

# 에너지저장시스템에서 발전량 예측을 통한 능동적 배터리 충전 관리 방안

(An Active Battery Charge Management Scheme with Predicting Power Generation in ESS)

김정준\*, 채범석\*\*, 이영관\*\*\*, 조기환\*\*\*\*

(Jung-Jun Kim, Beom-Seok Chae, Young-Kwan Lee, Ki-Hwan Cho)

## 요약

신재생 에너지를 활용이 높아지면서 에너지저장시스템의 활용과 효율성에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 태양광 에너지저장시스템을 구성하는 서브시스템에서 이상 징후 발생에 능동적으로 대처할 수 있는 운영이 요구된다. 본 논문은 태양광 발전량 데이터를 표본으로 하여 예측 발전량을 추정하여 에너지 관리하는 방안을 제안한다. 실시간으로 예측된 배터리 충전 전력과 배터리 랙 총 충전 전력을 비교하여 충전 전력을 조절하는 모형을 적용한다. 그 결과로 배터리의 발열 억제 및 충방전율을 유지시켜 에너지저장시스템의 에너지 저장을 안정적으로 높일 수 있다.

■ 중심어 : 신재생에너지; 에너지저장시스템; 발전량 예측; 능동적 배터리 충전 제어

## Abstract

Along with increasing the renewable energy utilization, many researches have paid attention on the utilization and efficiency of energy storage systems. Especially, it is required an operational model in order to actively respond with each system's failure of sub-systems in the solar energy storage system. This paper proposes an energy management scheme by estimating the newly generated power based on the solar power generation samples. With comparing the estimated battery charging power in real time and the total charging power of the battery rack, a charge model is applied to adjust the charging power. As a result, the stability of energy storage system would be improved by suppressing the battery heat while maintaining battery C-Rate.

■ keywords : Renewable Energy; Energy Storage System; Predicted Power Generation; Active Battery Charge Control

## I. 서론

신재생에너지는 전력 계통의 품질 개선과 안정적인 공급이나 신재생 발전원의 동시발전에 따른 계통 선로 부족현상 및 보완이라는 문제점으로 신재생 에너지 확대에 걸림돌이 되었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 에너지저장시스템(ESS: Energy Saving System)을 이용하여 신재생 에너지의 불균형 출력을 완화시키며, 전력품질을 높이는 신재생 에너지저장시스템을 구축하였다. 초기 납축전지를 활용한 에너지저장시스템은 비용에 비해 수명이 낮아 대용량 생산의 한계를 보였으나, 리튬 계열의 에너지 저장시스템을 이용하여 비용은 높지만 수명이 긴 에너지저장시스템 보급 정책을 추진, 이를 활용한 에너지 저장 시스템 기술이 국내외로 확대 보급되고 있다.

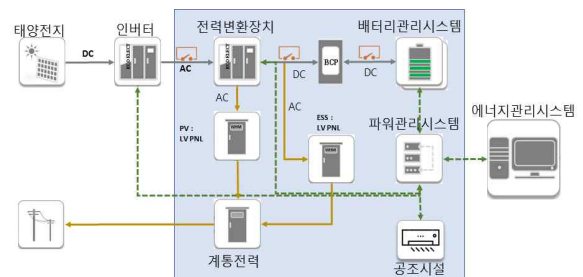


그림 1. 태양광 신재생에너지저장시스템

\* 정회원, (주) 트레디오 대표이사

\*\* 준회원, (주) 트레디오 전략개발부 부장

\*\*\* 준회원, (주)세이브에너지 대표이사

\*\*\*\* 중신회원, 전북대학교 컴퓨터공학과 교수

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019-0-01023, ESS의 빅데이터를 활용한 배터리 성능최적화 및 화재예방을 위한 지능형 ESS개발)

접수일자 : 2019년 12월 11일

재제확정일 : 2020년 02월 20일

수정일자 : 2020년 01월 20일

교신저자 : 조기환 e-mail: ghcho@jbnu.ac.kr

신재생 에너지 태양광 에너지저장시스템(ESS)은 그림 1과 같이 전력변환장치(PCS, Power Conversion System), 배터리관리시스템(BMS, Battery Management System), 에너지저장시스템(EMS, Energy Management System), 배터리로 구성된다[1].

전력변환장치는 발전된 신재생에너지의 전력을 인버터를 통하여 공급받아 배터리에 저장하거나 계통전기에 송전하기 위해 주파수, 전압 등 전기적 특성을 변환해준다. 전력을 저장할 때 직류와 교류의 달라지는 특성을 조정 전환하며, 운영 상태 감시 및 품질 제어, 정전 시 계통 보호 등의 에너지저장시스템에서의 핵심적인 기능을 담당한다.

배터리관리시스템은 배터리의 성능을 최적화하면서 안전하게 충방전할 수 있도록 제어하는 장치이다. 배터리의 각 단계별 셀, 모듈, 랙, 시스템의 배터리의 상태 정보를 감시, 그 결과를 에너지관리시스템에 전달하여 신재생 에너지저장시스템의 안정성을 높이는 역할을 수행한다.

에너지관리시스템은 신재생 에너지저장시스템의 작동 방식을 감시하고 제어하면서 시스템 전반의 컨트롤 타워 역할을 한다.

