전기가 설치된 98MW 단지이다. 단지를 구성하는 풍력발전기는 Vestas 사의 2MW급 풍력발전기(Vestas V80)이며, 로터 지름은 80m, 허브 높이는 60m이다. V80의 출력곡선은 Fig. 2(a)에 제시하였으며, 그림에서 알 수 있듯이 시동풍속은 4m/s, 정격풍속은 14m/s, 종단풍속은 25m/s이다.

영양풍력발전단지는 경상북도 영양군에 위치하였으며, Fig. 1(b)와 같이 총 41기의 풍력발전기가 설치된 61.5MW급 풍력발전단지이다. 단지를 구성하는 풍력발전기는 Acciona사의 1.5MW 급 풍력발전기(AW77-1500)이며, 로터지름은 77 m, 허브높이는 80m이다. AW77의 출력곡선은 Fig. 2(b)에 제시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 시동풍속은 4 m/s, 정격풍속은 14 m/s, 종단풍속은 25 m/s이다.



(a) Gangwon wind farm (b) Yeongyang wind farm

Fig. 1 Wind farm layouts



(a) Vestas V80 2MW (b) Acciona AW77 1.5MW

Fig. 2 Power curves of wind turbines

2.2 MERRA 재해석 자료

MERRA(Modern - Era Retrospective Analysis for Research and Applications) 재해석 자료는 미국 NASA에서 제공하는 자료로서 인공 위성 세대인 1979년부터 현재까지 약 30년 이상의 기간 동안 측정된 인공위성자료, 기상관측자료, 라디오존데 자료 등을 이용하여 GEOS-5 (Goddard Earth Observing System) 기상모델의 자료동화시스템(Data assimilation system)을 적용하여 제작되는 재해석 자료이다⁷⁾.

MERRA 재해석 자료는 기존의 재해석 자료들보다 시간 및 공간 해상도가 크게 향상되어 전 지구에 걸쳐 위도 1/2° x 경도 2/3°의 공간해상도를 갖고 있으며, 1 m부터 72 m까지 총 72개 수직 층에 대해 자료가 제공되고 있다. 자료의 시간 해상도는 50 m 높이의 자료의 경우 1시간 간격의 평균자료이며, 그 이외

는 3시간 간격의 평균자료로 되어있다⁷⁾.

본 연구에서 사용한 MERRA 재해석 자료는 각 단지 최 인근에 위치한 자료로서, 강원 풍력발전단지와 영양풍력발전단지의 최 인근 풍력발전기와의 이격거리는 각각 22.1km, 7.3km이다. 문헌에 의하면, 복잡지형에서의 정확한 예측을 위해 권장되는 기상관측지점과 예측지점의 거리는 2 km 이내인 것으로 알려져 있다⁸⁾. 하지만, 이전 연구에서도 복잡지형에서 20 km 이상의 이격거리에 대해 선형 풍향예측 프로그램이 아닌 CFD 프로그램을 이용하여 기상관측타워의 상호 풍향예측을 수행하였을 때 연평균 풍속오차가 5% 이내로 예측된 연구사례가 있어, 본 연구에도 동일한 CFD 프로그램을 적용하여 MERRA 데이터의 예측 정확도를 알아보기 위한 연구를 수행하였다⁵⁾.

본 연구에서는 해수면 50 m 높이에서의 MERRA 재해석 자료를 사용하였으며, 강원 풍력발전단지와 발전량 비교를 위해 2010년 1월 1일부터 2012년 12월31일의 총 3년간의 자료를, 영양풍력발전단지와 발전량 비교를 위해 2009년 6월1일부터 2012년 5월31일까지 총 3년간의 자료를 사용 하였다.

