

## 3차원 기상 수치 모델을 이용한 분산형 전원의 출력 예측

정윤수<sup>1</sup>, 김용태<sup>2</sup>, 박길철<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>목원대학교 정보통신공학과, <sup>2</sup>한남대학교 멀티미디어학부

### A Three-dimensional Numerical Weather Model using Power Output Predict of Distributed Power Source

Yoon-Su Jeong<sup>1</sup>, Yong-Tae Kim<sup>2</sup>, Gil-Cheol Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of information Communication & Engineering, Mokwon University

<sup>2</sup>Dept. of Multimedia Engineering, Hannam University

**요약** 최근 스마트 그리드와 관련된 프로젝트가 선진국을 중심으로 활발하게 연구되고 있다. 특히, 전력 문제의 장기적 안정 대책으로 분산전원이 주목받고 있다. 본 논문에서는 분산형 전원의 출력 예측을 위해서 물리모델과 통계모델을 조합하여 예측 정보 오차를 비교분석할 수 있는 3차원 기상 수치 모델을 제안한다. 제안 모델은 분산형 전원의 예측정보를 향상시킬 수 있어 안정적인 전력계통 연계를 위한 예측시스템을 가능하다. 성능평가 결과, 제안 모델은 발전량 예측 정확도가 4.6% 개선되었고, 온도보정 예측 정확도는 3.5% 향상되었다. 마지막으로 일사량 보정 정확도는 1.1% 향상되었다.

**키워드** : 분산형 전원, 날씨 예측, 발전량, 예측 시스템, 3차원 수치 모델

**Abstract** Recently, the project related to the smart grid are being actively studied around the developed world. In particular, the long-term stabilization measures distributed power supply problem has been highlighted. In this paper, we propose a three-dimensional numerical weather prediction models to compare the error rate information which combined with the physical models and statistical models to predict the output of distributed power. Proposed model can predict the system for a stable power grid-can improve the prediction information of the distributed power. In performance evaluation, proposed model was a generation forecasting accuracy improved by 4.6%, temperature compensated prediction accuracy was improved by 3.5%. Finally, the solar radiation correction accuracy is improved by 1.1%.

**Key Words** : Distributed Power, Weather Forecasting, Generation, Forecasting System, Three-dimensional Numerical Weather Model

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 스마트 그리드와 관련된 프로젝트들이 선진국을 중심으로 진행 중에 있다. 스마트 그리드는 지구 온난화로 발생하고 있는 다양한 환경 문제를 해결하기 위한 해결책으로써 각광을 받고 있다[1]. 최근

전력을 생산하는 기관에서는 신재생 에너지를 이용하여 사회적 뿐만 아니라 경제적으로 전력 문제를 장기적으로 안정화시킬 대책으로 분산전원이 주목받고 있다. 특히, 분산 전원 중 분산 전원 예측 시스템은 풍력과 태양광으로부터 실시간으로 정보를 제공받아 전원 출력을 예측하고 있다.

Table 1. Comparative Analysis of Prediction System

Division	PJM	ERCOT	Midwest ISO	NYISO	CAISO	SCE	Hydro-Quebec
Prediction Method	Physical models, and statistical models, Integrated data management to predict wind turbine	Physical models and statistical models including power curve data	Physical models, statistical models	Comprehensive analysis with numerical and statistical forecast model by terrain, observation			Physical models and statistical models, generators availability analysis
Usage type	Power production planning and wind power generation forecasts	Electricity production plan	Power transmission, power failures reliability analysis	Power generation plan	Electricity Sales	Development plan	Power generation plan

Table 1은 선진국을 중심으로 운영중에 있는 풍력 발전 예측 시스템을 예측방법과 사용형태로 구분하여 비교 분석하고 있다[2-4]. Table 1처럼 선진국에서는 발전 예측 기술이 지역 특성에 맞게 최적화하여 발전 예측 정확도에 따라 다양한 분야에서 활용하고 있다[5]. 특히, 미국과 유럽은 발전 예측 정확도를 개선하기 위해서 태양 발전 단지보다 풍력 발전 단지를 중심으로 연구를 진행하고 있다[6-7].

그러나, 발전량 예측시스템은 분산형 시스템에 사용되고 있는 전원이 증가할 경우 분산형 시스템의 출력 전력에 차이가 나타난다. 이 경우, 타임 제어 대응 문제와 역조류 증가의 문제로 인하여 변압기의 다운 조류가 줄어든다. 또한, 분산형 전원이 연계된 배전선에는 적정 전압

을 유지할 수 없는 문제가 존재한다.