표 1. 에너지저장시스템의 화재사고 현황

| 사고일시       | 지역 | 특징       | 배터리 제조사 | 피해액    |
|------------|----|----------|---------|--------|
| 2018.06.15 | 군산 | 태양광발전 연계 | C       | 6억원    |
| 2018.07.12 | 해남 | 태양광발전 연계 | C       | 4억5천만원 |
| 2018.07.21 | 거창 | 풍력발전 연계  | B       | 30억원   |
| 2018.09.01 | 영동 | 태양광발전 연계 | C       | 3억3천만원 |
| 2018.10.18 | 용인 | 주파수 조정   | B       | 5억원    |
| 2018.11.12 | 영주 | 태양광발전 연계 | C       | 7억원    |
| 2018.11.12 | 천안 | 태양광발전 연계 | C       | 2억원    |
| 2018.11.22 | 거창 | 태양광발전 연계 | C       | 4억원    |
| 2018.12.22 | 삼척 | 태양광발전 연계 | C       | 18억원   |

그러나 확대 설치되어지는 신재생에너지 저장 시스템은 표 1과 같이 에너지 저장 매체 배터리 화재 사건으로 인하여 심각한 문제로 부각되고 있으며, 수억 원에서 수십억원의 재산 피해를 입고 있다. 2018년 국내 에너지 저장시스템의 화재는 16번 발생하였고 최근 2년간 총 17번 발생하였다. 용도별로 보면 태양광 연계가 가장 많았고, 배터리 제조사별로 보면 L사가 9건, S사가 6건, 기타가 2건이다. 정부 조사 결과 태양광 발전 설비의 화재 원인은 배터리 보호 시스템의 결함, 수분, 먼지 등 관리미흡, 설치 시의 결선 등 부주의, 부품 간 통합관리 부재 등으로 발표하였다.

여기서 가장 큰 위험요소는 배터리관리시스템(BMS)으로써 배터리관리시스템이 고장 나게 되면 리튬이온 배터리의 폭발로 이어지기 때문에 위험성이 상당히 높은 것으로 판단하였다. 특히 실내 다중 이용시설의 경우 신재생 에너지저장시스템의 화재는 대형 인명 피해가 발생하여 2018년 11월 정부는 시설 보강 및 가동 중지를 강제하였다.

본 논문은 태양광 신재생에너지 중 태양광 에너지저장시스템에서 전력변환장치와 배터리관리시스템의 충전 전력 상관관계에 따른 배터리 충전의 능동적 운영 모델을 제안하고, 배터리의 안정적 작동을 유지하여 내부화재를 방지할 수 있는 시스템적 방안을 연구한다.

2장에서는 논문과 관련된 기존 관련연구들을 살펴본다. 3장은 제안한 에너지관리시스템의 능동적 에너지 저장 관리 운영 모델을 제시하고, 4장은 제안된 모델을 적용하고 평가한다. 마지막으로 5장에서 실용적, 학술적 의미를 요약한다.

## II. 관련연구

태양광 에너지저장시스템의 적정용량을 선정하기 위하여 에너지저장시스템의 연간 충방전 계획 수립 모형을 생성하고 모형을 바탕으로 최적용량 방안을 제시하였다[2].

태양광 발전 전력을 효율적으로 사용하기 위해서 에너지저장시스템 도입 용량을 산정하기 위해 태양광발전 시설의 실측데이터를 활용하여 발전량과 도입 용량별 이용률을 분석하였다. 현재 국내 에너지 저장장치에 대한 연구가 다양한 방법으로 수행되고 있지만 에너지저장시스템의 효율을 높이기 위한 연구는 여전히 미흡한 실정이다[3].

에너지 저장 시스템에서의 배터리 운전조건에 따른 성능 저하와 태양광 연계 시 에너지저장시스템 모니터링에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구를 통해 충방전 회수에 따른 배터리 용량 변화는 사이클 횟수가 20회 이후 조금씩 감소하였고, 40회 이후에는 감소율이 크게 나타났으며, 충방전 속도의 증가에 따라 감소율은 크게 나타났다. 또한, 사이클 회수에 따라 배터리 퇴화율이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다[4].

태양광발전 연계 에너지저장시스템의 최적 운영을 위한 설계와 제어에 관한 연구를 통해 태양광발전설비와 연계한 에너지저장시스템 설계 제작하여 계통연계운전과 독립 운전시의 전력 부하와 에너지 저장시스템 효율은 목표에 달성하였으나 전력변환장치의 저급 사양에 시험의 한계가 있었고, 태양광 연계 설비 연계 시 출력 저하에 따른 연구가 미흡하였다[5].

태양광 발전과 에너지저장시스템을 연계하여 100kW 태양광 발전소의 에너지저장시스템의 배터리와 전력변환장치 용량에 따른 효율적 분석을 제시하였다. 태양광발전과 에너지저장시스템을 연계하였을 경우 태양광 발전량 변화를 분석하여 에너지

저장시스템의 효율성을 확인하였다[6].

