Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 837-844, vol. 13, no. 4, Aug. 31 2018, t. 90, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.4.837

# 태양광발전설비 원격 관제를 위한 빅데이터 분석 및 처리

권준아* · 김영근* · 이종찬** · 김원중***

# Big Data Analysis and Processing for Remote Control of PV Facilities

Jun-A Kwon* · Young-Geun Kim* · Jong-Chan Lee** · Won-Jung Kim***

요 약

신재생에너지의 발전량 변동에 따라 기존 발전기의 발전량을 증가시키거나 감소시켜야 하는데, 발전량 증·감발에 빠르게 반응을 하는 발전기들은 상대적으로 발전비용이 크므로 태양광발전의 예측 정확도에 따라서 기동발전계획의 비용 효율성이 영향을 받게 된다. 이에 본 논문에서는 태양광 발전량 예측의 불확실성을 최소화하기 위하여 빅데이터 분석 및 처리를 적용한 태양광발전설비 원격관제 시스템을 제안하였다.

ABSTRACT

In order to increase the generation of renewable energy, it is necessary to increase or decrease the generation amount of existing generators. The generators that respond rapidly to increase / decrease the generation amount generally have high generation cost. Therefore, Cost effectiveness is affected. In this paper, we propose a PV remote control system with big data to minimize the uncertainty of solar power generation prediction.

키워드

Photovoltaic, Solar Power, Big Data, Machine Learning
광 발전, 태양광 에너지, 빅데이터, 기계 학습

## Ⅰ. 서 론

최근 환경문제는 특정 국가만의 이슈가 아닌 지구상 모든 나라들의 커다란 관심사와 이슈가 되고 있다. 특히, 에너지 소비 급증으로 인한 환경 오염문제는 매우 심각한 실정이다. 이러한 문제 해결을 위해 선진국을 중심으로 그린에너지 산업을 주도하고 있으며, 신재생에너지원인 태양광 발전시스템에 대한 관심이 고조되고 있다[1-2]. 또한 태양광은 무공해 천연에너지이면서 지속적일 뿐 아니라 무제한으로 에너지를 얻을 수 있는 장점이 있으며, 대규모발전소를 보완하는 분산전원의 역할을 통해 해마다 반복되는 전력부하의 피크전력을 감소시킬 수 있어 더욱 더 필요성이 커지고 있다[3].

태양광 발전의 특징은 인위적으로 조절이 불가능하며 기상상태에 따라 전력 생산량이 달라지는 전력생산 변동성을 지닌다[4]. 따라서 태양광 발전시스템의 안정적이고 효율적인 부하운용을 위해서는 기상정보

* 전남정보문화산업진흥원(kja@jcia.or.kr)
** (주)그린테크(jc@greeninfo.kr)
*** 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과
· 접 수 일 : 2018. 05. 31
· 수정완료일 : 2018. 07. 08
· 게재확정일 : 2018. 08. 15
· Received : May. 31, 2018, Revised : Jul. 08, 2018, Accepted : Aug. 15, 2018
· Corresponding Author : Won-Jung Kim
Dept. of computer Engineering, Sunchon National University,
Email : kwj@sunchon.ac.kr

를 통한 전력 생산량에 대해 정확한 예측이 필요하다. 태양광 발전시스템의 전력 생산량에 영향을 미치는 온도, 습도, 강수량 등의 기상정보는 기상청의 일기예보 시스템을 통해 쉽게 사용할 수 있다. 하지만 가장 큰 영향을 미치는 일사량에 대한 정보는 기상청에서 예보해 주지 않는다. 따라서 정확한 태양광 발전량을 예측하기 위해서는 일사량 예측에 관한 연구가 선행되어야 한다[5].

이에 본 논문에서는 태양광 발전소 전체와 모듈별 발전량에 대한 예측에 가장 큰 영향을 주는 일사량 예측 값을 사용하여 태양광 발전량 예측이 가능한 빅데이터 기반의 태양광발전설비 원격 관제 시스템을 제안하였다.