Table 1 MERRA reanalysis data

Gangwon wind farm			
	2010	2011	2012
mean wind speed (m/s)	5.73	5.68	5.53
Weobull parameter	k	2.25	2.40
	A	6.47	6.41
wind direction(°)	W(270°)	W(270°)	W(270°)
Yeongyang wind farm			
	2009 - 2010	2010 - 2011	2011 - 2012
mean wind speed (m/s)	6.12	5.96	5.94
Weobull parameter	k	2.17	2.35
	A	6.88	6.80
wind direction(°)	WNW(300°)	WNW(300°)	WNW(300°)

Fig. 3은 MERRA 재해석 자료에 대한 연도별 에너지 밀도이며, 전체 에너지 밀도에 대한 방향별 에너지 밀도 퍼센트로 나타낸 결과를 보여주고 있다. 그림에서 살펴보면, 연도별로 에너지 분포가 유사한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

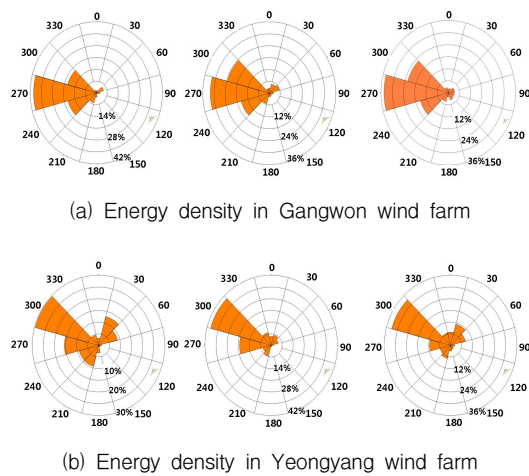


Fig. 3 Energy density of MERRA data

2.3 지형 모델링 및 바람장 해석

강원풍력발전단지와 영양풍력발전단지의 연간에너지발전량 예측을 위해 노르웨이 WindSim AS사에서 개발한 전산유체역학(CFD; computational fluid dynamics) 프로그램인 WindSim v6.0을 사용하였다. WindSim 프로그램은 3차원 유동장의 비선형 해를 얻기 위해 비압축성 유동에 대한 RANS(Reynolds averaged Navier-Stokes) 식을 수치 해석적으로 풀게 된다.

WindSim에서의 3차원 해석 영역은 지형도의 크기에 의해 결정되는 수평방향(x, y 방향) 경계와 유동해석의 차단효과를 피하기 위한 충분한 수직방향 (z 방향) 경계로 결정된다. 본 논문에서의 z 방향 해석영역 높이는 10 km로 설정되었으며, 실제 고도에 따라 풍속이 변

화하는 영역인 대기경계층의 높이는 일반적으로 지균풍의 높이를 설명하기 위해 문헌상에서 많이 사용되는 500m로 가정하였다⁹⁾.

WindSim에 입력하는 지형파일은 NASA에서 제공하는 SRTM(Shuttle Rada Topography Mission)을 통해 얻어진 등고선 자료와 환경부에서 제공하는 토지피복도의 자료를 GIS 프로그램에 입력하여 제작하였다.

WindSim에서 해석영역의 경계지점에서의 풍속은 근사적으로 평지에서의 연직 풍속분포에 해당하는 대수법칙(Log law)의 경계조건이 적용되어 계산된다. 이는 해석영역의 경계에 평탄한 지형이 무한히 연결되어 있는 것으로 가정한 경계조건이며, 이 가정으로 해석영역의 경계와 인접한 영역의 계산결과는 다소 오차를 갖는 것으로 알려져 있다⁷⁾. 따라서 문헌상에 제시된 파라미터 연구결과에 따라 경계조건에 의한 예측오차의 영향을 최소화하기 위해 해석영역경계와 최단거리에 위치한 풍력발전기간의 거리를 적어도 5km 이상이 되도록 설정한 후 지형 모델링을 수행하였다⁵⁾.

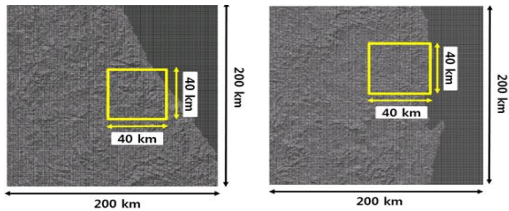
해석 영역은 강원풍력발전단지와 양양풍력발전단지의 해석영역모두 40 km x 40 km로 설정하였으며, 격자 생성결과는 Table 2와 Table 3에 정리하였다. 각각의 표에서 알 수 있듯이 수평축(x,y)격자 간격은 100 m로 균일하게 분할되어 있으며, 수직축(z)은 고도가 증가할수록 격자간격이 증가하도록 분할되어 있다.