태양광 발전량 예측 연구에 관한 기존 연구를 보면 크게 장기 예측, 단기 예측, 지역별 발전량을 예측하는 연구로 나누어진다. 년 단위, 월 단위의 발전량을 예측하는 장기 예측 및 지역별 발전량을 예측하는 연구는 장기적으로 안정적인 투자를 낼 수 있는 지역에 태양광 발전시스템(PV, Photovoltaic System)을 설치하기 위해 수행되어 진다[7-9].

단기 예측에 관한 연구는 실시간 예측, 한 시간 후 예측, 하루 후 예측 등으로 나누어지며, 효율적인 태양광 발전 시스템의 운용과 다른 전력 계통과의 안정적인 연동을 위해서 수행되어지고 있다[10-12].

또한 예측방법으로는 인공신경망, SVR(Support Vector Regression), 선형 회귀, 폴리노미얼 회귀 등의 다양한 머신러닝 알고리즘들이 사용되고 있다[13-15].

제안하는 연구 방안은 시계열 분석 ARIMA 모형을 이용하여 태양광 발전량 예측을 통한 추정 발전 전력을 구하고, 첫째로 배터리 각 랙 총 충전 전력을 비교 및 전력변환장치의 충전 전력과 배터리 랙 총 충전 전력을 비교하여 배터리의 이상 징후 판별 후 배터리의 안정적인 충전을 위하여 전력변환장치의 충전 전력을 조절한다.

### III. 능동적 배터리 충전 관리 운영 모델

#### 1. 능동적 배터리 충전 관리 운영 모델

에너지저장시스템에서의 태양광 발전 전력을 배터리에 충전하는 과정에서 효과적인 에너지 충전을 위하여 그림 2와 같이 전력변환장치의 충전 전력을 능동적으로 제어한다.

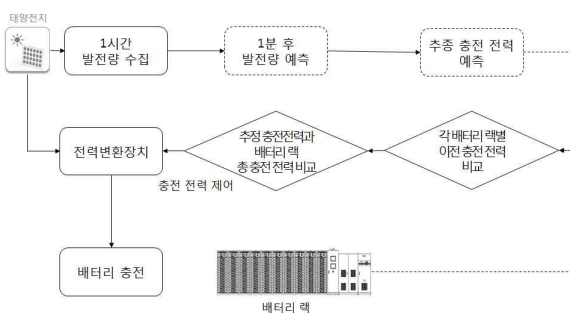


그림 2. 능동적 배터리 충전 관리

첫째, 태양 전지로부터 발전되는 태양광 발전량 1시간 표본 데이터를 기본으로 1분 후 발전량 예측을 하고, 예측된 발전량 대비 1분 후 추정 충전 전력을 구한다.

둘째, 태양광 에너지저장시스템에서 전력변환장치의 충전 전력은 배터리 랙의 총 충전 전력보다 낮은 상태를 유지해야 한다. 배터리 랙에 충전되는 충전 전력과 이전 각 배터리 랙 충전 전

력을 비교하여 배터리 랙의 일차적 이상 징후를 판별한다. 첫째에 의해 구해진 추정 충전 전력과 배터리 랙의 총 충전 전력을 비교하여 배터리 랙의 총 충전 전력보다 추정 충전 전력이 높으면 배터리 랙의 이차적 이상 징후를 판단한다.

셋째, 배터리 랙의 이상 징후를 판단한 후 배터리의 충방전을 유지하면서 각 배터리 랙의 균등 충전을 위하여 전력변환장치의 충전 전력을 이상 징후 발견된 배터리 랙을 제외한 배터리 랙 총 충전 전력보다 낮은 값으로 충전 전력을 제어 조절한다. 본 논문에서는 정상인 배터리 랙 총 충전 전력의 95%로 전력변환장치의 충전 전력을 조절하고 각 배터리 랙의 과전류 현상을 제거하여 균등 충전을 유도한다[16].

#### 2. 시계열 분석을 통한 태양광 발전량 예측

자기회귀누적이동평균모형은 비정상적 시계열 자료에 대해 분석하는 방법이다. 시계열의 변동형태를 파악하고 이를 통해 예측이 가능하다는 장점을 가지고 있고, 시계열 자료 외에 다른 자료가 없더라도 그 변동 상태를 확인할 수 있어 어떤 시계열에도 적용이 가능하며 특히 시간의 흐름에 따라 자료의 변동이 빠를 때 민감하게 반영할 수 있는 단기 예측 특징을 가지고 있어 본 연구에서는 자기회귀누적이동평균모형을 적용한다.[17]

자기회귀누적이동평균모형은 ARIMA(p,d,q)로 표시하며, p는 AR모형과 관련이 있고 q는 MA모형과 관련이 있으며 d는 차분을 의미한다. 자기회귀누적이동평균모형 ARIMA는 아래의 식 (1)과 같다.

##### ARIMA(1,1,1) 모형식

$$a^* \{X(t) - X(t-1)\} = \{b^* X(t-1)\} + \{c^* e(t-1)\} + d + u^* e(t) \quad (1)$$

##### ARIMA(1,2,1) 모형식

$$a^* \{[X(t) - X(t-1)] - [X(t-1) - X(t-2)]\} = \{b^* X(t-1)\} + \{c^* e(t-1)\} + d + u^* e(t)$$

자기회귀누적이동평균모형의 X의 추세는 이전 X의 값과 이전에 발생한 화이트 노이즈의 결과의 영향을 받게 된다.