## II. 태양광 발전 예측기술

태양광 발전은 근본적으로 태양의 빛 에너지를 변환시켜 전기를 생산하기 때문에 태양에서 오는 빛의 일사량이 발전량에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다[6]. 태양광 발전량 예측에 사용될 수 있는 정보로는 일사량, 온도, 습도 등과 같은 기상 예측 정보와 과거 기상정보, 과거 태양광 발전량 이력을 활용하고 있다.

최근 태양광 발전 예측 기술은 초기 투자비용이 높은 태양광 발전소의 안정적인 발전수익을 판단하기 위한 장기예측법과, 태양광 발전소와 다른 전력계통과의 안정적 연계 및 효율적인 운영을 위한 단기예측법이 있다[7]. 본 논문에서는 단기예측법을 이용한 태양광발전량 예측 및 설비원격 운영 기술에 대해 제안하였다.

단기예측법인 하루 전 태양광 발전 예측은 NWP(numerical weather prediction) with model output statistics 또는 statistical learning methods를 이용하며, 한 시간 이내 예측 모델은 sky images 또는 statistical learning methods를 많이 사용한다.

독일 E. Lorenz 그룹에서 발표한 SVM을 이용한 단일 사이트에서 태양광 발전 예측에 관한 최근 연구를 살펴보면, 그림 1과 같이 태양열 발전기 발전량 측정값과 NWP의 일사량 예측 값, 위성기반 구름 모션 벡터 값의 조합에 따라 평균 제곱근 편차가 다른 것을 볼 수 있으며, 한 시간 이내 예측에서 중요한 입력값으로는 태양열 발전기 발전량 측정값과 위성 기반 구름 모션 벡터값이 되는 것을 확인할 수 있다.

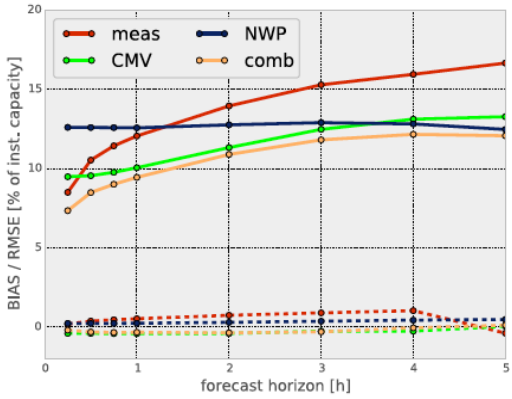


그림1. 단일 태양광 발전기 발전량에 대한 예측 오차율

Fig. 1 Prediction error ratio of single solar generator power generation

2014년 중국 국가전력망공사(SGCC : State Grid Corporation of China)의 경우, 그림 2와 같이 신재생 발전 확대에 대비하여 발전량 예측 정확성 개선을 위한 IBM사의 솔루션 Hybrid Renewable Energy Forecasting solution(HyRef)를 도입하였다. 기상 모델링, 이미징 소프트웨어, 구름 움직임 포착을 위한 카메라, 풍속, 풍향, 온도 모니터링 센서를 활용하여, 발전량 예측을 위한 빅데이터들을 수집하였으며, 풍력단지 내 기상정보를 최소 15분에서 최대 1개월까지 예측 가능하게 하였다. 그 결과 중국 장베이 670MW 풍력단지에서 실증을 통하여 발전사업자의 리스크 감소와 전력수급 안정 효과를 확인 하였고, HyRef 도입 후 전력망으로 전송되는 전력량이 10% 증가 하였으며, 발전량 예측 정확도 향상으로 발전 스케쥴링 및 발전원간 수급 최적 운영이 가능해졌다[8].