본 논문에서는 분산형 전원의 날씨 연구 예측 모델 기반의 3차원 기상 수치 모델을 제안한다. 제안 모델에서는 발전량을 산정하기 위해서 실시간 정보를 기반으로 예측 정보 오차율을 비교 분석한다. 또한, 발전량 예측 시스템을 활용하여 WRF의 데이터 동기화 알고리즘을 적용하여 예측 정보 오차율을 낮추고 있다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 분산 전력 시스템에 대해서 알아본다. 3장에서는 날씨 연구 기반의 3차원 기상 수치 모델을 제안하고, 4장에서는 풍력과 태양광 예측 정보 중 정보 오차율을 비교분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

Table 2. Vision of the world's wind power

Division	Data of 2002 year of world	2010 prospect	2020 prospect
Wind power generation (TWh / year)	64.8	512	3,093
Wind power ratio of the power demand (%)	0.4%	2.56%	11.98%
Annual installed wind power capacity (GW) The cumulative wind power installed capacity (GW)	7.2 32	44.8 233	150 1,261
Market growth	35.1%(Last six years)	20%	10%
Wind Power Facility Fee (\$ / kW)	765	555	447
Price development 7m / s standard (¢ / kWh)	3.50	2.62	2.11
The average plant utilization rate (%)	25%	25%	28%
Years of market size (million \$ / year) The cumulative market size (million \$)	63 115	249 1,338	671 6286
Year CO2 reductions (million tons / year) Cumulative CO2 reductions (million tons)	42.3 73.8	307 1,345	1,856 11,786

## 2. 관련연구

태양광 발전은 햇빛을 이용하여 우리가 필요한 전력을 생산한다[8-10]. 태양광 발전은 태양 전지들을 묶어 태양광 패널을 만들어 사용한다. 태양 전력의 수요가 증가하면서 태양 전지와 태양광 어레이의 생산이 크게 늘어나고 있다. 그러나 태양광 발전은 타 에너지 발전 방법에 비해 계절, 시간, 지역의 조건이 까다로워 이용 가능성이 낮은 문제점을 가지고 있기 때문에 추가적인 기술개발이 필요하다[11,12].

그리고, 풍력 발전은 바람을 이용하여 전력을 생산하는 발전 방법이다. Table 2처럼 풍력 발전은 전 세계적으로 많은 국가들이 생산 대비 싼 비용으로 전기를 생산하는 장점을 가진다. 그러나, 풍력 발전은 시스템이 단순하고 회사간 성향이 상이하여 신뢰성 확보가 부족한 것이 단점이다. 특히, 시스템 기술 방식이 outsourcing 에서 inhouse 으로 바뀌어서 폐쇄성이 강하다[13-15].

## 3. 3차원 기상 예측시스템

### 3.1 개요

제안 모델에서는 분산 전원 시스템을 연계하여 전력 발전량을 예측하는 것이 에너지 자원 감소와 지구온난화 같은 환경문제를 해소할 수 있다. 최근에는 분산 전원 시스템의 문제점을 해결하기 위해서 스마트 그리드와 관련된 새로운 전력 산업이 부각되고 있다[16-23]. 제안 모델에서는 분산형 전원의 출력 예측을 위해서 물리모델과 통계모델을 조합하여 예측 정보 오차율을 분석한다. 제안 모델은 분산형 전원의 예측정보를 향상시키기 위해 전력계통과 연계한 예측이 가능한 것이 특징이다.

### 3.2 기상 예측 물리 모델

제안 모델은 3차원 기상 정보를 이용하여 기상 예측 물리 모델의 수치자료를 얻는다.

#### 3.2.1 상세 지형 자료

실시간 기상예측에 사용되는 풍력과 태양광 정보의 자료는 대상 지역에 따라 지형 조건이 정확하게 반영되어야만 예측의 정확성이 높아진다. 제안 모델에서는 환경부의 환경지리정보를 이용하여 상세 지형 자료를 수집한다. 환경부의 환경지리정보 이외에 수집되는 자료는

미국의 국립지리원에서 수집하는 디지털 지형고도 자료를 이용한다. 제안모델에서 사용하고 있는 지형자료는 지형고도와 지표피복 자료를 주기적으로 이용하여 해상도를 구축한다.