태양광 발전량의 예측은 ARIMA(1,2,1) 모형을 이용하여 진행한다.

정상적 태양광 발전이 이루어진 상태에서 하루(오전 9시부터 오후 4시)동안의 태양광 발전량과 ARIMA 모형을 이용한 예측 발전량을 그림 3에서 볼 수 있다. 태양광 발전량과 ARIMA 모형을 이용한 예측 발전량의 오차가 0.5% 이내로 실제 태양광 발전량과 거의 일치한다.

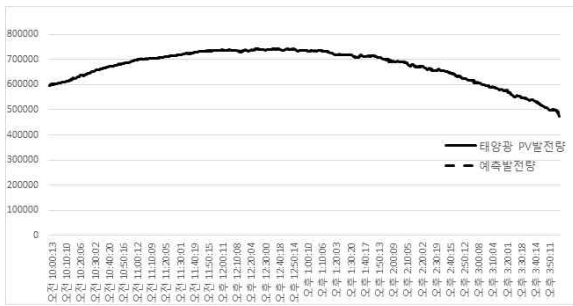


그림 3. 하루 동안의 태양광 발전량 및 예측발전량

ARIMA 모형으로 1시간의 시계열 발전량 데이터를 이용하여 1분 후의 발전량을 예측 계산한다. 예를 들어 10시 00분의 예측 발전량은 1시간 이전 09시 00분에서 09시 59분까지의 시계열 데이터를 기반으로 ARIMA(1,2,1) 모형으로 1분 후 10시 00분의 발전량을 예측하였다. 태양광 발전은 일출시간부터 태양광 발전이 이루어지지만, 안정적인 태양광 발전 전력 생산 및 에너지저장시스템의 배터리 충전 시작 시간 오전 10시를 기준으로 시계열 예측의 추세 변동을 찾을 수 있는 충분한 시간을 1시간으로 정하고 태양광 발전량 예측을 위한 데이터로 사용한다.

### 3. 추정 충전 전력 및 배터리 랙 총 충전 전력

배터리관리시스템은 수동적인 시스템이기 때문에 배터리가 불안정한 상태에 도달하기 전에 능동적으로 전력 흐름을 제어할 수 없다. 또한 배터리의 고속 고전력 충방전시 배터리의 셀 온도의 증가 및 배터리의 수명을 단축시키기 때문에 전력변환장치에서 배터리에 전력을 충방전하기 위해서는 추정 충전률을 계산하여 충전 전력으로 사용한다.

태양광 에너지저장시스템에서 배터리 충전률은 배터리의 충방전율, 배터리의 용량, 태양광 발전량 등의 변수들을 이용한 식 (2)을 이용하여 계산한다.

$$x = \frac{C-rate * A}{PV} * 100 \tag{2}$$

충전률  $x$ 는 배터리 총용량(A)에 배터리 충방전율을 곱하고 태양광 발전량으로 나눈 백분율을 말한다. 추정 충전률  $z$ 은 다음의 조건에 따라 변경되며 추정 충전 전력은  $y$  값이다.

조건 1) 태양광 발전량보다 배터리의 총 충전 용량이 클 때  
 $0.3A > PV \quad x = 100\%, y = PV * 0.98, z = 100$

조건 2) 태양광 발전량보다 배터리의 총 충전 용량이 작을 때  
 $0.3A < PV \quad x = \text{식 (2)의 값}, y = 0.3A, z = x$

조건 3) 전력변환장치 충전 전력보다 배터리 총 충전 전력이

클 때

$$x = \text{식 (2)의 값}, y = PCS, z = x$$

태양광 발전량보다 배터리의 총 충전 용량이 클 때는 태양광 발전량 100%를 배터리에 충전하게 되며, 태양광 발전량보다 배터리의 총 충전 용량이 작을 때는 계산된 추정 충전 전력만큼 배터리를 충전하게 된다. 배터리 충전 전력은 전력변환장치의 용량보다 작거나 같은 전력만큼 충전된다.

### 4. 전력변환장치 충전 전력과 배터리 랙 총 충전전력

배터리의 랙 총 충전 전력( $y$ )은 식 (3)과 같이 각 배터리 랙별 충전 전력의 총 합과 같다. 각 랙에서 충전하는 충전 전력은 각 랙에 인가되는 전압(V)과 전류(A)의 곱으로 정해지고, 설치되어 있는 총 랙의 충전 전력 합이 배터리 랙 총 충전 전력이 된다.

$$y = \sum_{Rack=1}^n \{V \times A\} \tag{3}$$

태양광 에너지저장시스템의 각 배터리 랙별 충전 전력과 전력변환장치의 충전 전력은 표 2와 같다.