Table 2 Number of Cells

	x	y	z	Total
Kangwon	400	400	40	6,400,000
Yeongyang				

Table 3 Minimum and Maximum distances to grids in z axis

	Gangwon Wind Farm		Yeongyang Wind Farm	
	z-dist, min (m)	z-dist, max (m)	z-dist, min (m)	z-dist, max (m)
1	26.4	22.7	8.0	6.3
2	85.5	73.4	25.4	20.1
3	156.7	134.6	45.8	36.1
4	240.1	206.3	69.0	54.5
5	335.7	288.5	95.3	75.2
6	443.5	381.1	124.4	98.2
7	563.6	484.3	156.5	123.5
8	695.8	597.9	191.5	151.2
9	870.3	722.0	229.4	181.1
10	996.9	856.6	270.3	213.4



(a) Gangwon wind farm (b) Yeongyang wind farm
Fig. 4 Grids used for Wind Farms

지형이 급격히 경사진 형태로 변하는 곳은 유동장 해석 시 발산될 수 있으므로 직교 격자(Orthogonalized 3-D grid)를 사용하였다.

바람장 해석은 경계부근에서 발생하는 풍속의 과 예측을 최소화하기 위해 Fig. 4와 같이 큰 격자간격(500 m x 500 m)을 갖는 외부 영역을 해석한 후 그 결과를 경계조건으로 이용하여 조밀한 격자간격(100 m x 100 m)을 갖는 내부 영역을 해석하는 Nesting method를 사용하였다.

3. 연구 결과

WindSim 내에서 연간 발전량 계산을 수행할 때 실제 풍력발전단지의 공기밀도를 적용하기 위해 Table 4에 제시된 것과 같이 강원 풍력발전단지는 최 인근 대관령기상대, 영양 풍력발전단지는 최 인근 울진기상대로부터 동

일기간에 대한 10분 평균의 온도와 압력에 대한 정보를 제공받아 적용하였다. 제공받은 자료는 월평균 값으로 변환되어 적용하였으며, 풍력발전단지 내 개별 풍력발전기 별 고도에 따라 온도와 압력이 보정되어, 공기밀도 계산 및 발전량 계산에 적용되도록 하였다.

Table 4 Yearly atmospheric information for Daegwanryeong and Uljin Automatic Weather System(AWS)

	Daegwanryeong AWS		
	Temperature (°C)	Pressure (kPa)	Air density (kg/m ³)
2010	7.29	92.6	1.151
2011	6.82	92.6	1.154
2012	6.49	92.7	1.156
	Uljin AWS		
	Temperature (°C)	Pressure (kPa)	Air density (kg/m ³)
2009 - 2010	12.0	100.93	1.231
2010 - 2011	12.3	100.94	1.233
2011 - 2012	12.4	100.99	1.233

WindSim으로 예측한 강원풍력발전단지와 영양 풍력발전단지의 연간에너지 발전량을 각 풍력발전단지의 CDM(Clean Development Mechanism) 결과보고서의 내용과 비교하였다. CDM 보고서 상에 제시된 강원풍력발전단지과 영양풍력발전단지의 발전량은 발전단지 내에 위치한 전력량계에 의해 측정된 값으로, 발전단지에서 외부 변전소까지의 송전 손실이 고려되지 않은 발전량이다.

강원풍력발전단지의 경우 CDM 보고서 상에 제시된 단지 가동률인 2010년 97.4 %, 2011년 97.8%, 2012년 99.0% 를 WindSim 연간 발전량 예측결과에 적용하여, 연간 발전량을 계산하였다. 하지만, 영양풍력발전단지의 경우 CDM 보고서상에 단지 가동률이 제시되지 않아, 강원 풍력발전단지 가동률의 평균인 약 98%를 WindSim 연간 발전량 예측결과에 적용하여, 연간발전량을 계산하였다.