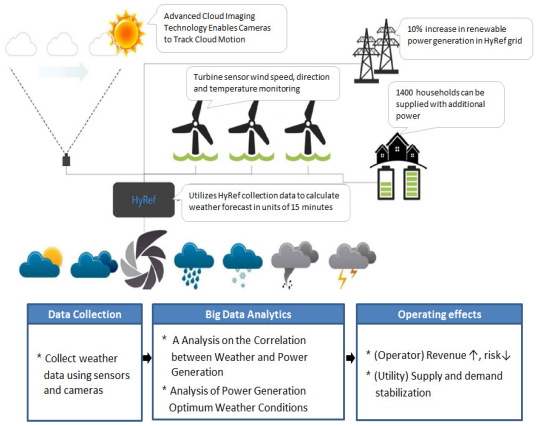


그림 2. 중국 국가전력망공사의 IBM HyRef 운영 방식
Fig. 2 IBM HyRef operation method of china national grid corporation

국내 전력거래소의 경우 2013년부터 3차원 기상예측모델과 특정 단지의 과거 실적 및 발전설비 특성을 고려한 통계모델을 기반으로, 6시간까지의 5분 단위 단기예측과 48시간까지의 1시간 단위 중기예측 정보를 제공한다. 뿐만 아니라, 출력 예측 정보와 함께 불확실도 등 다양한 추가 정보를 함께 제공하여, 효율적이고 안정적인 발전 계획 수립이 가능하도록 진행하였다[9]. 그 결과, 발전량 예측 오차율(%) 기준으로 6시간 예측은 15.7%, 24시간 전 예측은 17.0%의 성능을 보였다. 유럽 등 선진국 기술수준이 24시간 전 예측 오차율이 10~20%인 것을 감안하면 실용화까지 가능한 수준의 성능을 가진 것으로 판단된다. 그 동안 풍력과 태양광의 불확실한 출력특성으로 인한 많은 문제점들이 존재하였으나, 이러한 연구들과 보완을 통해 전력거래 입찰, 발전계획 및 예비력 운영비용 절감 효과가 기대되며, 보다 많은 신재생 자원의 안정적인 계통연계와 시장참여가 가능할 것으로 기대된다.

그 동안 위의 사례들과 같이 많은 신재생발전량 예측에 관한 연구 및 실증이 있었으나, 기대했던 결과와 다르게 본격적으로 실용화되지 못한 이유는 태양광발전 설비가 기존의 배전계통에 연계되면 전압변동, 역률, 주파수, 고조파, 플리커 등의 전력품질에 영향을 주기 때문에 전기공급약관 제39조와 분산형 전원의 배전계통연계 기술기준 등의 지침들의 규격을 만족시키지 못하는데 원인이 있다.

이처럼 신재생에너지 발전은 기상자료를 기반으로 발전량을 예측하여 적용하는 것과 별도로 부하의 증가 및 감소와 상관없이 신재생발전의 특성상 태양의 방사에너지 양에 따라 발전되는 전력생산량이 일정하지 않아서 배전계통과의 잦은 연계와 분리를 반복하게 되는 문제점으로 인하여 각종 고장 및 전력품질 저하가 발생하는 것이 가장 큰 문제점 분석되었다.

그 동안 자체적인 태양광발전 고장원인의 분석과 배전계통 연계용량 확대를 위하여 지속적으로 모니터링하여 분석한 결과, 배전계통 운영시스템과 함께 협조하여 운용되어야할 요소들은 기상정보 이외에도 전압변동, 전압파형, 전압 불평형, 전류 파형, 위상, 역률 등 다양한 요소들이 있는 것으로 파악되었다.

## III. 빅데이터 기반의 태양광발전설비 원격 관제 시스템 제안

### 3.1 향상된 태양광발전량 예측 및 설비 원격 운영 기술의 필요성

태양광 발전 수용률이 낮을 때는 전력망에 미치는 영향이 크지 않아 태양광 발전량을 최대한 수용 가능하지만, 태양광 발전 수용률이 높을 때는 전력망에 미치는 영향이 크기 때문에 무조건적인 수용은 불가능하다.

