

특별세션 8 / 에너지 기상 1

재생에너지 기상지원을 위한 기상청 고해상도 수치모델 개선계획

이은희, 이정순, 정소연, 이용희

기상청 수치모델링센터 수치자료응용과

재생에너지 발전량 예측 정확도 향상은 전력망 안정성 확보의 핵심 과제이며, 특히 한반도의 복잡한 지형 조건에서는 정확하고 상세한 에너지 기상정보 제공이 필수적이다. 본 연구는 기상청 지역모델을 기반으로 지면모델, 고층 바람 산출 기법, 운량 정보 개선을 통해 에너지 기상 예측 능력을 고도화하는 것을 목표로 하였다.

먼저, 태양광 발전량 예측 정확도 향상을 위해 지면모델의 복사(radiation) 모수화를 개선하였다. 태양의 위치와 대기 중 에어로솔 및 수증기, 그리고 구름의 광학적 특성을 반영하여 법선면 일사량(Direct Normal Irradiance, DNI)을 직접 산출하도록 모델을 개선하였다. 이는 기존의 후처리 과정에서 수평면 일사량으로부터 간접적으로 계산하던 방식 대비, 복사전달 과정을 통한 물리적으로 일관된 예측이 가능해졌다.

아울러, 풍력 발전을 위한 고층 바람 정보의 정확도를 개선하고자 하였다. 기존에는 후처리 단계에서 단순한 대수 내삽법(logarithmic interpolation)을 통해 80m 높이의 바람만을 산출하였으나, 본 연구에서는 지표 물리 모수화(surface physics parameterization)를 활용하여 80m, 140m, 220m 높이의 바람장을 모델 내에서 직접 계산하도록 하였다. 이로써 대기안정도, 행성경계층(Planetary Boundary Layer, PBL) 높이 변화, 난류 특성이 매 시간스텝마다 물리적으로 일관되게 반영되어 시공간적 연속성이 확보되며, 한반도의 복잡한 산악지형과 해안선에서 발생하는 지형간제력이 바람 연직분포에 직접적으로 반영되어 풍력단지가 주로 위치한 산간지역과 해안지역에서의 예측 정확도 향상을 기대할 수 있다. 또한 야간 복사냉각에 의한 역전층 형성이나 주간 대류 발달 등 대기안정도의 일변화가 고층 바람에 실시간으로 반영되어 시간별 풍력 발전량 예측 정확도 개선에 기여할 수 있다.

마지막으로, 구름정보의 세분화를 통해 기존에 모델면(model level)에서 출력하던 단순한 구름 정보를 개선하여, 상층(high), 중층(middle), 하층(low) 운량으로 구분된 상세한 운량 정보를 산출하도록 하였다. 이는 각 고도별 구름의 태양 복사 차단 효과를 보다 정확히 반영할 수 있어 태양광 발전 예측에 기여할 수 있다.

개선된 모델의 성능 검증을 위해 관측자료를 이용한 비교 분석을 수행하고 있으며, 본 발표에서는 주요 검증 결과를 공유할 예정이다. 본 연구 결과는 국내 재생에너지 발전량 예측 정확도 향상과 효율적인 전력계통 운영에 기여할 것으로 기대된다.

Keywords: 에너지기상, 지역모델, 법선면일사량, 고도별 바람, 운량, 재생에너지

※ 이 연구는 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술 개발』 과제(KMA2018-00721)의 일환으로 수행되었습니다.

특별세션 8 / 에너지 기상 2

에너지 맞춤형 KIM-응용 모델 구축현황 소개

이상삼, 이지선, 김은미, 최희욱, 김승범

국립기상과학원 기상응용연구부

국립기상과학원은 2019년부터 그린맵(www.greenmap.go.kr) 홈페이지를 통해 풍력(10m, 80m의 풍향/풍속) 및 태양광(하향단파복사)의 단기예측(48시간) 정보를 실시간으로 제공하고 있다. 이를 통해 전국 어느 지역에서나 원하는 지점에서의 풍력 및 태양광 관련 기상예측정보를 확인할 수 있다. 그러나 기존의 단기예측 방법은 UM 지역모델(1.5km) 예측정보를 통계적인 방법으로 고해상도(100m) 규모상세화하여 풍력 발전에 주로 사용되는 저고도에서 정확성 문제 등 한계가 드러나 물리적 규모상세화 방법에 대한 요구가 대두되었다. 이에 국립기상과학원에서는 한국형 수치예보모델(KIM)의 지역모델 스킴을 도입하여 에너지기상에 특화된 에너지 맞춤형 KIM-응용 모델(500m 해상도, 남한영역)을 개발중에 있다. 본 발표에서는 에너지 맞춤형 KIM-응용 모델의 구축현황과 검증결과를 소개하고, 향후 개선 방안에 대해 논의하고자 한다.

