

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.4.113>
JIIBC 2019-4-17

태양광발전 운영효율 향상을 위한 통합관리시스템

Integrated Management System to Improve Photovoltaic Operation Efficiency

윤용호*

Yongho Yoon*

요약 태양광 발전소는 전기를 생산하는 시설물로서 화재와 감전 사고의 위험이 설치장소의 다변화로 근무자와 주변인, 시설물에 대한 위험도가 증가하여 안전사고를 예방하고 안전사고 발생에 따른 빠른 대처를 할 수 있는 시스템을 개발이 대두되고 있다. 위와 같은 개발에 필요성을 비추어 볼 때 태양광발전 시스템에서 생산되는 데이터를 취합, 분석하는 기술을 개발하여 발전시스템의 문제를 실시간으로 진단하고 유지/보수할 수 있는 태양광발전 관리시스템을 개발하여야 하고 이를 통해 이용률 증가 및 유지보수 비용이 감소하는 효과를 볼 수 있다. 이를 위해서는 우선적으로 현재의 상태에서 태양광 발전량을 정확히 예측하여, 현 발전상태의 이상 유/무를 진단 및 이상 위치를 파악하여야 하고 이상 위치가 파악 되면 경제성이 고려된 모델을 이용하여 수리/교체의 필요성, 시기 등의 정보가 제공되어야 한다.

Abstract A solar power plant is a facility that produces electricity. As the risk of fire and electric shock accidents is diversified, the risk of workers, surrounding people, and facilities is increased, preventing safety accidents and promptly responding to safety accidents Is emerging. In light of the necessity of such development, it is necessary to develop a solar power generation management system that can diagnose and maintain the problems of the power generation system in real time by developing technologies for collecting and analyzing the data produced by the solar power generation system As a result, the utilization rate and the maintenance cost can be reduced. In order to do this, it is necessary to accurately predict the solar power generation amount in the present state, to diagnose the abnormality of the current power generation state and to grasp the abnormal position, and to use the model considering economical efficiency when the abnormal position is grasped, And the time and other information should be provided.

Key Words : Solar Power Plant, Economical Efficiency, Utilization Rate, Maintenance Cost, Integrated Management System,

*정회원, 광주대학교 전기전자공학부
접수일자 2019년 7월 22일, 수정완료 2019년 8월 2일
게재확정일자 2019년 8월 2일

Received: 22 July, 2019 / Revised: 2 August, 2019 /
Accepted: 2 August, 2019

*Corresponding Author: yhyoon@gwangju.ac.kr
School of Electrical and Electronic Engineering,
Gwangju University, Gwangju, Korea

I. 서 론

최근 국제사회에서는 기후변화 대응과 온실가스 감축 목표 달성을 위해 저탄소 녹색성장 인프라 구축이 활발히 진행되고 있다. 그 중 스마트 그리드 통해 에너지 공급, 소비 및 시장을 통해 기존의 전력망에 ICT (Information and Communications Technology)를 접목하여 전력생산 및 소비정보를 양방향 및 실시간으로 교환함으로써, 에너지 효율 최적화가 진행되고 있다.

태양광발전(Photovoltaic, PV)시스템은 다른 재생에너지원과 비교해서 내구수명이 길어 유지점검이 거의 필요 없다고 하지만, 실제 PV 어레이의 그늘 발생, 온도상승, 미스매치, 오염·열화, PCS(Power Conditioning System)의 성능 저하, 태양광발전시스템의 설계 및 시공 등에 따른 고장 혹은 결함으로 초기 설계 시에 기대했던 성능이 나오지 않는 경우가 발생한다.

현재까지의 방법으로는 단지 발전량 및 운전 유무 등의 운전현황에 대한 조사를 통하여 정성적으로 파악하거나 PV 시스템의 성능지수인 성능계수(PR, Performance Ratio)로부터 성능을 비교 분석하지만, PR에는 많은 손실을 포함하고 있으므로 단지 성능계수만으로 태양광발전시스템의 성능 저하, 고장 혹은 결함 등의 이상 유무를 정확하게 판단하기가 어렵다. 따라서 주변 환경의 변화에 따른 태양광발전시스템의 장기간 성능 저하, 고장 또는 결함 등의 이상 유무를 신속하고 쉽게 판단할 수 있는 신뢰성과 유효성을 가진 정보가 제공되지 않는다면 태양광발전시스템의 장기간 성능과 품질을 보증할 수 없다^[1].