표 1. 발전량 예측 모형의 주요 변수
Table 1. Critical Variables in the Power Prediction Model

| Critical Variables in the Power Prediction Model | Facility correction factor |
|---|---|
| · Solar Radiation Estimation<br>· Module area (sq. meter)<br>· Solar slope, plane angle of incidence<br>· Module rated generation<br>· Facility correction factor | · Solar cell maximum / current/ standard temperature<br>· Module circuit loss correction<br>· Module load matching |

전력망에 미치는 영향을 최소한으로 줄이면서 태양광 발전량 수용을 최대로 높이기 위해서는 정확한 발전량 정보가 필요하다. 이를 위해서 태양광 발전량 예측 오차를 최대한 낮추어야한다. 이러한 오차를 줄이기 위해서는 온도, 습도, 구름의 양과 흐름 등의 기상 예측 데이터들 및 태양광 발전기에서 얻어지는 온도, 일사량과 발전량 등의 측정 데이터에 대해 빅데이터 분석과 처리를 통해 태양광 발전기의 최대 발전량을 예측하여야 한다. 발전량 예측 모형은 표1과 같은 일사량 추정 값을 기본 입력으로 사용하며, 태양광 발전 시스템의 발전 성능 향상을 위해 정의한 정보통신단체표준 TTAK.KO-04.0179 태양광 발전시스템 모니터링 데이터 정보를 추가한 태양광발전량 예측 시스템을 제안한다[10].

태양광 발전량 예측을 위한 데이터 상관관계 분석은 그림 3과 같이 태양광 발전량 예측 모델의 입력 값으로 온도, 습도, 구름의 양과 흐름 및 일사량과 같은 기상 예측 데이터들과 태양광 발전기에서 얻어지는 측정 데이터 온도, 일사량, 발전량과 같은 측정 데이터는 빅데이터 분석에서 어떤 것을 이용할 것인가를 결정하는 것이 중요하다. 태양광 발전량과 입력 값들 사이의 상관관계를 높이기 위해 클러스터링 기법을 적용하여 데이터들을 분류하고 상관관계를 향상시킬 수 있다.

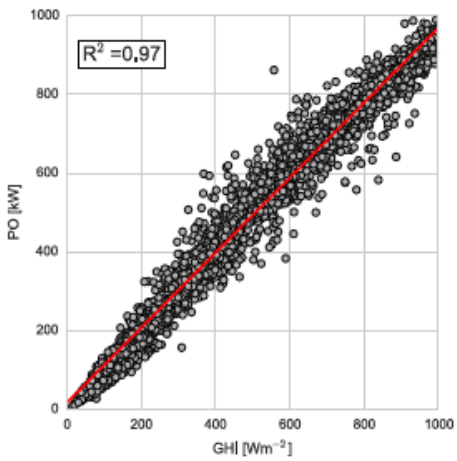


그림 3. 일사량에 따른 태양광 발전량
Fig. 3 Solar power generation according to solar radiation

한 시간 이내 (intra-hour) 태양광 발전량 예측을 위한 기계학습 모형은 각 태양광 발전기에 해당하는 일사량 측정 데이터 값, 발전량 측정값과 기상 빅데이터를 활용한 태양광 발전기 발전량 예측모형을 제안한다. 한 시간 이내 태양광 발전량 예측 모형은 기상 예측 데이터와 측정 데이터들을 기반으로 통계적 학습을 통한 시계열 모델, SVM (support vector machine) 모델, ANN (artificial neural network) 모델, 칼만필터 (kalman filter)와 같은 기계 학습 방법을 적용하여 한 시간 이내 태양광 발전량을 예측한다. 근접한 여러 태양광 발전기들에 대해 지역적 구름 이동에 따른 유사 발전량 패턴을 기계 학습을 통해 예측하는 모형을 고려하고 이를 태양광 발전 예측 모델에 적용한다. 지리적 위치가 가까운 태양광 발전기들의 예측 값을 생성하는 쉬운 방법으로는 서로 다른 위치에 있는 태양광 발전기들의 발전 출력 값의 상관관계를 이용하여 발전량 예측 값을 보정하는 방법을 고려할 수 있다.

