

계통연계형 태양광 발전시스템의 계통정전시 BESS의 협조를 통한 전력품질개선

심준보, 정형수, 안효진, 김진효, 손광명
동의대학교

Utility-interactive Photovoltaic Power Generation Systems with BESS for Power quality improvement

JUN BO SIM, HYUNG SU JUNG, HYO JIN AN, JIN HYO KIM, KWANG MYOUNG SON
DONG EUI University,

Abstract - 본 논문에서는 전력품질 개선기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전과 BESS를 혼용하는 시스템을 제안한다. 계통연계형 태양광 발전 시스템에서 전력계통의 정전 시 태양광 발전시스템의 안정도에 미치는 영향이 크기 때문에 확실하고 신속한 전력의 보상은 전체 시스템에 중요한 의미를 가진다. PSCAD를 이용하여 실제 주상 복합단지를 모델로 계통연계형 태양광 발전시스템의 계통정전 시에 BESS의 협조를 통하여 전력 품질을 개선하는 과정을 통하여 계통의 정전 시 부하로 공급되는 전압변동을 관찰하고 대책을 마련한다. 뿐만 아니라 전체 시스템의 현실적 요소를 분석하고 시뮬레이션과의 차이점을 해석한다.

1. 서 론

태양광 발전시스템은 태양으로부터의 에너지를 전기에너지로 직접 변환하므로 다른 발전 방식인 화력발전 등에 비해 운전 및 유지 보수가 용이하며 모듈로 구성하기 때문에 수요나 지형에 맞도록 설계 가능하다.

본 논문에서 다루는 계통 연계형 태양광 발전 시스템은 발전을 하지 않는 밤에는 계통으로부터 전력을 공급 받을 수 있기 때문에 독립형에 비해 안정적이고 부하분담에 있어 실효성을 거둘 수 있다. 그러나 계통 연계형 태양광 발전시스템은 태양전지 어레이(Array)로부터 발전된 직류전력을 인버터를 통하여 교류 전력으로 변환시켜 계통과 연계하는 시스템이므로 그 기원이 계통에 있기 때문에 상용전력에 문제가 발생할 경우 부하에 전력을 공급 하는데 있어 제어가 어려운 문제점이 있다.

본 논문은 이러한 문제가 발생했을 경우 대비하여 계통에 이상이 발생하여도 독립적인 운전이 가능하도록 BESS를 설치하여 부하단에 전력을 안정적으로 공급하기 위한 시스템을 설계 하였다. 설계된 시스템의 효율성을 입증하기 위해서 BESS 시스템을 구성하고 PSCAD/ EMTDC를 이용하여 계통 고장 시 발생할 수 있는 정전에 대한 문제를 실험을 통하여 전력품질이 개선됨을 증명 하였다.

2. PV 시스템의 모델링 및 MPPT

2.1 PV 시스템의 모델링

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원으로 구성 되어 있지만 실제재료는 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 시트(sheet)저항 등을 표시하는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 를 고려해야 한다. 태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자수는 지수함수적으로 감소한다.

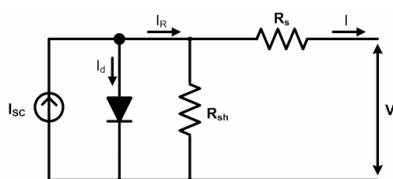


그림 2-1. 태양전지의 등가회로

그림 2-1 등가회로를 바탕으로 태양전지의 출력전류를 구할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_{sc} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{nV_T}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

식(2.1)을 바탕으로 출력전압 V를 나타내면, 식 (2.2)과 같다

$$V = nV_T \ln\left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} + 1\right) - I \cdot R_s \quad (2.2)$$

2.1.1 PV 시스템의 실제 모델링

PV Module은 솔라테크(주)사 STM 170-S5E1(170W) 제품을 선정하고, PV Module을 직렬로 23개 병렬로 64개를 연결하여 전압 840.88[V], 전류291.84[A]로 250kW급 PV Array를 설계하였다.

2.2 MPPT 제어

태양전지의 출력특성은 일사량과 온도에 따라 동작특성이 다르게 나타난다. 일사량과 온도 변화에 따라 달라지는 태양전지 최대전력 출력점을 추정하여 전압 지령치로 출력을 내도록 하는 것이 MPPT제어이다.

본 논문에서는 아래의 식과 흐름도를 바탕으로 증분컨덕턴스법을 활용하였다.

$$\frac{dP}{dV} = d\left(\frac{VI}{dV}\right) = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (2-3)$$

식 2-7의 양변을 V로 나누면

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{1}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (2-4)$$

여기서, $G = \frac{1}{V}$, $\Delta G = \frac{dI}{dV}$ 이다.