#### 3.2.2 예측 영역

제안 모델에서는 3차원 기상 예측시스템에서 사용하는 예측 영역을 동아시아 지역으로 설정하고, 상세 예보 자료는 동아시아 지역에서 생산된 정보를 활용한다. 또한, 제안 모델에서는 바람 예측 정보의 정확성을 위해서 환경지리정보를 구축하여 100m 간격으로 측정한다. 마지막으로 최종 예측 영역으로 지정된 지역에서는 1km 이하의 해상도를 이용하여 기상모델을 구축한다.

### 3.3 초기 및 경계 자료

제안모델에서 사용하는 기상예보 자료는 물리모델을 통해 수집된 기상정보를 이용한다. 3차원 기상 예측시스템의 모델링에 사용되는 자료는 환경 지리 정보를 통해 수집된 정보들의 대표값을 사용한다. 또한, WRF 초기장에 사용되는 자료는 미국에서 수집하는 GFS 예보자료를 사용한다. 이때, GFS 예보자료는 미국 국립환경 예측센터 서버에서 6시간 간격으로 생성되는 데이터를 물리모델에 적용하여 생성한다.

### 3.4 자료 동기화 알고리즘

제안 모델에서 사용하는 자료 동기화 알고리즘은 Fig. 1과 같이 동작되며, 자료 동기화 알고리즘의 목적은 수치 예보 모델의 오차율을 최소화 하는데 있다. Fig. 1에서, 자료 동기화 알고리즘은 동아시아 지역 중에서 풍력 및 태양광을 이용한 발전 단지에서 생성된 자료를 수신받아 물리모델에 적용함으로써 기상예보의 정확도를 향상시킨다.

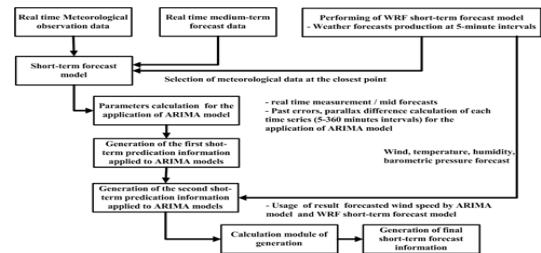


Fig. 1. Data Synchronization Algorithm of WRF

## 4. 성능평가

### 4.1 환경설정

기상 예측 시스템의 성능평가를 위해서 Table 3과 Table 4처럼 강원, 군산 지역의 풍력 단지과 엔알이 부안, 천일 부안의 태양광 단지를 선정하여 우리나라 날씨 예측 시스템에 사용되는 단지별 계량발전량 정시자료를 얻는다. 또한, 성능평가에 사용되는 단지별 계량발전량 정시 자료는 풍력 단지와 태양광 단지에서 48시간동안 예측된 정보를 이용하며, 검증기간 중 예측/계측 자료가 없을 경우와 계량발전량이 0(zero)인 경우를 검증에서 제외하여 선행시간과 계량발전량을 구한다.

Table 3. Experimental Environment Setting

Division	Local	Generator ID	Capacity(kW)
Wind Force	Gangwon	wp_00001 ~wp_00049	98,000
	Gunsan	wp_00070 ~wp_00079	7,900
Sunlight	enal buan	pv_00050	433
	Cheonil buan	pv_00051	498

Table 4. Performance Evaluation Condition

Division	Content
Performance evaluation period	6 May 2016 19-10 days May 18, 2016
Prior evaluation time	48h Prior Time
Source Evaluation	Local per metering generation data

### 4.2 성능분석

제안 모델의 성능평가 결과, 풍력 발전량의 예측 정보에 대한 오차율은 Table 5와 같이 나타났고, 태양광 발전량의 예측 정보에 대한 오차율은 Table 6와 같이 나타났다. Table 5의 결과를 기준으로 풍력 발전량의 예측 정보의 정확도를 개선하기 위해서 풍속 보정 및 후류 손실 과정을 적용하였다. 적용결과, 기존 풍력 발전량에 비해 발전량 예측 정확도는 4.6% 향상되었다. 그리고, Table 6의 결과처럼 태양광 발전량 예측 정보의 정확도를 개선하기 위해서 에러에 온도 보정 및 일사량 보정 과정을 적용하였다. 태양광 발전량 예측 정보 또한 풍력 발전량처럼 기존 태양광 발전량을 비교 평가한 결과, 온도보정 예측 정확도는 3.5% 향상되었고, 일사량 보정 정확도는 1.1% 개

선되었다.