표 2. 정상 운용 배터리 랙별 충전 전력 및 총 충전 전력

|                            |        |             |        |        |
|----------------------------|--------|-------------|--------|--------|
| R#1                        | R#2    | R#3,1       | R#3,2  | R#4,1  |
| 15,029                     | 14,658 | 14,658      | 14,750 | 14,865 |
| R#4,2                      | R#5,1  | R#5,2       | R#6,1  | R#6,2  |
| 14,954                     | 15,221 | 15,011      | 15,302 | 15,356 |
| R#7,1                      | R#7,2  | R#8,1       | R#8,2  | R#9,1  |
| 15,075                     | 15,300 | 15,217      | 15,367 | 15,236 |
| R#9,2                      | R#10,1 | R#10,2      | R#11,1 | R#11,2 |
| 15,304                     | 14,804 | 14,806      | 15,448 | 15,454 |
| R#12,2                     | R#12,2 | R#13,1      | R#13,2 | R#14,1 |
| 15,381                     | 15,375 | 15,373      | 15,302 | 15,454 |
| R#14,2                     | R#15,1 | R#15,2      | R#16,1 | R#16,2 |
| 15,456                     | 15,375 | 15,315      | 15,165 | 14,847 |
| R#17,1                     | R#17,2 | 단위 : W      |        |        |
| 14,869                     | 15,381 |             |        |        |
| 전력변환장치 충전 전력               |        | 배터리 총 충전 전력 |        |        |
| 469,246                    |        | 485,126     |        |        |
| 전력변환장치 충전 전력 ≤ 배터리 총 충전 전력 |        |             |        |        |

표 2에서 각 랙은 약 15kW의 충전 전력을 가지고 있으며 32개의 배터리 랙의 충전 전력은 약 485kW이다. 태양광 에너지 저장시스템에서의 전력변환장치의 충전 전력은 각 배터리 랙별 충전 전력의 합보다 항상 낮게 설정한다. 이는 과충전을 보호하고 배터리의 최적 충방진을 유도하기 위함이다.

### IV. 구현 및 평가

#### 1. 능동적 배터리 충전 관리 모델의 구현

본 논문은 태양광 발전 시스템에서 태양광 발전량 예측에 따른 배터리 충전의 이상 징후가 발생하였을 때 에너지저장관리시스템에서 배터리 충전을 능동적으로 대처하는 모델을 제시한다

표 3. 태양광 발전소 정보

| 설비                       | 용량       |
|--------------------------|----------|
| 태양광 발전량                  | 984.96kW |
| 태양광 인버터                  | 100kW    |
| 에너지저장시스템<br>전력변환장치 충전 전력 | 500kW    |
| 배터리 최대 충전량               | 2,192kW  |
| 배터리 랙 총 개수               | 32개      |

제안하는 연구는 표 3과 같은 설비로 구성되어 있는 에너지저장시스템이 운영 중인 태양광 발전소에 직접 구현하였다.

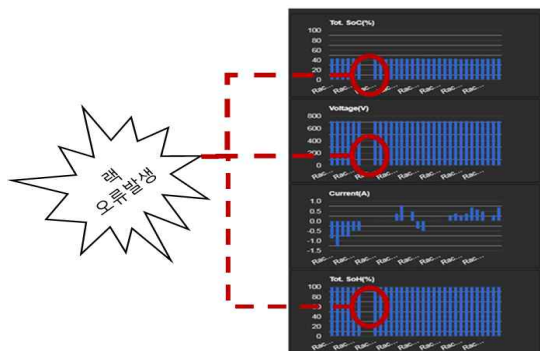


그림 4. 에너지관리시스템에서 랙 오류 발생

제한한 능동적 에너지 저장 관리 모델이 적용되는 태양광 발전소는 32개의 배터리 랙으로 배터리 시스템이 구성되어 있으며 그림 4를 보면 태양광 발전은 정상적으로 발전하고 있고, 배터리 랙 5번의 #1, #2의 배터리 랙의 SOC 및 SOH, 전압, 전류가 0으로 이상 징후를 보인다. 이와 같이 태양광 에너지저장시스템의 랙 오류가 발생하였을 때 제안하는 능동 에너지 저장 관

리 모델을 순서대로 적용하여 에너지저장시스템의 배터리 랙의 충전 전력 안정화를 진행한다.

표 4. 배터리 랙 #1의 전압, 전류 상태 비교

| 분류    | 상태    | 데이터   | 상승률      |
|-------|-------|-------|----------|
| 전압(V) | 정상 충전 | 723.1 | 0.15% 상승 |
|       | 고장 충전 | 724.2 |          |
| 전류(A) | 정상 충전 | 21.6  | 6.95% 상승 |
|       | 고장 충전 | 23.2  |          |

표 4은 배터리 랙 #1에 대한 정상 충전시의 전압, 전류와 고장 상황에서의 충전 시 전압, 전류를 비교한 것이다. 정상 충전시보다 배터리 Rack에 전가되는 전압은 0.15% 증가하였고 전류는 6.95% 증가되었다. 배터리 균등 충전에 의해 배터리 랙 하나에 국한되지 않고 전체 32개의 배터리 랙 중에 이상 징후가 발생한 배터리 랙 2개를 제외하고 전체 30개의 배터리 랙에 균등하게 전압 및 전류가 상승하게 된다.

예측된 발전량을 기반으로 추정 충전 전력 및 예상 충전 전력을 식 2)의 조건 1) 과 같이 적용하면 표 5과 같다. 예측된 발전량을 실제 태양광 발전량과 비교하면 오차율이 평균 0.5% 이내 값이므로 충분한 유효성이 있는 발전량으로 판단한다.