이와 같은 이유로 태양광발전 시스템에서 생산되는 데이터를 취합, 분석하는 기술을 개발하여 발전시스템의 문제를 실시간으로 진단하고 유지/보수할 수 있는 관리시스템이 필요하다. 기존 태양광 발전소의 운영 중 축적하는 데이터는 한정적으로 되어 있으며 활용하는 범위가 좁아 발전소를 최적의 상태로 운영하기에는 충분하지 않다. 따라서 본 논문에서는 태양광 발전소에 필요한 데이터의 범위를 산정하고 분류, 분석, 가공을 통해 태양광 발전소의 최적 운영을 할 수 있는 통합 관리시스템을 개발하는 것에 목적을 둔다.

II. 태양광 발전량

1. 빅데이터(Big Data) 활용

현재 태양광발전설비는 주택, 건물, 주차장 등 소규모

형태와 대규모 형태의 발전소까지 여러 곳에 산재하여 운영되고 있다. 이러한 태양광 발전소의 관리시스템을 통해 수집된 데이터들은 독립적으로 존재하며 시스템으로 인해 설치비용 및 운영비용이 증가하는 문제점과 함께 생성된 데이터들의 활용도가 없이 방치되고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 빅데이터(Big Data)를 이용한 클라우드 기반의 지능형 관리시스템을 구현하게 된다면 기존 시스템에서 어려웠던 정확한 발전량 예측, 고장예측, 성능진단을 효율적이고 경제적으로 이룰 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 태양광 발전소 건설에서부터 전압, 전류, 발전량 등의 정형화된 데이터와 발전소의 기후변화, 유지관리 활동, 설비의 소음, 열과 같은 비정형 데이터를 분석하여 발전소 운영에 필요한 정보를 활용할 수 있다. 이에 따른 그림 1은 클라우드 기반 태양광발전 통합관리시스템 개념도를 보여주고 있다.

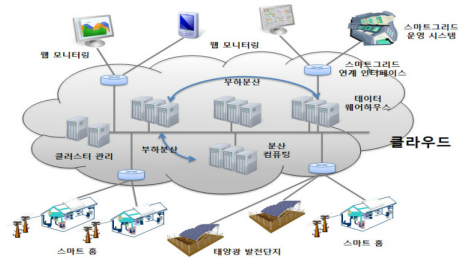


그림 1. 클라우드 기반 태양광발전 통합관리시스템 개념도
Fig. 1. Cloud-based integrated photovoltaic management system concept map

2. 실시간 발전량 예측

태양광 발전소는 용량에 따라 무인과 유인으로 운영되고 있다. 또한, 유인 관리를 하고 있더라도 최소한의 인원으로 운영하고 있으며 모니터링 시스템에 의지하고 있다. 하지만 모니터링 시스템이 제한적인 기능이 있어 설비의 고장을 부분적으로 인지할 수 있으나 PV 모듈의 성능 저하, 오염, 파손 등 발전량 손실에 영향을 미치는 요인들을 파악하기 힘들다.

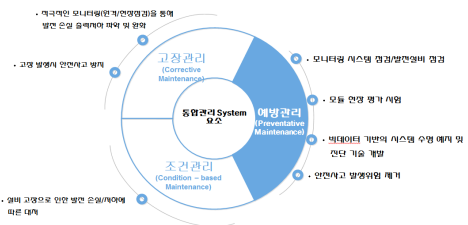


그림 2. 통합관리시스템 요소
Fig. 2. Integrated management system elements

태양광 발전소에서 축적되고 있는 데이터를 통해 실시간 발전량을 예측할 수 있다면 실제 발전량과 비교하여 발전량의 저하를 인지할 수 있고 설비별로 확장을 통해 설비의 고장예측 및 인지, 성능 저하를 쉽게 발견함으로써 최적의 시스템을 유지관리 할 수 있다. 그림 2는 태양광 발전소 통합관리 시스템의 요소 중 예방관리에 해당하는 주요 요소들을 보여주고 있다^[2].