식2-4 같이 컨덕턴스 G에 증분컨덕턴스 ΔG 가 더해지는 형태를 가지므로 증분컨덕턴스법이라 한다. 본 논문에서는 증분 컨덕턴스법을 사용하였고, 다음은 증분컨덕턴스 알고리즘의 흐름도이다.

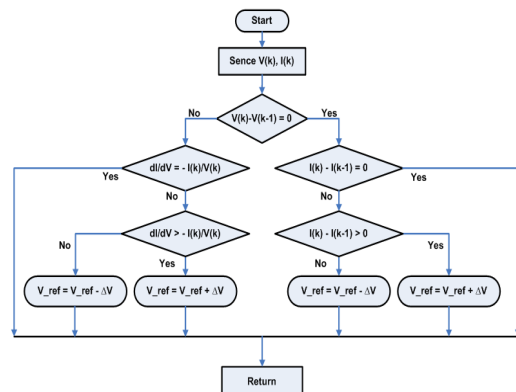


그림2-2. 알고리즘 흐름도

3. 계통연계형 PV 시스템 및 배터리 모델링

3.1 계통연계형 태양광 발전 시스템

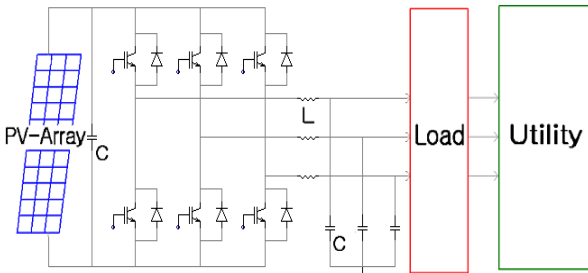


그림 3-1. 계통연계형 PV시스템

계통연계형 태양광 발전 시스템은 단방향 및 양방향 연결형 두 가지가 있는데 본 논문에서는 양방향 연결형을 사용하고 회로도를 그림 2-4에서 보여 주고 있다. 인버터는 기본적으로 변환부의 IGBT(Q1-Q6) 및 LC-Filter (리액턴스 L, 콘덴서 C) 등으로 구성되어 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 계통과 동기운전을 하면서 고조파 전류가 필터를 거치면서 적은 정현파전류를 부하단 과 계통에 전력을 공급하게 된다.

3.1.1 PWM위상제어와 전압제어

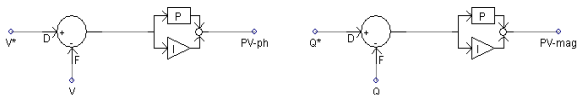


그림3-2. PV 최대출력전압 추종

그림3-3. PV 무효전력 제어

위의 그림은 PV시스템의 주요 제어부이다. 유효전력은 송전단과 수전단의 위상차이의 영향을 많이 받고, 무효전력은 송·수전단 전압의 크기의 영향을 많이 받는다. 그림 3-2와 3-3의 제어기는 인버터의 PWM 전압의 크기와 위상을 제어함으로써 PV Array 전압을 최대 출력 전압으로 추종하고 역율을 1로 개선 할 수 있도록 설계하였다.

3.2 배터리 모델링

$$\text{방전전류}[A] = \frac{\text{부하용량}[VA]}{\text{정격전압}[V]} \quad (3-1)$$

$$\text{축전지셀수}(CELL) = \frac{\text{계통정격전압}[V]}{1\text{셀의공칭전압}[V]} \quad (3-2)$$

식 3-1으로 방전전류를 산정하고 식3-2을 바탕으로 정격전압 12[V] 50Ah (주)아트라비맥스 산업용ITX50(축전지)제품을 직렬로 70개를 연결하여 직류 840[V]를 얻고 총용량 100[kWh]급을 이상 전압원으로 설계하였다.

3.2.2 BESS제어

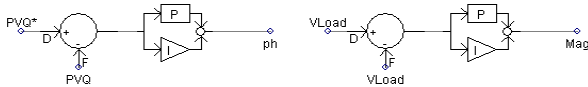


그림3-4. PV무효전력추종 위상제어

그림3-5. 부하전압추종 전압제어

위의 그림은 BESS의 주요 제어부이다. 계통과 연계되어 있는 동안 PV시스템의 잉여 전력으로 BESS충전을 원활하게 할 수 있도록 제어기를 설계하고, BESS충전 전류는 0.2C를 넘지 않도록 설계하였다. 계통정전 시 부하로 공급되는 전압을 V_{rms} 380[V]로 추종하도록 하였고, BESS의 협조를 통하여 계통 정전 시에도 PV 역율이 1이 되도록 설계하였다.