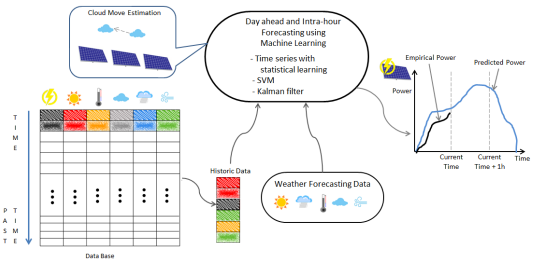


그림 4. 태양광 발전 예측 개념도
Fig. 4 Solar power prediction concept

하루 전날 (day-ahead) 익일 태양광 발전량 예측을 위한 기계학습 모형은 각 태양광 발전기에 해당하는 일사량 측정 데이터 값, 발전량 측정값과 기상 빅데이터를 활용한 태양광 발전기 발전량 모형을 제안한다. 하루 전날 익일에 대한 태양광 발전량 예측 모형은 기상 예측 데이터와 측정 데이터들을 기반으로 통계적 학습을 통한 시계열 모델, SVM (support vector machine) 모델, ANN (artificial neural network) 모델과 같은 기계 학습 방법을 적용하여 하루 전날에 대한 태양광 발전량을 예측한다. 태양광 발전량 정보를 활용하여 태양광 발전량 예측 정확도를 높임으로써 태양광 발전량 수용률을 높여 운영 효율

성을 향상 시킬 수 있으며 다수의 태양광 발전기들을 모아서 발전 시장에 참여하는 것을 고려할 수 있다.

### 3.2 정밀전력정보 빅데이터를 활용한 태양광 발전 품질향상을 위한 제어모듈

배전 계통에 연계된 태양광 발전기에서 전력 역송 시 전압 상승 문제, 역률 변이 등의 문제가 발생하게 되면 전력 품질을 저하시키는 요인이 되고, 이는 다시 태양광 발전 품질도 저하시킬 수 있는 원인이 된다.

전력 품질저하 요인을 찾아내기 위해서 전압과 전류 크기 및 위상, 전력, 주파수와 같은 전력망 관련 정보를 측정하는 정밀전력정보 데이터를 이용한다. 태양광 발전 품질을 저해하는 요인 중 하나인 전압 관련 문제를 정밀전력정보 측정 데이터를 분석하여 전압 문제 발생을 감지하고 제어기 설계를 통해서 예상되는 전압 문제의 해결이 가능하다.

정밀전력정보 측정 데이터는 일반적으로 통신과 처리 시스템에서의 전송하지 않은 데이터 손실, 통신과 처리 시스템에서 데이터 표현 손상, 데이터 값의 부정확성과 불규칙적인 지연이라는 다양한 문제를 지니고 있다. 정밀전력정보 측정 데이터에서 발생한 에러에 의한 전력 품질 향상 알고리즘 오동작을 방지하기 위해서 정밀전력정보 데이터에 대한 품질 확인 및 그에 따른 복원 알고리즘 개발이 필요하다. 개별적 그리고 다수의 정밀전력정보 데이터에 대한 품질 확인 및 복원 효율성을 높이기 위해서 multi-variate model을 사용한다.

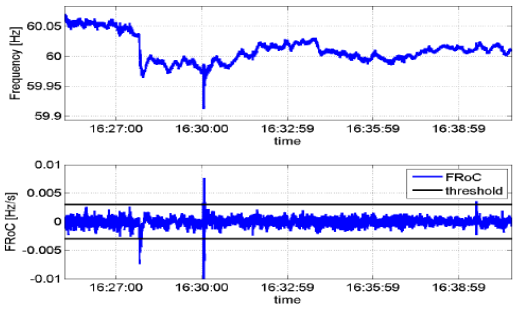


그림 5. 주파수 감소 이벤트 감지 알고리즘 예시
Fig. 5 Frequency reduction event detection algorithm example

실시간으로 생성되는 태양광 발전 정밀전력정보 데이터로부터 전력 품질 저하와 관련한 이벤트를 검출하고 분류한다. 다중 정밀전력정보 데이터에 대한 이벤트 검출 방법으로 최적의 검출율을 얻기 위해 RoC (Rate of Change)를 이용하는 방법을 제안하며, 일반적인 이벤트 검출 및 분류 알고리즘을 기반으로 태양광 발전 정밀전력정보 데이터에 그림5와 같이 최적화된 전력 품질 저하 이벤트 검출 및 분류화 알고리즘이 필요하다.