Keywords: 풍력에너지, 에너지기상, 고해상도 재생에너지 예측모델, KIM-응용 모델

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「수요자 맞춤형 기상정보 산출기술개발 연구」 (KMA2018-00622)의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 8 / 에너지 기상 3

WRF-Solar 기반 일사량 예측 성능 개선을 위한 구름 매개변수 민감도 분석 및 최적화

윤지원^{1,2}, 오승민⁴, 김현수⁵, 박선기^{1,2,3}

¹이화여자대학교 기후·환경변화예측연구센터

²이화여자대학교 국지재해기상예측기술센터

³이화여자대학교 기후에너지시스템공학과

⁴강원대학교 전자·AI시스템공학과

⁵전력거래소 중앙전력관제센터

기후 변화 대응과 재생에너지 확대 노력으로 태양광 발전은 빠르게 증가하고 있다. 그러나 태양광 발전은 기상 조건에 따라 변동성이 크다. 특히 일사량은 태양광 발전량 산정의 핵심 요소로, 전력 수요 예측, 계통 안정성 확보, 재생에너지 통합 관리에 중요한 역할을 한다. 따라서 태양광 발전의 안정적 운영과 에너지 시스템 효율성 제고를 위해서는 정확한 일사량 예측이 필수적이다.

구름은 시·공간적 변동성이 크고, 분포, 두께, 연직 구조, 광학적 특성 등 다양한 물리적 속성을 지니고 있어, 일사량 변동과 예측 불확실성에 가장 큰 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 태양광 예측에 특화된 WRF-Solar 모델을 기반으로 구름 관련 매개변수의 민감도 분석을 수행하여, 일사량 예측에 가장 큰 영향을 미치는 주요 매개변수를 선정하였다. 나아가, 마이크로 유전 알고리즘(μ GA)과 WRF-Solar 모델을 결합한 지능형 최적화 시스템(WRF-Solar- μ GA)을 구축하여 선정된 매개변수를 대상으로 우리나라 기상 조건에 적합한 값을 제시하였다. 이러한 최적화 과정을 통해 WRF-Solar 모델의 일사량 예측 성능이 개선되었음을 확인하였다. 본 연구는 일사량에 가장 큰 영향을 미치는 구름 관련 매개변수에 대한 민감도 분석과 최적화를 순차적으로 수행함으로써 WRF-Solar 기반 일사량 예측의 정확도를 향상시키고, 태양광 발전량 예측의 신뢰성 제고에 기여할 것으로 기대된다.

Keywords: WRF-Solar, 일사량 예측, 태양광 발전, 민감도 분석, 최적화

※ 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2021R1A2C1095535)이며, 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2018R1A6A1A08025520)입니다. 또한, 전력거래소의 ‘태양광 발전량 예측 정확도 개선을 위한 수치기상모델의 성능 향상’ 과제의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

Quantifying the Effects of Cloud Vertical Distribution on Photovoltaic Utilization: A Data-Driven Approach

Yo-Hwan Choi¹, Hyunsu Kim^{1,2}, Jae In Song¹, Seok Min Choi¹, Chae Rin Kim¹,
Kun Suk Lee¹, and Chang Gun Lee¹

¹National Electric Power Control Center, Korea Power Exchange

²Department of Oceanography, Chonnam National University

The recent surge in photovoltaic (PV) installations has posed new operational complexities in an electric power system management by significantly reducing the net load during daytime hours. This shift challenges the balance between electricity supply and demand, particularly under fluctuating weather conditions. The PV generation is primarily driven by solar irradiance, which is determined not only by solar altitude but also by a variety of meteorological factors—most notably, cloud cover. Clouds serve as the dominant attenuating element by directly obstructing extraterrestrial solar radiation from reaching the Earth's surface. Accordingly, the Korea Power Exchange (KPX) incorporates cloud cover forecasts into its daily predictions for PV generation to ensure stable grid operation.

Currently, the operational forecasting module used by the KPX is based on regional sky condition categories—clear, partly cloudy, and overcast—provided by short-term forecast of the Korea Meteorological Administration (KMA). However, this categorical approach does not adequately account for vertical cloud structure. Since the optical properties and transmittance of clouds vary significantly with altitude, even similar degrees of total cloud coverage can result in substantial differences in surface irradiance and the corresponding PV output.

In this study, we quantitatively analyze the relationship between historical PV utilization rate—defined as the ratio of actual generation to installed capacity—and corresponding values of total cloud cover and low-to-mid-level cloud cover from the KMA. Our results demonstrate that, even under the same sky condition categories, variations in the proportions of high- and low-level clouds can lead to meaningful differences in PV utilization.