4. 시스템 모델링 샘플 계통도

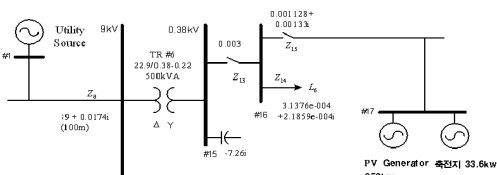
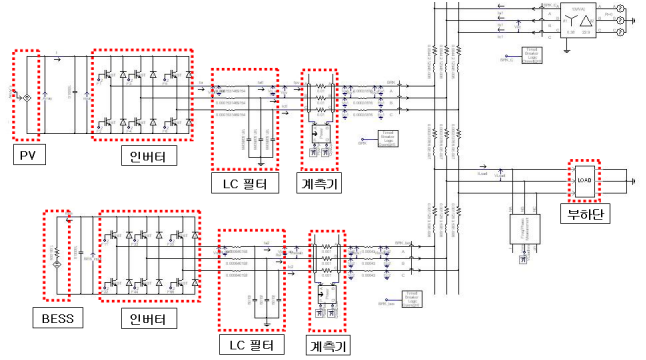


그림 4-1. 실제 주상복합단지의 전력 계통도

한전에서부터 해당 배전반까지의 Network모델이며 각각의 부하측으로부터 연결되는 케이블 파라미터 값과 부하용량을 고려하여 실제 주상복합 단지의 모델링을 통한 부하단 모델링을 하였다.

5. 시스템의 구성 및 설계



계통연계 PV시스템의 계통에 이상이 발생하여도 부분적으로 독립운전이 가능하도록 BESS시스템을 구성하여 부하에 전력을 안정적으로 공급하기 위한 시스템이다.

6. 시뮬레이션 결과 및 고찰

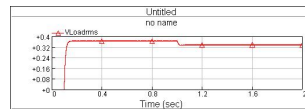


그림 6-1. 보상전 부하단 전압

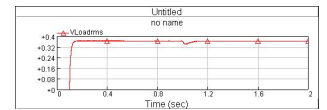


그림 6-2. 보상후 부하단 전압

그림 6-1은 선간전압 RMS 380[V]로 부하로 공급되는 전압이 1s에 계통정전의 효과를 주어 차단기를 open 하는 순간 약 340[V]로 떨어지는 것을 보여주고 있다. BESS를 혼용하여 부하로 공급되는 전압이 선간전압 RMS 380[V]를 유지하도록 설계한 파형이 그림 6-2이다.

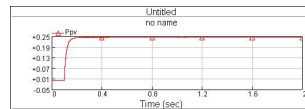


그림 6-3. PV 유효전력

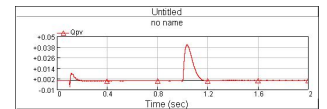


그림 6-4. PV 무효전력

그림 6-3과 6-4은 PV에서 부하로 주입되는 유효전력과 무효전력의 파형이다. 계통이 정전 되는 순간 계통이 부담하던 무효전력을 PV가 부담해야 하므로 PV에서 주입되는 무효전력이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. BESS단을 제어하여 PV단의 역율을 1로 개선하고 유효전력은 250[KW]를 유지하도록 제어한다.

7. 결 론

본 논문에서 실제 주상복합단지의 계통에 태양광 발전시스템과 에너지저장장치(BESS)를 혼용하여 시뮬레이션 한 결과, 계통과 연계되어 있던 태양광 발전시스템에서 정전과 같은 계통이상 발생 시 축전지의 에너지가 태양광 발전기의 부족전력을 보상함으로써 부하로 공급되는 전압의 안정도를 개선함을 알 수 있었다. 계통정전 시에는 독립운전이 불가능한 태양광 발전시스템의 큰 단점인 제어 불가능 이외에 무일사나 우기처럼 발전량이 적을 때에도 BESS를 이용하여 부하로 공급되는 전압을 보상은 물론 전력의 품질을 개선할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

추후 배터리의 수명과 용량에 관련한 연구추이에 따라 계통의 장시간 이상시 전력 수급의 불안을 자체적으로 해소할 수 있는 방안을 모색해야 된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김슬기 저 'PSCAD를 이용한 태양광 발전 시스템의 구현' 학회논문
- [2] 김슬기, 전진홍, 김웅상, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의 해석", 대한전기학회
- [3] 이경수 외 4인, "태양광 시스템에서의 새로운 MPPT 알고리즘 제안", 전력전자학회논문지 10권, 2005.2
- [4] Minwon Park, In-keun Yu, "A Novel Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Generation Systems Using RTDS," IEEE Trans. on Energy Conversion, VOL. 19, NO. 1, March 2004.