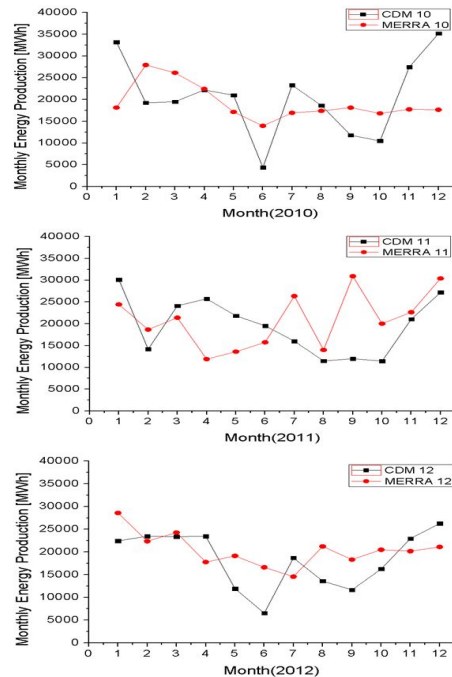
Table 5에서 알 수 있듯이 CDM 결과 보고서에 있는 강원풍력발전단지의 실측연간에너지발전량과 WindSim으로 예측한 연간에너지발전량의 오차는 모든 기간에 대해 10.9 % 이내인 것을 확인하였으며, 영양풍력발전단지의 실측연간에너지 발전량과 WindSim으로 예측한 연간에너지발전량의 오차는 모든 기간에 대해 7.8 %이내인 것을 확인하였다. 이는 이전 문헌에 제시된 WindSim과 기상관측자료를 이용하여 복잡지형의 풍속예측 정확도를 연구한 결과인 이격거리가 약 7~8 km 일 경우 오차가 6 % 이내이며, 이격거리가 약 21~25 km 일 경우 오차가 10 %이내인 결과와 비교하였을 때 발전량이 대략적으로 풍속의 세제곱에 비례하는 것을 감안하면, 이전결과와 유사하거나, 더 좋은 예측 결과를 보여준 것으로 판단된다^{2), 5)}.

또한 WindSim 과 자동기상관측기 풍황 자료를 이용하여 강원풍력발전단지의 연간 발전량 예측을 수행하고 CDM 보고서 결과와 비교하여 오차가 8% 이내임을 보였던 이전 연구 결과와 유사한 결과로 판단된다⁴⁾.

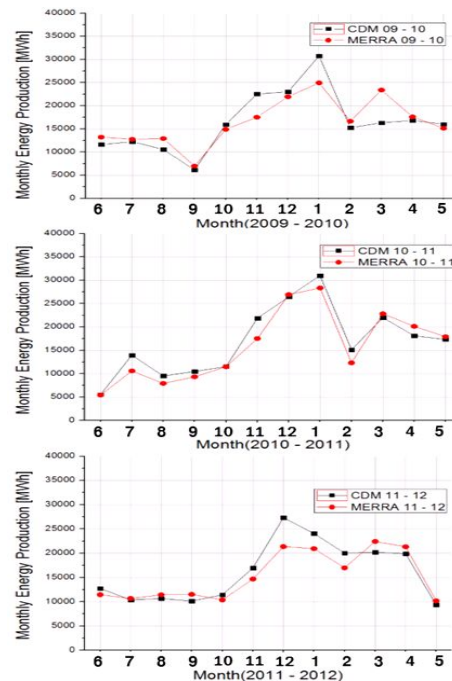
Table 5 Comparison of measured and predicted AEP

	Gangwon Wind Farm		
	AEP(GWh)		Error (%)
	WindSim	CDM	
2010	230.8	246.3	-6.3
2011	250.2	234.8	6.6
2012	244.8	220.7	10.9
	Yeongyang Wind Farm		
	AEP(GWh)		Error (%)
	WindSim	CDM	
2009 - 2010	197.9	197.2	-1.7
2010 - 2011	190.8	202.9	-7.8
2011 - 2012	183.5	193.2	-6.9

따라서, MERRA 재해석 데이터를 이용하였을 때 기상관측자료를 이용한 결과와 비교하여, 연간 발전량 예측만으로 본다면 크게 다르지 않은 예측 정확도를 보여주고 있는 것으로 판단된다.