Furthermore, we propose a simplified yet effective predictive model that estimates nationwide PV utilization based on regional cloud altitude and distribution characteristics. The findings of this research are expected to enhance short-term forecasting accuracy and support the development of cloud-aware PV management strategies.

Keywords: Energy meteorology, Photovoltaic Energy Prediction, Cloud Distributions

The Impact of Explosive Growth in Renewable Energy on Annual Peak Power Demand: An Approach Based on Synoptic Meteorological Analysis

Hyunsu Kim^{1,2}, Yo-Hwan Choi¹, Jae In Song¹, Heung-Gu Son¹,
Kun Suk Lee¹, Chang Gun Lee¹

¹National Electric Power Control Center, Korea Power Exchange

²Department of Oceanography, Chonnam National University

Power demand is influenced by various variables such as socio-economic factors, temporal factors (e.g., national holidays), and meteorological factors. In particular, the surge of renewable energy, which uses weather as fuel, is continuously increasing the volatility of power demand due to weather condition (i.e., weather sensitivity). Additionally, the rising demand for electrification and eco-friendly energy is expected to further enhance dependency on weather. In South Korea, renewable energy facilities are experiencing explosive growth, with solar power installations accounting for approximately 80% of total renewable generation facilities. The annual peak power demand (APPD) in Korea has traditionally occurred in summer or winter when cooling and heating demand are highest. It has been known that the APPD occurs when the hot and humid North Pacific High expands in the summer, and conversely, when the cold and dry Siberian High expands toward the Korean Peninsula in the winter. However, with the recent increase in solar power installations, the influence of weather seems to be changing the synoptic weather patterns associated with APPD. This study analyzes the synoptic weather patterns on days when APPD occurred over the past five years. As a result, specific synoptic weather patterns capable of producing APPD were identified, all of which met the conditions of maximum heating and cooling demand while ensuring minimal behind-the-meter (BTM) solar power generation. The reason why the condition of minimal BTM solar power generation is significant is that BTM solar power generates the necessary electricity through self-generation, thus reducing the power demand in the power trading market. Therefore, utilizing the prediction results from various numerical weather models to analyze the synoptic weather patterns associated with APPD could contribute to stable power supply operations by recognizing the likelihood of peak power demand occurrences in advance.

Keywords: Energy meteorology, Renewable energy, Power Demand, Solar power, Synoptic analysis

한국에너지기술연구원 재생에너지 잠재량 예측 모델 소개

김창기^{1,2}, 윤창열¹, 김진영¹, 김현구^{2,3}

¹한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실

²과학기술연합대학원대학교 한국에너지기술연구원스쿨 재생에너지공학과

³한국에너지기술연구원 재생에너지연구소

기후 변화 대응과 탄소 중립 목표 달성을 위한 에너지 전환은 전 세계적인 과제가 되었다. 특히, 기업과 국가가 RE100 캠페인에 동참하며 재생에너지 사용 비율을 높이려는 움직임이 활발해지는 상황에서 국가 차원의 재생에너지 보급을 효과적으로 추진하기 위해서는 신뢰성 있는 잠재량 분석과 그에 기반한 정책 수립이 필수적이다. 본 연구는 이러한 배경에서 국내 신재생에너지 보급계획 수립을 위한 기초자료로서, 국내 전 지역을 대상으로 100 × 100 m 해상도로 상세화하여 토지 유형별 태양광 발전량 잠재량 산정 방법론을 소개하고자 한다. 이 방법론은 위치별 지리정보(향, 경사, 고도)와 자원량(일사량), 토지활용도, 설비설치 가능면적 등의 데이터를 기반으로 각 격자별 에너지 생산성과 경제성을 분석하는 데 중점을 두었다. 이를 통해 복잡한 현실 조건을 단순화하면서도 한국의 실제 상황을 반영한 표준 데이터베이스를 구축하였다.

특히, 최근 잠재량 또는 잠재 발전량 등 대부분 문헌에서 제시하는 이론적 잠재량과 실질적인 기술 잠재량간의 차이를 정량적으로 제시하여 기초적인 개념정립에 주력하고자 한다. 본 연구에서 제시한 연구 결과는 환경 규제, 기술 진보, 지원 정책 등의 요인을 종합적으로 고려하여 더욱 정확한 시장 잠재량의 형태로 11차 전력수급기본계획에 반영되었다. 이처럼 격자 연산 방법론은 신재생에너지 시장 잠재량 산정의 객관성을 높이고 정책 활용성을 증대시키는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한, 향후 경제성에 영향을 미치는 추가 요인들과 세부적인 지리정보의 보완을 통해 더욱 정교한 잠재량 분석이 가능할 것이다.

Keywords: 재생에너지 시장잠재량, 지리정보 시스템, 11차 전력수급기본계획, 계통연계

※ 본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업 (C5-2422)으로 수행한 결과입니다.