전력 품질 저하 이벤트 예측 알고리즘 개발 모형을 통해 실시간으로 생성되는 태양광 발전 정밀전력정보 데이터는 품질 확인 및 복원 알고리즘을 거쳐 정밀전력정보 데이터가 지닐 수 있는 에러 등을 해결한 다음 이 데이터를 기반으로 태양광 발전 품질 저하 요인 발생 이벤트를 예측할 수 있다.

실시간 태양광 정밀전력정보 데이터 처리부와 빅데이터 분석 후 결과를 활용하여 전력 품질을 향상시키는 제어모듈을 통해 실시간 정밀전력정보 측정 데이터의 전력 품질 저하 이벤트 발생을 미리 예상하고 해당 이벤트에 따라 적절한 제어 알고리즘을 통해서 전력 품질 향상이 가능하다. 전력 품질 저하 이벤트 발생을 예상하기 위해서 실시간 정밀전력정보 데이터 처리부와 과거 빅데이터 분석모듈 사이의 동작을 통합시킨 이벤트 예측기의 설계가 필요하다. 정밀전력정보 빅데이터 기반의 전력 품질 향상을 위한 제어기 최종 모형은 실시간으로 수집하는 태양광 발전 정밀전력정보 데이터에 대한 동적 분석 결과를 제시하며, 그 결과를 기반으로 하여 빅데이터 자동 분석 및 처리가 이루어지고, 두 가지 결과를 종합하여 전력 품질을 유지하기 위한 제어모듈로 구성된다.

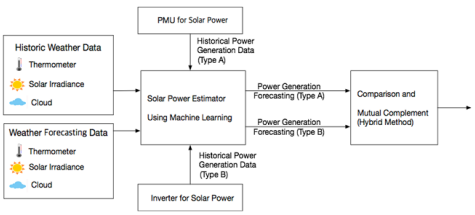


그림 6. 정밀전력정보 측정 데이터와 태양광 인버터 데이터 기반 예측 알고리즘들의 비교 개념도
Fig. 6 Comparison of precision power information measurement data and solar inverter based data prediction algorithms

정밀전력정보에서 생성하는 태양광 발전 데이터와 태양광 인버터에서 생성하는 태양광 발전 데이터를 이용하여 태양광 발전을 예측하고, 결과의 비교 분석을 통한 상호 보완점에 기반한 하이브리드형 태양광 발전 예측 알고리즘을 제안함으로써 예측 성능을 향상시킬 수 있다.

## Ⅳ. 결론

본 논문에서는 기존 연구되어지고 있는 일사량, 일사량 예측값, 위성기반 구름 모션 벡터값을 활용한 알고리즘에 정밀전력정보를 추가하고, 슈퍼컴퓨팅 환경을 이용하여 이들 간의 상관관계를 정밀분석 후 상호 참조 가능한 지능형 알고리즘을 개발하여 태양광 발전량 예측율을 최고수준으로 향상시킬 수 있는 시스템을 제안하였다.

발전설비 등 인프라를 추가하지 않고서도 소비자의 수요증가에 효율적으로 대처할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 마이크로 그리드 공통플랫폼의 기능으로 전기를 측량, 절약할 수 있으므로, 발전설비 및 송전선로 등의 추가건설 필요성이 감소할 것으로 기대된다.

