

# 리튬이온 배터리를 이용한 가정용 태양광모듈 출력 증폭장치의 구현

태동현, 김병목, 전진택, 박동명, 노대석

한국기술교육대학교

e-mail:tdh2002@koreatech.ac.kr

## A Study on Implementation of Power Regulation Device for Residential PV Module Using Li-ion Battery

Dong-Hyun Tae, Byung-Mok Kim, Jin-Taek Jeon, Dong-Myoung Park, Dae-Seok Rho  
Korean University of Technology and Education

### 요 약

최근, 9차 전력수급계획이 확정됨에 따라 정부는 재생에너지 3020 계획의 일부인 태양광 및 풍력 설비 목표량을 29.9GW에서 42.7GW로 상향하였으며, 태양광전원 보급 사업을 적극적으로 시행하고 있다. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 환경에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 태양광 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되고 인버터가 저전압 현상으로 인해 정지하여, 태양광전원의 전체적인 운용효율이 큰 폭으로 저하되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단 형태의 리튬이온 배터리 모듈을 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용방안을 제시한다. 또한, 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈의 출력 증폭장치를 구현하여 운용특성을 분석한 결과, 직렬로 연결된 리튬이온 배터리가 부분 음영에 의하여 전압저하가 발생된 스트링의 전압을 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지하여, 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## 1. 서 론

최근, 전 세계적으로 에너지 고갈과 기후변화 문제로 인하여, 재생 가능하고 친환경적인 신재생 에너지 원원에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 국내에서는 9차 전력수급 기본계획이 확정됨에 따라, 정부는 재생에너지 3020 계획의 일부인 태양광 및 풍력 설비 목표량을 29.9GW에서 42.7GW로 상향하였으며, 국내 태양광전원 시장은 정부 지원 아래 지속적으로 성장하고 있다[1]. 그러나, 이러한 태양광전원은 주변 기후 조건에 따라 출력이 크게 변동되는데, 일부 모듈에만 음영이 발생하여도 인버터의 동작이 정지되어, 운용효율이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 즉, 태양광전원에서는 모듈을 직렬로 연결한 스트링이 인버터에 연계되어 구성되므로, 일부 모듈에 부분 음영이 발생하면 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나게 되어, 스트링이 인버터에서 탈락되는 문제점이 발생할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단형태의 리튬이온 배터리 모듈을 직렬로 연결

하여 전압저하분을 보상할 수 있는 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용방안을 제시한다. 또한, 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 태양광모듈의 출력 증폭장치를 구현한다. 이를 바탕으로 제안한 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용특성을 분석한 결과, 부분 음영에 의하여 전압저하가 발생된 태양광 스트링의 전압을 출력 증폭장치의 리튬이온 배터리 모듈로 보상함으로써, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 발생하여, 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

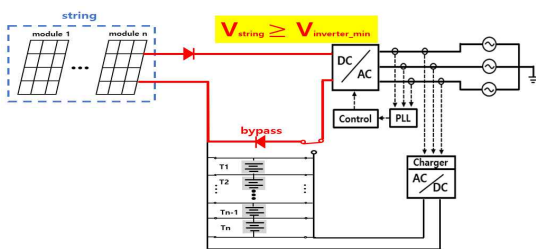
## 2. 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치의 운용모드

일반적으로, 태양광전원은 태양의 위치 변화나 구름 및 나무 등으로 발생하는 음영에 의해 출력 손실이 발생한다[2]. 특히, 일부 태양광모듈에 부분 음영이 발생하면 스트링의 전압이 인버터의 동작전압 범위를 벗어나 인버터로부터 탈락되고, 스트링의 출력은 0[W]로 감소하게 되어, 태양광전원의 전체적인 운용효율이 저하되는 현상이 발생할 수 있다. 하지만, 이러한 부분 음