(a) Gangwon wind farm



(b) Yeongyang wind farm

Fig. 5 Monthly energy production

Fig. 5는 강원풍력발전단지과 영양풍력발전 단지의 실측 및 예측 월별 에너지발전량을 나타낸다. 그림에서 살펴보면, 강원풍력발전 단지의 경우 MERRA 재해석 데이터를 이용하여 예측한 월별 발전량의 경향이 CDM 보고서의 발전량의 경향을 유사하게 따라가지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 영양풍력 발전단지의 경우 연도에 걸쳐 대체로 MERRA 재해석 데이터의 발전량 예측 결과와 CDM 보고서의 발전량 측정 결과가 일관적인 경향성을 보여주는 것을 알 수 있다.

Table 6 Linear Regression of AEPs predicted from MERRA and provided in CDM report.

Gangwon Wind Farm	2010	2011	2012
	0.021	0.003	0.207
Yeongyang Wind Farm	2009-2010	2010-2011	2011-2012
	0.744	0.933	0.856

Table 6은 Fig. 5에 제시된 월평균 예측 발전량과 실측발전량 사이의 상관정도를 정량적으로 알아보기 위해 수행한 선형회귀분석 결과를 나타낸다. 선형회귀분석에 있어 상관계수 R^2 값은 1에 가까울수록 상관관계가 높은 것을 나타내며, 일반적으로 0.7 이상인 경우 매우 높은 상관관계를 나타낸다. Table에서 알 수 있듯이 강원풍력발전단지의 경우 상관계수 R^2 값이 0.3 보다 작아 상관관계가 거의 없는 반면, 영양풍력발전단지의 경우 0.7 이상으로 매우 높은 상관관계를 보이는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 MERRA 재해석 자료의 발전량 예측 정확도를 알아보기 위해 비교할 수 있는 실측 데이터가 CDM 보고서 상에 제시된 월간 발전량으로 제한되어있기 때문에 정확한 오차의 원인에 대한 정량적 분석이 어렵

지만, MERRA 예측과 CDM 보고서의 결과의 차이를 발생시키는 요인을 고려해 보면 다음과 같다.

첫 번째로 풍력발전기의 고장에 의해 발전을 할 수 없는 부분은 MERRA를 이용한 예측에서는 시간 영역에서 정확히 고려되지 않고, 전체 발전량 예측 결과에 연간 가동률을 적용하여 계산되기 때문에, 월별 발전량 추이에 반영되지 못하게 된다. 따라서 이는 월별 발전량 추이에 대한 차이를 발생시킬 것으로 판단된다.

또한, 육상풍력발전단지 대부분이 풍속이 높은 복잡지형에 위치하고 있기 때문에 풍향 데이터의 위치와 예측하고자 하는 지점의 거리가 멀어질수록 예측 정확도는 떨어지게 된다. 따라서, 강원풍력발전단지의 경우 이격거리가 20 km 이상으로 이격거리가 7km 정도인 영양풍력발전단지에 비해 예측 정확도가 떨어지게 되는 것으로 판단된다. 비록 강원풍력발전단지의 연간발전량 예측 오차는 10.9% 이내로 양호하지만, 월간 발전량의 상관관계가 거의 없는 것으로 볼 때, 예측 결과는 우연한 결과일 수 있을 것으로 판단된다.

하지만, 정량적이고 일반적인 MERRA 재해석 데이터의 풍력자원 예측 오차의 원인을 분석하기 위해서는 보다 많은 지점에서의 기상관측 자료와의 비교를 통한 MERRA 재해석 데이터의 예측 비교연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 MERRA 재해석 자료를 국내 복잡지형에 위치한 강원풍력발전단지과 영양풍력발전단지의 연간에너지발전량 예측에 적용하여, 그 적용 가능성을 알아보았다. 풍력 발전단지의 가동률은 강원풍력발전단지의 경

우 CDM 보고서에 제시되어있는 가동률을 적용하였으며, 영양풍력발전단지의 경우 CDM 보고서에 가동률이 제시되지 않아, 강원풍력발전단지 가동률의 평균을 적용하였다.