태양광발전소 구축 확대에 따른 다양한 수요자원을 개발하고 관리하여 국가적으로는 피크 및 전력수요 감소에 따른 전력시스템의 신뢰도 증가와 전력수급 안정에 기여할 것이며, 전력수요 감소에 따른 도매전력시장가격의 감소에 따른 구입전력비용 절감 등의 효과가 있으며, 소비자의 전기요금 감소효과를 가져올 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2016학년도 순천대학교 학술연구비(학술기반조성사업Ⅱ)로 연구되었음

## References

[1] H. Kim, H. Yoo, Y. Lee, and Y. Ko, “ESS Connected PV Monitoring System Supporting Redundant Communications,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 1, Feb. 2018, pp. 1099-1106.

[2] Y. Park, “Study on the Development Strategies of Korean-type Renewable Energy for the Environment Protection,” *New & Renewable Energy*, vol. 12, no. 4, Dec. 2015, pp. 19-30.

[3] S. Oh, P. Ihm, and K. Lee, “Optimal Electric Generation for Fixed-Type Photovoltaic System Installed for Residential Building in Korea,” *Gyeonggi Research Institute REVIEW*, vol. 14, no. 2, 2012, pp. 271-288.

[4] J. Joo, Y. Gee, and J. Oh, “A Study on the SPWM based Power Conversion Technology of the Three-Phase Photovoltaic Inverter Using DSP,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, Dec. 2017, pp. 29-34.

[5] D. Yang, N. Yeo, and P. Mah, “A Dynamic Piecewise Prediction Model of Solar Insolation for Efficient Photovoltaic Systems,” *Korean Institute of Information Scientists and Engineers Transactions on Computing Practices*, vol. 23, no. 11, Nov, 2017, pp. 632-640.

[6] K. Lee and W. Kim, “Forecasting of 24_hours Ahead Photovoltaic Power Output Using Support Vector Regression”, *J. of Korean Institute of Information Technology*, vol. 13, no.3, Mar. 2016, pp. 175-183.

[7] D. Shin, J. Pak, and C. Kim, “Photovoltaic Generation Forecasting Using Weather Forecast and Predictive Sunshine and Radiation,” *J. of Advanced Navigation Technology*, vol. 21, no. 6, Dec. 2017, pp. 643-650.

[8] Korea Electric Power Corporation Economy & Management Research Institute, “Research Issue,” *Korea Electric Power Corporation Economy & Management Research Institute Power Economy Review*, Oct. 2017.

[9] Y. Lee, "Specific point weather prediction base new and renewable energy producing

quantity real-time prediction method and the system," *Korea Patent*, no. 1010353980000, May 11, 2011.

[10] TTAK. KO-04.0179, *Data Format for Monitoring of a Photovoltaic System.* Telecommunications Technology Association, ICT Standardization Committee, Korea, Dec. 2013.

## 저자 소개

**권준아(Jun-A Kwon)**

1996년 순천대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
2006년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학석사)
2010년 순천대학교 대학원 컴퓨터학과(박사수료)
현재 재단법인 전남정보문화산업진흥원 ICT전략사업팀 팀장
※ 관심분야 : 빅데이터, 마이크로그리드

**김영근(Young-Geun Kim)**

2001년 한려대학교 전자계산학과 졸업(공학사)
2012년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학석사)
2014년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정 수료
2017년 ~ 현재 재단법인 전남정보문화산업진흥원 수석연구원
※ 관심분야 : 빅데이터, 병렬분산처리시스템

**이종찬(Jong-Chan Lee)**

1989년 전남대학교 공업화학과 석유화학 전공 졸업(공학사)
1995년 미국 테네시주립대학 컴퓨터과학과 졸업(공학석사)
2013년 목포대학교 신재생에너지공학 박사수료
1998년 ~ 2013년 청암대학교 신재생전기제어과 부교수
2015년 ~ 현재 ㈜그린테크 기술이사/연구소장
※ 관심분야 : 마이크로그리드, 스마트그리드, EMS/PMS, 인공지능, 빅데이터

**김원중(Won-Jung Kim)**

1987년 전남대학교 계산통계학과 졸업(이학사)
1989년 전남대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이학석사)
1991년 전남대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이학박사)
1992년 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 교수
※ 관심분야 : RFID/USN, 빅데이터, Context Awareness, 인터넷 서비스