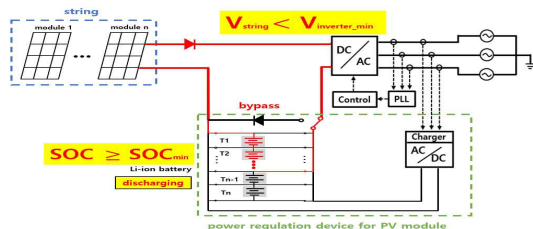
영에 의한 태양광모듈의 운용효율 저하 현상을 방지하는 방안이 제시되고 있지 않아, 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 태양광 스트링이 음영에 의하여 인버터에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여, 태양광모듈에 리튬이온 배터리를 직렬로 연결한 가정용 태양광모듈 출력 증폭장치를 제안한다. 이 장치는 배터리 모듈부와 충전기로 구성되고, 태양광 스트링과 계통연계형 인버터 사이에 직렬로 삽입되며, 음영에 의하여 전압저하가 발생할 경우, 태양광 스트링의 전압을 다단형태의 배터리 모듈부가 적정하게 전압을 보상하는 역할을 수행한다. 특히, 가정용 태양광모듈에 적용되므로, 비교적 작은 용량의 배터리를 통해 태양광모듈 전체의 출력을 증폭시킬 수 있는 장점이 있다.

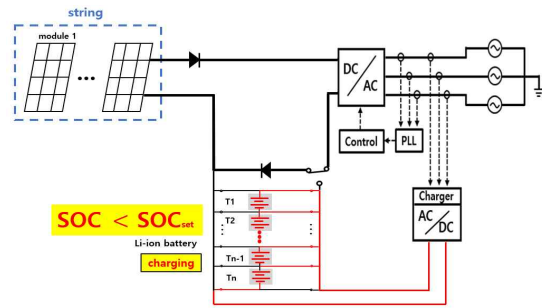
먼저, 그림 1은 스트링의 전압이 인버터의 동작범위 이내를 유지하여, 정상적인 상태에서의 태양광발전 운용모드를 나타낸다. 여기서, 태양광모듈의 출력 증폭장치는 바이패스 모드에 의해 동작하지 않고, 태양광 스트링의 출력은 인버터를 통해 계통으로 전달된다. 또한, 그림 2는 태양광모듈의 일부가 음영으로 인해 스트링의 전압이 인버터의 동작범위를 벗어나는 경우, 인버터가 탈락하는 현상을 방지하기 위해, 태양광모듈의 출력 증폭장치에 의하여 전압저하분을 보상하는 운용모드이다. 여기서, 태양광모듈의 출력 증폭장치는 저하된 스트링 전압 크기만큼 다단형태의 배터리 모듈부를 직렬로 연결하여 전압저하분을 보상하여, 태양광모듈의 출력과 배터리의 보상된 출력을 인버터를 통해 계통으로 전달한다. 한편, 그림 3는 배터리 모듈부의 SOC가 설정치 미만인 경우, AC 상용계통으로부터 태양광모듈용 출력 증폭장치의 배터리 모듈부에 충전하는 운용모드이다. 여기서, 태양광모듈용 출력 증폭장치는 방전된 배터리 모듈부에 대하여, 충전기를 이용해 배터리 모듈별 SOC에 따라 개별적으로 충전한다.



[그림 1] 태양광발전의 정상상태 운용모드



[그림 2] 태양광모듈 출력 증폭장치의 주 운용모드

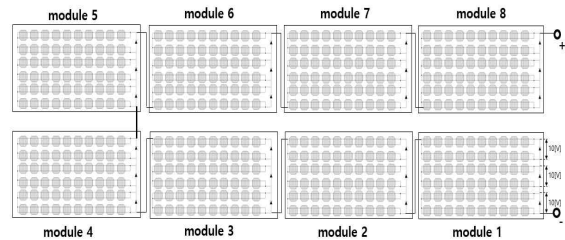


[그림 3] 태양광모듈 출력 증폭장치의 충전모드

### 3. 리튬이온 배터리를 이용한 가정용 태양광모듈의 출력 증폭장치 구현

#### 3.1 태양광 스트링

태양광모듈은 60개의 태양전지 셀과 3개의 바이패스 다이오드로 구성되며, 20개의 셀마다 하나의 다이오드가 설치되어 있다. 또한, 그림 4과 같이 2[kW]급 태양광 스트링은 250[W]급 태양광모듈 8개를 직렬로 연결하여 구성하며, 각 태양광모듈의 전기적 특성은 표 1과 같다.