국내 대부분의 태양광 발전소에서는 총발전량 위주로 예측되고 있으며, 실시간 기상변화에 따른 적정발전량을 실시간으로 예측하지 못하기 때문에 문제 발생에 대한 즉각적인 대응이 불가능한 상황이다. 또한, 다양한 데이터(온도, 습도, 출력량, 모듈 온도)가 생산되고 있으나, 대부분 저장만 되고 시스템 운영에 활용되고 있지 못하는 상황이다. 따라서 이러한 이유로 인해 현재 태양광발전시스템이 설치된 지역의 일사량 확률분포함수, 태양전지 효율, 시스템 설계 파라미터를 이용하여 해당 발전시스템의 발전량을 사전 예측할 수 있는 사업과 일사량 분포를 미리 조사하여 태양광발전시스템의 설치 지점을 결정하는 사업이 활발하게 진행되고 있다. 또한, 일사량 이외에 주위온도를 함께 고려하여 발전량을 예측하는 방안 또한 고려되고 있다.

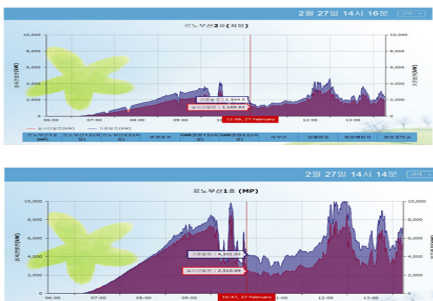


그림 3. 국내운영 중인 실시간 태양광 발전량 예측 프로그램
Fig. 3. Real-time photovoltaic power generation forecasting program in Korea

실례로 덴마크의 예측모델은 태양광발전시스템 원격 모니터링의 생산량 데이터와 결합하여 더욱 정확한 발전량 데이터를 최대 3일까지 예보하며, 매 15분 실시간으로 제공하고 있다^[3]. 현재까지 태양광발전량 예측시스템의 정확도는 1~72시간 예측정확도는 맑은 날일 때 8~15% 오차율을 나타내며, 모든 날에 대해선 37%~60%의 오차율이 나타나고 있다. 반면 국내에서 개발 및 운영 중인 실시간 발전량 예측 프로그램은 정확도가 날씨와 주위 환경에 따라 편차율(0%~30%)이 변하여 불안정하다^[4]. 이

러한 이유로 현재 실시간 발전량 예측을 통하여 처음 계획하였던 고장진단, 성능 저하 진단 등의 기능이 축소되고 발전량의 발전 추이를 확인하는 데만 사용되고 있다. 그림 3은 국내에서 운영 중인 실시간 태양광 발전량 예측 프로그램의 결과로 각 발전소의 특성과 기상관측 장비의 오류, 알고리즘에 반영되는 구성인자의 부족 등으로 정확한 발전소별 실시간 발전량 예측 편차가 존재함을 알 수 있다.

III. 통합관리시스템을 위한 기술요소 분석

본 논문에서는 태양광 발전소의 예측기술, 모듈 출력 저하 기술개발, 빅데이터 기반의 시스템 수명 예지 및 진단기술, 경제성 분석, 알고리즘 개발 등 태양광 발전소의 최적 운용 통합관리 시스템 개발과 관련한 연구를 목적으로 한다.

1. 광전자 회로모형 기반 기준발전성능 예측기술 및 지식기반 전문가시스템(Expert system)

태양광발전 시스템 최적 운영을 위해서는 시스템의 정확한 진단이 필수이며, 출력단의 결과값을 통해 진단하는 것이 간단하고 비용 또한 저렴하다^[5-6]. 시스템의 출력은 경년변화에 따른 모듈 열화, 시스템 고장에 따른 failure, 기상조건(일사량, 온도, 그늘, 바람 등) 등에 따라 그 값이 변화된다. 이러한 요인들이 제거된 기준(Reference) 출력값이 있어야만 원인별 분석·평가가 가능하다. 따라서 본 논문에서는 실시간 태양광 발전량 예측은 O&M big database Look-Up을 이용한 Top-down 방법과 시스템 특성화 & 광전자 회로 Simulator를 이용한 Bottom-Up 방법을 같이 사용함으로써 고장요소 및 시스템 진단의 높은 정확도를 가질 수 있도록 하였다.

그림 4는 태양광발전 시스템의 성능예측 및 시스템 진단 관련 통합관리시스템 Flow-Chart로 기본적인 각각의 요소에 대한 설명은 다음과 같다.