Table 5. Wind power forecasting error rate information NAME (%)

Division	Forecast prior time				
	1 hour	6 hour	12 hour	24 hour	48 hour
Total Average	11.9	12.4	13	13.8	14.9
Gangwon	12.1	12.6	13.4	14.2	15.8
Taegisan	14.6	14.9	15.6	16.5	17.5
Jeongbuk	9.0	9.7	10.3	10.7	11.4

Table 6. Photovoltaic power generation error rate forecasts NAME (%)

Division	Forecast prior time				
	1 hour	6 hour	12 hour	24 hour	48 hour
Total Average	10.6	10.9	11	11.7	12
Gochang Solar	10.3	10.4	10.7	11.2	11.9
Chenilbuan	11	11.2	11.5	12.1	12.4
Enalbuan	10.7	11.1	11.3	11.7	11.8

## 5. 결론

최근 스마트 그리드와 관련된 프로젝트를 선진국을 중심으로 진행되면서 지구 온난화와 관련된 여러 문제들을 해결하려고 하고 있다. 본 논문에서는 분산형 전원의 출력 예측을 위해서 물리모델과 통계모델을 조합한 3차원 기상 수치 모델을 제안하였다. 제안 모델은 분산형 전원의 예측정보를 향상시킬 수 있어 안정적인 전력계통 연계를 위한 예측시스템이 가능하였다. 성능평가 결과, 제안 모델은 발전량 예측 정확도가 4.6%, 온도보정 예측 정확도는 3.5%, 일사량 보정 정확도는 1.1% 개선되었다. 향후 연구에서는 본 연구의 결과를 기반으로 실제 시스템에 적용하여 시스템의 성능 평가를 수행할 계획이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2016년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