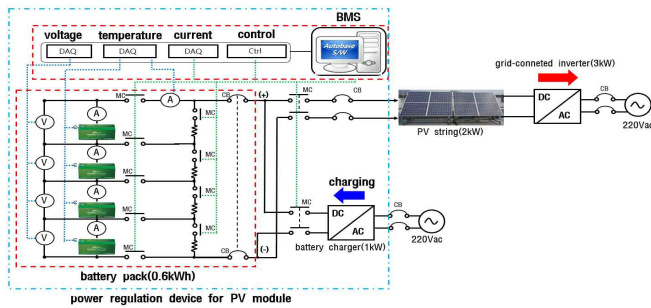
[그림 4] 2kW급 태양광 스트링의 구성도

[표 1] 태양광모듈의 사양

| 항목                     | contents |
|------------------------|----------|
| 정격 출력 ( $P_{max}$ )    | 250[W]   |
| 최대전력점의 전압 ( $V_{mp}$ ) | 30.8[V]  |
| 최대전력점의 전류 ( $I_{mp}$ ) | 8.14[A]  |
| 개방전압 ( $V_{oc}$ )      | 37.5[V]  |
| 단락전류 ( $I_{sc}$ )      | 8.67[A]  |

#### 3.2 태양광모듈의 출력 증폭장치

태양광모듈의 출력 증폭장치는 그림 5와 같이 전압보상을 위한 배터리팩과 AC전원 계통으로부터 배터리의 충전을 위한 충전기, 그리고 이를 감시하고 안전하게 제어하기 위한 BMS(battery management system)로 구성한다. 여기서, 배터리팩은 153[Wh]급 4직렬의 모듈로 구성하고 총 612[Wh]의 용량을 가지며, 상세한 사양은 표 2와 같다. 또한, BMS는 각 모듈에 연결된 센서로부터 전압, 전류, 온도 등을 측정하여, 배터리의 SOC(state of charge)를 평가하거나, 부분 음영으로 인해 태양광모듈의 전압이 저하되는 경우, 배터리의 방전을 통해 태양광전원이 발전을 지속할 수 있도록 회로를 제어한다.



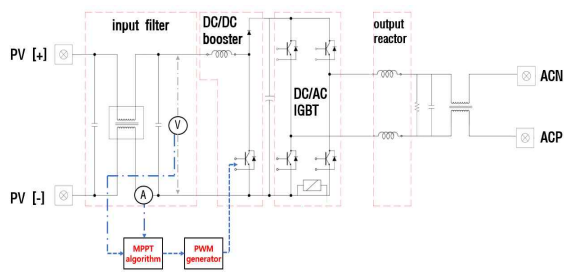
[그림 5] 태양광모듈 출력 증폭장치의 구성도

[표 2] 리튬이온 배터리 모듈의 사양

| 항목    | 사양                 |                     |
|-------|--------------------|---------------------|
|       | modules            | pack(4S)            |
| 용량    | 153[Wh]<br>(6[Ah]) | 612[Wh]<br>(24[Ah]) |
| 기준 전압 | 25.6[V]            | 102.4[V]            |
| 운용 전압 | 18~29.2[V]         | 18~116.8[V]         |
| 무게    | <1.3[kg]           | <5.2[kg]            |

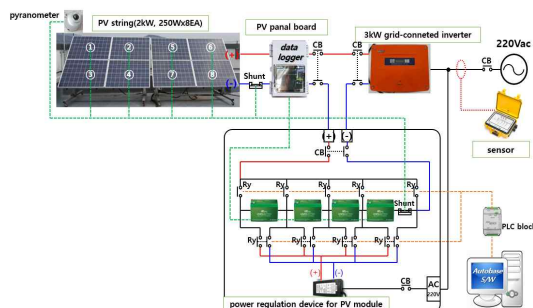
### 3.3 계통연계형 인버터

계통연계형 인버터는 그림 6과 같이, 입력 Filter, DC/DC Booster, IGBT, 출력 Reactor, 등으로 구성되며, 입력전압을 DC/DC Booster로 승압하고, 3상 380[V]의 AC로 변환해 전력 계통과 연계되도록 구현한다. 또한, 입력전압의 범위는 115~500[V]이고, 정격용량은 3[kW]이며, 상세한 사양은 표 3과 같다. 한편, 일사량이나 태양광 모듈의 탈락 등으로 인해 입력되는 전압 및 전류가 변동되더라도 인버터는 PLL 제어를 통해 계통의 위상을 추종하도록 한다.



[그림 6] 계통연계형 인버터의 구성도

상기의 태양광 스트링, 태양광모듈의 출력 증폭장치, 계통연계형 인버터로 구성된 전체 시스템은 그림 7과 같다.