- 새로 설치되거나 기존 태양광발전 시스템에서는 I-V 특성을 통해 시스템 모델 설정 & 식별, 1년 이상 된 기존의 태양광발전 시스템에서는 기존에 측정된 Operation & Management (O&M)의 Big Database를 기반으로 시스템 식별을 수행함.
- 태양광발전 통합관리시스템의 구축을 위해 실시간 날씨 정보와 시스템 성능을 연속적으로 감시하며, 측정된 날씨 정보와 system model을 이용하여

실시간 시스템 성능을 simulation 함.

- 측정된 기후환경조건에서의 실시간 태양광발전 시스템 성능예측을 위해 개발된 O&M, 시운전 Big DB 기반 system model의 Look-Up을 통해 실시간 시스템 성능을 예측함.
- Simulation과 O&M DB model을 이용하여 산정된 실시간 태양광발전시스템 성능예측 결과값을 기준으로 실제 측정된 시스템값과 비교 분석하고 그 차이에 따라 시스템의 이상 유무를 분석하며, 정량적, 정성적 시스템 진단평가를 위해 전문가 시스템 기반 알고리즘을 이용함.
- 이상(Fault)이 발생된 시스템 및 전류-전압특성을 분석하여 세부 현장평가로서 IR 카메라를 이용하여 고장 범위 및 시스템의 상태 등을 점검함.
- 불안정한 것으로 진단된 시스템의 전류-전압 특성과 열화상 적외선 자료 등을 입력 자료로 하여 유지보수 실행 알고리즘을 통해 이상 및 문제에 대한 원인을 분석함.
- 분석/진단된 원인에 따른 시스템 유지보수 최적화는 전문가시스템 기반 알고리즘의 실행계획 결과에 따라 수행함.

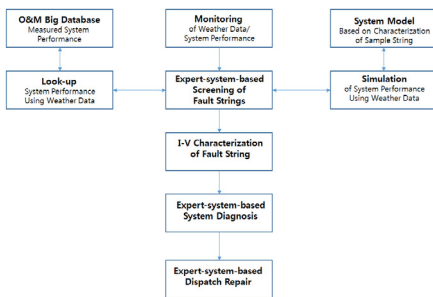


그림 4. 태양광발전 통합관리시스템 기본 개념도
Fig. 4. Integrated concept of photovoltaic power generation management system

2. 태양광발전 통합관리 시스템 성능평가 기반 기술 및 표준화

태양광발전시스템은 입력에너지인 일사 강도로부터 직류출력으로 변환하는 PV 어레이, 직류출력을 교류 출력으로 변환하는 태양광 인버터로 구성되는데, 실제 태양광발전시스템은 PV 모듈, PV 어레이 및 인버터의 성능 뿐만 아니라, 일사 강도, 온도 및 풍속 등의 주변 환경변화에 따라서 성능도 변화한다. 따라서 표준시험조건(STC, Standard Test Conditions)인 일사 강도

1kW/m², PV 모듈 표면 온도 25℃ 및 AM (Airmass) 1.5에서의 PV 모듈과 PV 어레이의 성능과 정격조건에서 인버터 성능 등의 기본 정보만으로는 태양광발전시스템의 실제 출력전력과 같은 성능을 추정하는 것은 어렵다.

따라서 본 논문에서는 태양광발전시스템에 대한 성능을 측정하는 데 있어서 개발된 시스템의 구축 및 측정기법의 확립이 필수적이며 다음과 같은 성능평가가 고려되어야 한다.

- 태양광발전시스템의 구성품인 태양광발전용 인버터, 태양전지 모듈, 접속반, 모니터링시스템 등에 대한 성능평가
- 시스템 단위의 성능평가 및 고장 이력에 대한 고장 진단 상태정보 평가
- 시스템 단위의 온도, 일사량, 발전량에 따른 데이터 정보평가 및 분석
- 태양광발전 통합관리 시스템 성능평가를 위한 측정 알고리즘을 통한 발전상태 유/무진단 및 상태진단

3. PID(Potential Induced Degradation) 기반 출력저하 진단기술

태양광 발전소 등에 설치되는 태양전지 모듈의 경우 IEC 61646, IEC 61215등의 모듈 인증시험을 통해 초기 품질에 대한 검증을 거치지만 옥외 실증을 통해 장시간 사용함에 따라 모듈의 출력저하가 발생할 수 있다.