WindSim으로 예측한 2010년 ~ 2012년의 3년간의 연간에너지발전량과 CDM 결과보고서에 기술된 실측발전량을 비교한 결과 강원풍력발전단지의 경우 오차는 10.9 % 이내이며, 영양풍력발전단지의 경우 오차는 7.8 % 이내임을 알 수 있었다.

또한 강원풍력발전단지과 영양풍력발전단지의 월별 발전량의 경향성을 살펴본 결과, 강원풍력발전단지의 경우 상관관계수가 0.3 미만으로 매우 낮아 상관관계가 거의 없는 것으로 계산되었으며, 영양풍력발전단지의 경우 상관관계수가 0.7 이상으로 매우 높은 것으로 계산되었다. 이는 MERRA 재해석 자료의 이격거리가 20km 이상인 강원풍력발전단지의 경우 연간 발전량 예측오차가 10.9 % 이내로 양호하지만, 월간 발전량의 상관관계가 거의 없는 것으로 볼 때, 예측 결과는 우연한 결과일 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, MERRA 재해석 자료의 이격거리가 약 7km 정도인 영양풍력발전단지의 경우 0.7 이상의 매우 높은 상관관계와 함께 월간 발전량을 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때 MERRA 재해석 자료를 이용하여, 국내 복잡지형에서의 풍력자원예측은 기상관측타워가 설치되기 전에 인근 지점의 예비 타당성을 판단하는 데는 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구에서는 국내 복잡지형에 위치한 2개 풍력발전단지에서의 결과만을 비교 분석 하였기 때문에, 향후 보다 정확한 결과를 위해서는 보다 많은 풍력발전단지에 MERRA 재해석 자료를 적용하여 발전량을 예측해보고 실측자료

와 비교 분석을 수행해야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구의 내용 중 일부는 한국정밀공학회 2013 추계 학술대회에 발표한 내용이 포함되어 있습니다. 본 연구는 해양수산부의 해양청정에너지개발사업 "10MW급 부유식 파력-해상풍력 연계형 발전 시스템 개발 및 인프라 구축"의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

또한 본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (NO.20134030200240)

Reference

1. P. Moreno, A. R. Gravdahl, M. Romero, Wind flow over complex terrain: Application of linear and CFD models, EWEC, Madrid, 2003
2. Y. S. Hwang, I. S. Paek, K. Y. Yoon, W. S. Lee, N. S. Yoo and Y. S. Nam, Application of wind data from automated weather stations to wind resources estimation in Korea, Journal of Mechanical Science and Technology, 24, pp.2017~2023, 2010
3. J.K. Woo, H.G. Kim, B.M. Kim, I. Paek, N.S. Yoo, AEP prediction of a wind farm in complex terrain-WindPRO Vs. WindSim, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 6, pp. 1-10, 2012.
4. J.K. Woo, H.G. Kim, B.M. Kim, I. Paek, and N.S. Yoo, Prediction of annual energy production of Gangwon wind farm using AWS wind data, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 2, pp. 72-81, 2011.
5. J.K. Woo, H.G. Kim, I. Paek, N.S. Yoo, and Y.S. Nam, Wind speed prediction in complex terrain using a commercial CFD code, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31,

- No. 6, pp. 8-22, 2011.
6. H.G. Kim, K.H. Kim, Y.H. Kang, Wind resource assessment for green island - Dokdo, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 5, pp. 94-101, 2012
 7. Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.-K. Kim, S. Bloom, J. Chen, D. Collins, A. Conaty, A. da Silva, et al., MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. J. Climate, 24, 3624-3648, 2011.
 8. Measnet procedure, Enaluation of wite-specific wind conditions Version 1, Measnet, 2009.
 9. D.Fallo, Wind energy resource evaluation in a site of central Italy by CFD simulations, Ph.D. Diss., Univ. of Cagliari, DiMeCa, 2007.