[그림 7] 태양광모듈 출력 증폭장치의 전체 시스템 구성

## 4. 시험 결과 및 분석

### 4.1 시험 조건

본 논문에서 제안한 가정용 태양광모듈 출력 증폭장치의 운용특성을 확인하기 위하여, 여기서는 3장에서 구현한 시험장치를 이용하여 부분음영 발생 시, 출력 증폭장치가 없는 방식(Case I ~ Case III)과, 출력 증폭장치를 통해 전압저하분을 보상하는 방식(Case IV ~ Case XI)의 운용특성을 비교 분석한다. 음영 발생 면적에 따른 리튬이온 배터리의 운용조건은 표 4와 같이 상정하며, 6개의 Case별로 약 10분간 지속하여 시험을 수행한다.

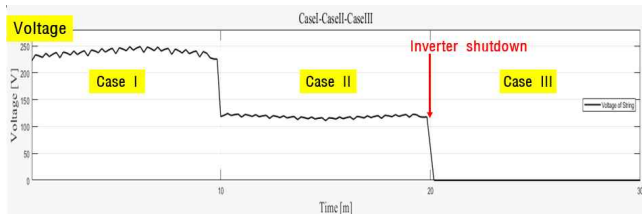
[표 3] 시험 조건

|           | Case | 리튬이온전지<br>단자전압 [V] | 음영 영역          |
|-----------|------|--------------------|----------------|
| 기존의<br>방식 | I    | 0                  | without shadow |
|           | II   |                    | 4/8 of string  |
|           | III  |                    | 5/8 of string  |
| 제안한<br>방식 | IV   | 0                  | without shadow |
|           | V    |                    | 4/8 of string  |
|           | VI   | 51.2               | 5/8 of string  |
|           | VII  | 25.6               |                |
|           | VIII | 76.8               | 6/8 of string  |
|           | IX   | 51.2               |                |
|           | X    | 102.4              | 7/8 of string  |
|           | XI   | 76.8               |                |

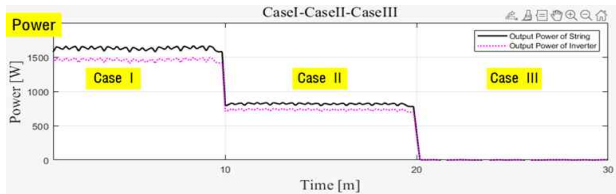
### 4.2 출력 증폭장치가 없는 경우의 특성 분석

음영이 발생하는 경우, 태양광 모듈의 운용효율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 출력 증폭장치가 없는 경우(Case I ~ Case III)에 의한 태양광전원 전압 및 출력 특성을 나타내면 그림 11과 같다. 여기서, 그림 11 (a)는 음영에 따른 스트링의 전압 변동특성을 나타낸 것이고, 그림 11 (b)는 스트링의 출력과 인버터의 출력 변동특성을 나타낸 것이다. 즉, 그림 11 (a), (b)의 Case I과 같이 음영이 발생되지 않은 경우, 스트링의 전압은 246[V], 스트링의 출력은 1,640[W]가 발생된다.

하지만, 그림 11 (a), (b)의 Case II와 같이, 음영이 스트링 면적의 50%만큼 발생하면 스트링 전압은 117[V], 스트링 출력은 821[W]로 감소하고, Case III와 같이 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면 스트링의 전압은 인버터의 최소 동작전압범위(115[V])를 벗어나, 인버터의 동작이 정지되어 출력은 0[W]로 감소하게 된다. 따라서, 부분 음영으로 인하여 스트링은 인버터로부터 탈락되고, 태양광전원의 운용효율이 감소하게 됨을 알 수 있다.



(a) 스트링의 전압

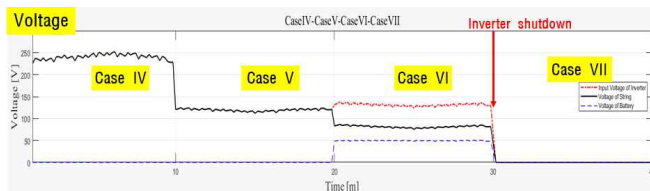


(b) 스트링의 출력

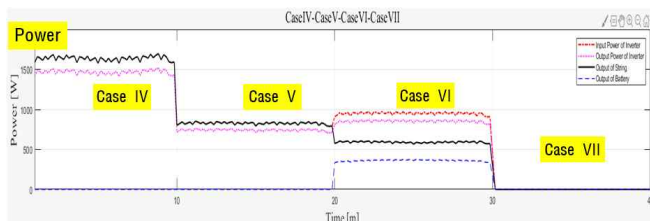
[그림 8] 기존방식의 태양광 스트링의 출력특성(Case I ~ Case III)