표 5. 예상 충전 전력 및 배터리 랙 총 충전 전력

| 시간    | 예측 발전량 (W) | 충전율 (%) | 추정 충전율 (%) | 예상 충전 전력 (W) | 배터리 랙 총 충전전력 (W) |
|-------|------------|---------|------------|--------------|------------------|
| 11:15 | 553,100    | 118.89  | 100        | 553,100      | 488,645          |
| 11:16 | 552,561    | 119.01  | 100        | 552,561      | 488,645          |
| 11:17 | 551,871    | 119.16  | 100        | 551,871      | 488,463          |
| 11:18 | 556,134    | 118.24  | 100        | 556,134      | 488,542          |
| 11:19 | 557,403    | 117.98  | 100        | 557,403      | 488,535          |
| 11:20 | 558,449    | 117.75  | 100        | 558,449      | 488,618          |

표 4에서 보는 것과 같이 11시 15분 기점 예측 충전 전력이 약 553kW 이고 배터리 랙 총 충전 전력이 약 489kW 일 때 예상 충전 전력은 전력변환장치의 충전 전력 479kW보다 크기 때문에 전력변환장치의 충전 전력 479kW를 모두 충전을 할 수 있다. 각 배터리 랙의 최대 충전 전력이 약 15kW이며, 32개의 배터리 랙이 정상 운용 시 각 배터리 랙의 총 충전 전력 489kW보다 고장 운용 시 각 배터리 랙의 충전 전력 합이 459kW이기 때문에 고장 시점의 각 배터리 랙의 총 충전 전력의 95% 수준,

즉 436kW으로 전력변환장치의 충전 전력을 조절한다. 1분 후의 추정 충전 전력을 이용하여 고장 시점 이전에 태양광 에너지 저장관리시스템이 전력변환장치의 충전 전력을 조절, 이후에 배터리 랙 별 충전 밸런싱이 균등하게 이루어져 각 배터리의 충방전율을 유지하면서 각 배터리 랙 별 과전류 충전 스트레스에 영향을 받지 않도록 능동적 에너지 관리를 제어한다.

## 2. 능동적 배터리 충전 관리 모델의 평가

태양광 에너지관리시스템에서 능동적으로 전력변환장치의 충전 전력을 조절한 이후 각 랙별 충전 전압, 충전 전류의 밸런스가 정상적인 범위에서 안정적으로 충전함을 표 6에서 확인 한다.

표 6. 충전 전력 조절 후 각 배터리 랙의 상태

|                            |                  |                          |                  |                  |
|----------------------------|------------------|--------------------------|------------------|------------------|
| R#1                        | R#2              | R#3,1                    | R#3,2            | R#4,1            |
| 722.1V,<br>21.7A           | 721.6V,<br>21.7A | 721.6V,<br>21.7A         | 722.7V,<br>21.4A | 721.2V,<br>21.3A |
| R#4,2                      | R#5,1            | R#5,2                    | R#6,1            | R#6,2            |
| 722V,<br>21.3A             | 0V,0A            | 0V,0A                    | 721.1V,<br>21.1A | 720.4V,<br>21.2A |
| R#7,1                      | R#7,2            | R#8,1                    | R#8,2            | R#9,1            |
| 720.6V,<br>21A             | 721V,<br>21A     | 720.5V,<br>20.8A         | 720.6V,<br>20.8A | 721.5V,<br>20.9A |
| R#9,2                      | R#10,1           | R#10,2                   | R#11,1           | R#11,2           |
| 721.2V,<br>20.9A           | 721.8V,<br>21A   | 721.9V,<br>20.9A         | 721.2V,<br>21.1A | 721.4V,<br>21.1A |
| R#12,2                     | R#12,2           | R#13,1                   | R#13,2           | R#14,1           |
| 721.4V,<br>21.1A           | 721.2V,<br>21.1A | 721.2V,<br>20.9A         | 721.2V,<br>21A   | 721.5V,<br>20.8A |
| R#14,2                     | R#15,1           | R#15,2                   | R#16,1           | R#16,2           |
| 721.6V,<br>20.9A           | 721.2V,<br>20.9A | 721.9V,<br>20.8A         | 721.4V,<br>20.7A | 720.3V,<br>20.7A |
| R#17,1                     | R#17,2           | 단위 : 전압(V), 전류(A), 전력(W) |                  |                  |
| 721.4V,<br>20.8A           | 721.4V,<br>20.4A |                          |                  |                  |
| 태양광 발전량                    |                  | 예측 발전량                   |                  |                  |
| 550,527                    |                  | 553,100                  |                  |                  |
| 조절된 전력변환장치 충전 전력           |                  | 배터리 랙 총 충전 전력            |                  |                  |
| 436,000                    |                  | 455,165                  |                  |                  |
| 전력변환장치 충전 전력 < 배터리 총 충전 전력 |                  |                          |                  |                  |

두 개의 랙 #5,1과 랙 #5,2가 이상 징후가 발생하여 충전 전력이 0kw이지만 나머지 30개의 랙의 충전 전압은 약 720V에서 약 722V 사이에서 평활한 전압을 보이고 있고, 충전 전류도 약 20A에서 약 21A 사이에서 안정적으로 충전을 하고 있다. 태

양광 발전량은 약 550kW이지만 전력변환장치의 충전 전력을 436kW, 배터리 랙 총 충전 전력의 95% 정도로 조절하여 충전하고, 나머지 태양광 발전량 114kw는 계통 전력으로 전송한다.