이로 인해 유지보수 비용이 증가함으로 모듈 단위에서 시스템 전압인가를 통한 모듈의 열화 고장을 예측하고자 부품 소재 및 모듈 완제품 업체, 기관 등에서 다양한 방법을 연구하고 있다. 그림 5는 태양전지 고장률에 대한 전력 손실이 발생할 수 있는 주요 요소들을 나타낸 내용으로 PID(시스템 단위) 출력저하 진단기술개발 및 알고리즘 적용을 통한 경제성 기반의 유지보수 관리시스템이 필요하다.

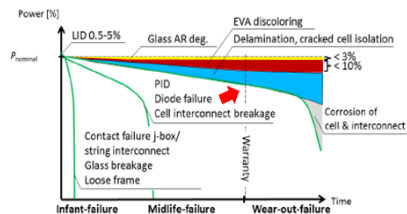


그림 5. 태양전지 고장률에 대한 전력손실 주요 요소
Fig. 5. Power loss factors for solar cell failure rate

4. 현장기반(On site/On line) 진단 평가시스템 개발

태양광 발전소의 유지보수를 위해 대부분 모듈의 열화상 분석, 측정, 교체 대상 모듈에 대한 인증시험기관 등에서 출력값만 측정하는 실정이다. 정확한 출력저하 또는 원인분석 없이 모듈을 교체해야 하는지 판단하기 어려운 상황에서 유지보수 프로세스를 실시하고 있다. 이로 인해 현장(설치장소)에서의 엔지니어의 판단 근거가 미비하고 유지보수 비용(이용률 또는 가동률)이 증가하고 있다.

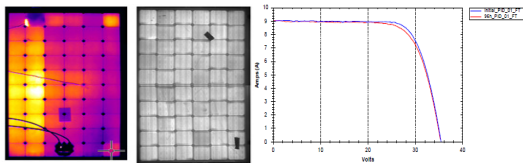


그림 6. 실증모듈에 대한 PID 열화 특성평가 및 데이터
 Fig. 6. Evaluation and data of PID deterioration characteristics for demonstration module

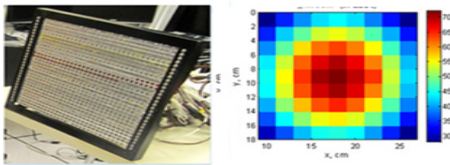


그림 7. 이동형 LED 광원 모듈 개발 및 모듈의 출력값 (STC조건) 보정 알고리즘 기술
 Fig. 7. Development of mobile LED light source module and correction algorithm of module output value (STC condition)

따라서 현장기반(On site/On line) 진단 평가시스템 개발을 통해 현장의 공간 및 면적의 제한 없이 유지보수 엔지니어의 정량적 판단에 대한 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다. 이러한 이유로 현장기반(On site/On line) 진단 평가시스템 개발은 다음과 같이 구성되어야 한다.



그림 8. 태양광 모듈 출력 및 다이오드 특성평가(실증장소)
 Fig. 8. Evaluation of solar module output and diode characteristics (demonstration site)

- 실증모듈에 대한 PID 열화 특성평가 및 데이터 (그림 6)
- 설치현장에서 LED 광원 활용 모듈의 출력 DB 및

알고리즘 지원 (그림 7)

- 모듈 다이오드의 부분별 정격용량 측정 및 DB 알고리즘 지원 (그림 8)
- 모듈 내에서 발생하는 열화에 대한 크랙 검사 측정 DB 지원
- 모듈의 시스템 열화에 따른 누설전류 측정 및 DB 알고리즘 지원
- 모듈의 출력값, 표면 크랙(EL), 누설전류, 다이오드 특성 등 현장 측정을 통한 유지보수 모니터링 시스템 무선전송기능 및 모듈 교체 또는 유지판단 지원 (그림 9)



그림 9. 현장 모듈의 출력값/EL/열화상/ 다이오드특성 기반의 고신뢰성 유지보수 운영

Fig. 9. High reliability maintenance operation based on the output value of the field module / EL / thermal image/diode characteristics

5. 태양광 모듈 유리표면 오염도 측정 장비

태양광 모듈의 생산에 사용하는 저 철분 강화 유리의 빛 투과율은 97~98% 수준으로 알려져 있다. 하지만 태양광 발전소 운영 현장에서는 먼지 등의 이물질로(그림 10) 인하여 빛 투과율이 감소하게 된다.