### 4.3 태양광모듈 출력 증폭장치의 특성 분석

태양광모듈 출력 증폭장치를 이용한 시험 조건 중에 대표적으로 Case IV ~ Case VII의 운용특성을 나타내면 그림 5와 같다. 그림 5의 상단 그래프는 음영에 따른 스트링의 전압, 그림 5의 하단 그래프는 스트링의 출력과 인버터의 출력을 나타낸다. 여기서, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하고, 제어 장치에 의하여 리튬이온배터리 2대가 투입(Case VI)되면, 리튬이온배터리에 의하여 전압이 보상되어, 스트링이 인버터에서 탈락되지 않고 지속적으로 출력을 유지함을 알 수 있다.



(a) 스트링의 전압



(b) 스트링의 출력

[그림 9] 기존방식의 태양광 스트링의 출력특성(Case IV ~ Case VII)

상기와 동일한 방식으로 기존의 방식과, 제안한 방식의 운용특성을 비교하기 위하여, 음영이 발생된 스트링의 면적과 리튬이온배터리의 보상전압을 파라메타로 하여, 태양광전원의 스트링 및 리튬이온배터리 전압 및 출력특성을 나타내면 표 4와 같다.

[표 4] 기존의 방식과 제안한 방식의 출력 특성 비교 결과

| 항목     |           | 음영 면적   |     |       |       |       |
|--------|-----------|---------|-----|-------|-------|-------|
|        |           | without | 4/8 | 5/8   | 6/8   | 7/8   |
| 기존의 방식 | 스트링 전압[V] | 246     | 117 | 0     | 0     | 0     |
|        | 스트링 출력[W] | 1,640   | 821 | 0     | 0     | 0     |
|        | 인버터 출력[W] | 1,640   | 821 | 0     | 0     | 0     |
| 제안한 방식 | 스트링 전압[V] | 246     | 117 | 82.8  | 52.2  | 19.6  |
|        | 배터리 전압[V] | 0       | 0   | 51.2  | 76.8  | 102.4 |
|        | 인버터 입력[W] | 246     | 117 | 134   | 129   | 122   |
|        | 스트링 전압[V] | 246     | 117 | 134   | 129   | 122   |
|        | 스트링 출력[W] | 1,640   | 821 | 563.6 | 365.5 | 126.8 |
|        | 배터리 출력[W] | 0       | 0   | 400.8 | 520.9 | 715.3 |
|        | 인버터 출력[W] | 1,640   | 821 | 964.4 | 886.4 | 842.1 |
|        | 인버터 입력[W] | 1,640   | 821 | 964.4 | 886.4 | 842.1 |
|        | 인버터 출력[W] | 1,640   | 821 | 964.4 | 886.4 | 842.1 |

여기서, 음영이 스트링 면적의 5/8만큼 발생하면, 기존의 방식에서는 스트링의 출력이 0[W]로 감소하지만, 제안한 방식에서는 리튬이온배터리의 출력이 400.8[W]이고, 태양광 스트링과 리튬이온배터리 출력의 합은 964.4[W]로 개선됨을 알 수 있었다. 즉, 음영이 태양광 스트링의 5/8만큼 발생하면 2개의 리튬이온배터리 모듈이 투입되어 51.2[V]의 전압이 보상되고, 6/8과 7/8의 음영이 발생하면, 리튬이온배터리 모듈이 3개, 4개로 단계별로 투입되어 전압을 보상하게 된다. 따라서, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온배터리 모듈의 전압을 단계별로 투입하여, 기존의 방식에 비해 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 음영으로 인해 감소된 스트링의 전압을 리튬이온배터리를 연결하여 보상하는 태양광모듈의 출력 증폭장치를 제안하고, 시험장치를 구현하였다. 이에 대해 분석한 결과, 제안한 방식은 음영의 정도에 따라 리튬이온배터리 모듈을 단계별로 투입하여 전압저하분을 보상함으로써, 기존의 방식에 비해 태양광전원의 운용효율을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임. [S2854105]

### 참고문헌

- [1] 산업통상자원부, 제9차 전력수급기본계획, <https://www.etrans.or.kr/policy/03.php>, 2020.12.28