- [1] I. Martí, G. Kariniotakis, P. Pinson, I. Sanchez, T. S. Nielsen, H. Madsen, G. Giebel, J. Usaola, A. M. Palomares, R. Brownsword, J. Tambke, U. Focken, M. Lange, G. Sideratos and G. Descombes, "Evaluation of Advanced Wind Power Forecasting Models - The Results of the Anemos Project," *Proceedings of the European Wind Energy Conference 2006*, pp. 1-9, 2006.
- [2] I. Waldl and G. Kariniotakis, "The ANEMOS Wind Power Forecasting Platform," *Proceedings of the European Wind Energy Conference 2006*, pp. 1-4, 2006.
- [3] G. N. Kariniotakis, J. Halliday, R. A. Brownsword and D. Garrett, *Next Generation Short-Term Forecasting of Wind Power - Overview of the ANEMOS Project*, HAL archives-ouvertes.kr, 2006.
- [4] J. Tambke, C. poppinga, L. V. Bremen and J-O. Wolff, "Advanced Forecast Systems for the Grid Integration of 25GW Offshore Wind Power in Germany," *Proceedings of the Scientific Track of the European Wind Energy Conference*, pp. 1-11, 2006.
- [5] X. Peng, D. Deng, J. Wen, L. Xion, S. Feng, B. Wang, "A very short term wind power forecasting approach based on numerical weather prediction and error correction method," *Proceedings of the 2016 China International Conference on Electricity Distribution(CICED)*, pp. 1-4, 2006.
- [6] S. Z. Wang, G. Shan, Z. Xin and Z. Ningyu, "A multi-timescale wind power forecasting method based on selection of similar days," *Proceedings of the 2016 China International Conference on Electricity Distribution(CICED)*, pp. 1-5, 2006.
- [7] Q. Wang, C. B. Martinez-Anido, H. Wu, A. R. florita and B-M. Hodge, "Quantifying the Economic and Grid Reliability Impacts of Improved Wind Power Forecasting", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 7, Issue. 4, pp. 1525-1537, Dec. 2016.
- [8] P. Pinson and G. Kariniotakis, "On-line Assessment of Prediction Risk for Wind Power Production Forecasts", *Wind Energy Journal*, Vol. 7, pp. 119-132, May-June 2004.
- [9] A. Couto, L. Rodrigues, P. Costa, J. Silva, A. Estanqueiro, "Wind power participation in electricity markets - The role of wind power forecastsg", *Proceedings of the 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, pp. 1-6, 2016
- [10] S. E. Haupt and B. Kosovic, "Big Data and Machine Learning for Applied Weather Forecasts: Forecasting Solar Power for Utility Operations," *Proceedings of the 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*, pp. 496-501, 2015.
- [11] M. Abuella and B. Chowdhury, "Solar power forecasting using artificial neural networks," *Proceedings of the 2015 North American Power Symposium (NAPS)*, pp. 1-5, 2005.
- [12] M. Rana, I. Koprinska and V. G. Agelidis, "Forecasting solar power generated by grid connected PV systems using ensembles of neural networks," *Proceedings of the 2015 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pp. 1-8, 2015.
- [13] A. Laouafi, M. Mordjaoui and D. Dib, "One-hour ahead electric load and wind-solar power generation forecasting using artificial neural network," *Proceedings of the 2015 6th International 2015 6th International*, pp. 1-6, 2015.
- [14] C. Poolla, A. Ishihara, S. Rosenberg, R. Martin, A. Fong, S. Ray and C. Basu, "Neural network forecasting of solar power for NASA Ames sustainability base," *Proceedings of the 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*, pp. 1-8, 2014.
- [15] V. P. Singh, V. Vijay, M. S. Bhatt and D. K. Chaturvedi, "Generalized neural network methodology for short term solar power forecasting," *Proceedings of the Generalized neural network methodology for short term solar power forecasting 2013 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, pp. 58-62, 2013.
- [16] Y. S. Jeong, "A User Privacy Protection Scheme based on Password through User Information Virtuality in Cloud Computing," *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 1, No. 1, pp. 29-37, Nov. 2011.
- [17] Y. S. Jeong, "Design of Security Model for Service of Company Information," *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 2, No. 2, pp. 43-49, Nov. 2012.
- [18] Y. S. Jeong, "Design of Security Service Model in Dynamic Cloud Environment," *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 2, No. 2, pp. 35-41, Nov. 2012.
- [19] S. S. Shin, M. Y. Shin, Y. S. Jeong and J. H. Lee, "An Investigation of Social Commerce Service Quality on Consumer's Satisfaction," *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 5, No. 2, pp. 27-32, Jun. 2015.
- [20] S. S. Shin, Y. S. Jeong and Y. J. An, "A Study of

Analysis and Response and Plan for National and International Security Practices using Fin-Tech Technologies,” Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 5, No. 3, pp. 1-7, Sep. 2015.

- [21] Y. S. Jeong, “Business Process Model for Efficient SMB using Big Data,” Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 5, No. 4, pp. 11-16, Dec. 2015.
- [22] Y. S. Jeong, “A Study of An Efficient Clustering Processing Scheme of Patient Disease Information for Cloud Computing Environment,” Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 6, No. 1, pp. 33-38, Mar. 2016.
- [23] Y. S. Jeong, “Design of Prevention Model according to a Dysfunctional of Corporate Information,” Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 6, No. 2, pp. 11-17, Jun. 2016.

## 저 자 소 개

정 윤 수(Yoon-Su Jeong) [종신회원]



- 1998년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 학사
- 2000년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 석사
- 2008년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 박사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 정보통신공학과 조교수  
<관심분야> : 유·무선 통신 보안, 정보보호, 헬스케어, 빅 데이터

김 용 태(Kim, Yong Tae) [정회원]



- 1984년 2월 : 한남대학교 계산통계학과 학사
- 1988년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과 석사
- 2008년 2월: 충북대학교 전자계산학과 박사
- 2002년 12월 ~ 2006년 2월 : (주)가림정보기술 이사
- 2010년 9월 ~ 현재 : 한남대학교 멀티미디어학부 교수  
<관심분야> : 모바일 웹서비스, 정보 보호, 센서 웹, 모바일 통신보안

박 길 철(Park, Gil Cheol) [정회원]



- 1983년 2월 : 한남대학교 계산통계학과 학사
- 1986년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과 석사
- 1998년 2월 : 성균관대학교 전자계산학과 박사
- 1998년 8월.~현재 한남대학교 멀티미디어학부 교수
- 2005년 2월 : 한국정보기술학회 이사 멀티미디어 분과 위원장
- <관심분야> : Multimedia And Mobile Communication, Network Security