제안하고 있는 방법은 1시간의 태양광 발전량 데이터 기반 ARIMA 모형을 통한 1분 후의 예상 발전 전력을 예측하고 추정 충전 전력을 계산하여 사전에 배터리 랙의 총 충전 전력을 구한다. 저장되어 있는 이전 배터리 랙의 총 충전 전력과 현재 배터리 랙의 총 충전 전력을 비교하여 일차적으로 배터리 랙의 이상 징후를 분석한다. 또한, 이미 구해진 추정 충전 전력과 배터리 랙의 총 충전 전력을 분석하여 이상 징후를 발견하며, 이상 징후가 발견되었을 시 에너지관리시스템은 추정 충전 전력을 전력변환장치의 충전 전력으로 능동적으로 조절 제어한다.

태양광 발전 전력이 약 550kw로 정상적일 때 배터리 랙의 오류 개수 상황에 따른 전력변환장치의 충전 전력과 배터리 랙 총 충전 전력은 표 7과 같다. 배터리 랙의 오류 개수가 늘어날수록 배터리 랙 총 충전 전력은 낮아지므로 정상 배터리 랙간 충전 밸런싱을 위하여 전력변환장치의 충전 전력 또한 낮아져야만 한다. 충전 전력 이외의 태양광 발전 전력은 연계된 계통 전력으로 실시간으로 보내게 된다. 제안하는 방안은 배터 랙 오류 개수에 따라 배터리 랙의 충전 스트레스를 최소화할 수 있도록 전력변환장치의 충전 전력을 에너지저장시스템에서 능동적으로 실시간 변경 제어할 수 있는 방안이다.

표 7. 배터리 랙 오류에 따른 충전 전력

| 배터리 랙 오류 개수 | 전력변환장치 충전 전력 (W) | 배터리 랙 총 충전 전력 (W) | 계통 전력 (W) |
|-------------|------------------|-------------------|-----------|
| 1           | 472,000          | 488,645           | 78,000    |
| 2           | 436,000          | 455,165           | 114,000   |
| 3           | 418,000          | 440,165           | 132,000   |
| ⋮           | ⋮                | ⋮                 | ⋮         |
| 30          | 28,500           | 30,000            | 521,500   |
| 31          | 14,250           | 15,000            | 535,750   |
| 32          | 0                | 0                 | 550,000   |

제안된 방안은 에너지저장관리시스템이 능동적으로 전력변환장치와 배터리관리시스템 상호 시스템간의 데이터 피드백을 통한 효과적 에너지 운영 및 에너지저장시스템 설비들의 유기적 연결 및 효율적 운용이 가능한 방안이다.

### III. 결 론

본 논문에서는 태양광 에너지저장시스템에서 에너지 저장 매체인 배터리의 능동적 충전 운영 모델을 제안하였고, 제안한 방법을 적용하여 에너지저장시스템 배터리의 안정적 충전을 확인하였다.

제안한 능동적 에너지 저장 관리 모델은 다음과 같은 장점으로 실제 태양광 발전 및 에너지저장시스템에서 사용한다.

첫째, 배터리의 모니터링 기능 및 보호 관리를 위한 배터리관리시스템의 기능을 보장하여 배터리의 효율적 충방전을 유도하고 배터리의 안전성과 수명을 보장할 수 있다. 배터리의 충방전율을 제조사의 권장 수준으로 유지하면서 배터리로 인한 사고를 사전에 차단 예방한다.

둘째, 태양광 발전량 데이터 기반으로 하는 예측 발전량 대비 추정 충전 전력과 배터리 총 충전 전력을 비교함으로써 배터리 랙의 오류 및 사고 발생 이전 또는 직후 에너지관리시스템에서 이상 징후를 즉각적으로 판단하고, 전력변환장치의 충전 전력을 제어함으로써 에너지 충전의 효율적인 운영 및 에너지저장시스템의 물리적 보안 사고를 예방한다.

셋째, 배터리 랙들 중 이상 징후 발견 즉시 전력변환장치의 충전 전력을 배터리 랙 총 충전 전력의 95% 이내로 조절하여 배터리 충방전율이 유지된다. 각 배터리 랙의 균등 충전을 위한 밸런싱 효과가 있으며, 이는 배터리 랙의 각 배터리 셀들의 과충전 부하 스트레스를 완화시켜 배터리의 안정적인 충방전 및 배터리의 수명 사이클을 보장한다.

다음 연구에서는 기후 변수를 고려한 태양광 예측 발전량을 계산할 수 있고, 1초 단위 발전 전력 데이터를 이용하여 세밀하고 실시간으로 전력량 예측을 통한 능동적 에너지 저장 방안을 연구한다.