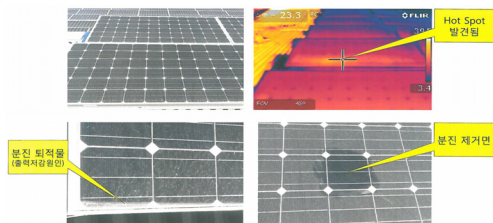


그림 10. 태양광모듈 오염 상태
 Fig. 10. PV module contamination status

또한, 빛의 입사각에 따른 실질적인 빛 투과율도 감소한다. 현장에서 신뢰성 높은 이동용 장비를 개발하고, 빛 투과율 감소에 따른 전력 손실에 관한 실증 연구를 기반으로, 정량적 상관관계를 밝혀 추가적인 기능을 부가하는 것을 연구해 볼 수 있다. 즉, 전력 손실 추정을 통해 모듈의 청소(비용)에 대한 의사결정에 도움이 될 것이다.

IV. 결론

본 논문에서는 태양광발전 운영효율 향상을 위한 통합 관리시스템 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

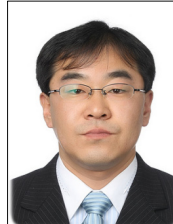
- 범용 통합시스템
 - 소형 및 중대형 태양광 발전소를 구분하여 통합관리시스템을 구현할 수 있으며 이를 통해서 기존 운영 중인 태양광 발전소에 적용할 수 있음
 - 현재 설비 이용률이 떨어지는 태양광 발전소에 적용하여 이 시스템을 적용하여 이용률 향상 도모
- 능동형 통합시스템
 - 운영 중 시설의 오류 (fault)에 대한 빠른 발견과 대응이 가능해짐으로써 제품수명의 단축 또는 발전소의 정지(shut down)까지 확대되지 않음으로써 발전소의 수익성 증대
- 최적의 통합시스템
 - 실시간 발전량 예측과 수명진단, 고장예측 등을 통해 발전소의 운영 중단을 최소화 할 수 있고, 고장 외에 발생할 수 있는 성능 저하 요인을 즉각적인 감지를 통해 최고의 발전효율을 달성할 수 있음
 - 실시간 발전 출력 예지 시스템을 이용하여, 발전소의 출력 저하 원인을 실시간으로 진단하며, 발생한 복수의 문제점에 대해서 동시에 다중 원인 파악이 가능함
- On Line/ On site 통합시스템
 - 모니터링 시스템과 현장 진단시스템의 융합을 통해 최적의 경제적 유지관리 시스템을 구현할 수 있음
 - 설치 시 한 번에 투입된 자본을 장기간에 걸쳐 회수하므로 고장방지, 사후관리, 운전상태 모니터링 등의 유지관리를 시행해야만 발전효율을 유지시킬 수 있음

References

- [1] J. Y. Eum, H. J. Choi, S. H. Cho, "PV Power Prediction Models for City Energy Management System based on Weather Forecast Information", Trans. KIEE. Vol. 64, No. 3, pp. 393-398, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.3.393>
- [2] B. S. Singh, N. S. Husain, N. M. Mohamed, "Integrated photovoltaic monitoring system," AIP Conference Proceedings, vol. 1482, pp. 176, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4757460>
- [3] CG. M. Tina, A. D. Grasso, "Remote monitoring system for stand-alone photovoltaic power plants: The case study of a PV-powered outdoor refrigerator," Energy Conversion & Management, vol. 78, pp. 862-871, 2014.
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.065>
- [4] K. H. Kim, "Internet Management System for an Intelligent Remote Control and Monitoring", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 10, No. 4, pp. 1-5, 2010.
- [5] Y. S. Hong, C. S. Kim, B. J. Yun, "A Management Method for Solar Photovoltaic Power Generation System Using Intelligence", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 6, No. 2, pp. 35-41, 2006.
- [6] J. H. Park, B. M. Kim, H. D. Lee, Y. H. Nam, D. S. Rho, "A Study on Control Algorithms of Efficiency Improvement Device for PV System Operation using Li-ion Battery", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol. 19, No. 10, pp. 590-597, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.590>

저 자 소 개

윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생 에너지

※ 이 연구는 2019년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.