### REFERENCES

- [1] 조재형, 나인호, “신재생에너지 연계형 에너지관리장치의 운영 사례 연구,” *스마트미디어저널*, 제7권, 제2호, 71-77쪽, 2018년 6월
- [2] 홍종석, 채희석, 문종필, “경제성 분석을 통한 산업용 수용가의 ESS 설치 용량 산정,” *대한전기학회 논문지*, 제64권, 제4호, 273-276쪽, 2015년 12월
- [3] 정승국, 이진주, “태양광 발전량 실측 분석에 의한 최적의 ESS 설치 용량 산정에 관한 연구,” *한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집*, 648-649쪽, 2018년 6월
- [4] 정윤이, 정한주, “에너지저장시스템(ESS)용 배터리의 운전조건에 따른 성능저하 및 태양광 연계형 ESS 모니터링 연구,” *한국수소 및 신에너지학회 논문집*, 제25권, 제3호, 311-318쪽, 2014년 6월
- [5] 차인수, 박종복, “PV System기반 ESS의 최적운전을 위한 설계 및 제어특성에 관한 연구,” *한국태양에너지학회 논문집*, 제36권, 제5호, 19-30쪽, 2016년 10월
- [6] 윤금란, “100kW 태양광발전소의 에너지저장장치(ESS) 연계에 따른 충·방전 효율 분석 연구,” *상명대학교 석사학위논문*, 2019년
- [7] W. C. Cha, J. H. Park, U. R. Cho, and J. C. Kim, “Design of Generation Efficiency Fuzzy Prediction Model using Solar Power Element Data,” *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineering*, vol. 63, no. 10, pp. 1423-1427, 2014.
- [8] J. G. Kim, D. H. Kim, W. S. Yoo, J. Y. Lee and Y. B. Kim, “Daily prediction of solar power generation based on weather forecast information in Korea,” *Institution of Engineering and Technology (IET) Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 10, pp. 1268-1273, 2017.
- [9] D. K. Jo, C. Y. Yun, K. D. Kim, and Y. H. Kang, “A Study on the Estimating Solar Radiation in Korea Using Cloud Cover and Hours of Bright Sunshine,” *Journal of the Korea Solar Energy Society (KSES)*, vol. 32, no. 2, pp. 28-34, 2012.
- [10] J. J. Song, Y. S. Jeong, and S. H. Lee, “Analysis of Prediction Model for Solar Power Generation,” *Journal of Digital Convergence*, vol. 12, no. 3, pp. 243-248, 2014.
- [11] K. D. Kim, “The Development of the Short-Term Predict Model for Solar Power Generation,” *Journal of the Korea Solar Energy Society (KSES)*, vol.33, no. 6, pp. 62-60, 2013.
- [12] 김상원, “PV intensity를 반영한 태양광 발전량 단기예측 알고리즘,” *고려대학교 석사학위 논문*, 19-25쪽, 2013
- [13] 이강혁, 김우제, “서포트 벡터 회귀를 이용한 24시간 앞의 태양광 발전량 예측,” *한국정보기술학회 논문지*, 제14권, 제3호, 175-183쪽, 2016년 3월
- [14] Yona A, Senjyu T, Saber A.Y, Funabashi T, Sekine H, and Chul-Hwan Kim, “Application of Neural Network to One-Day-Ahead 24 hours Generating Power Forecasting for Photovoltaic System,” *Proc. of IEEE : ISAP*, pp. 1-6, 2007.
- [15] A. Chauouchi, R. M. Kamel, R. Ichikawa, H. Hayashi, and K. Nagasaka, “Neural Network Ensemble based Solar Power Generation Short-Term Forecasting,” *International Journal*

*of Electrical, Electronic and Communication Engineering*, WASET, vol. 3, no. 6, pp. 1258-1263, 2009.

- [16] 김정준, “에너지저장시스템에서의 발전량 예측을 통한 능동적 에너지 저장 관리 방안”, *전북대학교 박사학위 논문*, 2020
- [17] 이동현, 정아현, 김진형, 김창기, 김현구, 이영섭, “SARIMA모형을 이용한 태양광 발전량 예보 모형 구축”, *한국태양에너지학회 논문집*, 제39권, 제3호, 59-66쪽, 2019년 6월

## 저자 소개



김정준(정회원)

2000년 전북대학교 산업공학 학과 학사 졸업  
 2003년 전북대학교 정보과학대학 석사 졸업  
 2020년 전북대학교 정보보호공학 대학원 박사  
 2008년 ~ 현재 ㈜트레디오 대표

<주관심분야 : 전력IT, 정보보호, 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 모니터링 시스템 >



채범석(준회원)

2004년 전주비전대 컴퓨터공학 학과 전문학사 졸업  
 2019년 국가평생교육진흥원 컴퓨터공학 학과 학사 졸업  
 2019년 전북대학교 정보보호학과 석사 재학  
 현재 (주)트레디오 전략개발부 부장

<주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 웹 어플리케이션, 모바일 어플리케이션, 정보보호>



이영관(준회원)

1997년 원광대학교 물리학과 학사 졸업  
 2008년 ~ 현재 ㈜세이브에너지 대표

<주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 신재생에너지, 전력IT, 에너지저장시스템>



조기환(중신회원)

1985년 전남대학교 학사  
 1987년 서울대학교 석사  
 1996년 뉴캐슬대학교 박사  
 1987년 ~ 1997년 한국전자통신연구원 선임연구원  
 1997년 ~ 1999년 목포대학교 컴퓨터 과학과 교수  
 1999년 ~ 현재 전북대학교 컴퓨터공학부 교수

<주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선인터넷, 센서 네트워크, 정보보호>