

## 분산형 태양광시스템이 일반용 수용가에 미치는 영향에 관한 고찰

황혜미, 소정훈, 유권중, 김광호\*  
한국에너지기술연구원, 강원대학교\*

### The Study on Effects of Dispersed Photovoltaic system in commercial customer

Hwang Hye Mi, So Jung Hun, Yu Gwon Jong, Kim Kwang Ho\*  
Korea Institute of Energy Research, \*Kangwon National University

**Abstract** - 국내의 태양광발전 시스템은 최근 정부의 신재생에너지 보급지원제도에 의해 그 수 및 용량이 급격하게 증가하고 있다. 이러한 추세에 따라 본 논문에서는 일반용 고압 수용가의 저압 계통에 태양광발전 시스템을 분산 배치할 경우 나타나는 현상에 대하여 고찰해 보았다. 특히 본 논문은 일반용 고압 수용가의 실제 데이터를 바탕으로 태양광발전 시스템이 연계된 계통을 모델링한 후 시뮬레이션 하여 그 특성 및 발생 가능한 문제점 등을 고찰하여 보았다. 이는 향후 계통의 곳곳에 지금보다 더 많은 태양광발전 시스템들이 설치될 경우, 고려해야 할 사항과 여러 가지 문제점 및 다수의 시스템 설치 시에만 나타날 수 있는 특성 등에 관한 지표가 될 것으로 사료된다.

#### 1. 서 론

정부는 2000년대에 접어들면서 신재생에너지의 중요성을 재인식하여, 기술개발과 함께 이용보급 정책을 강화하기 위한 “대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법”을 개정하였다. 그 후 기후변화협약과 같은 지구 환경문제가 대두됨에 따라 전 세계적으로 각종 대기환경 관련 규제 및 지속가능한 에너지원의 개발에 대한 인식이 고조되고 있다. 이에 따라 태양에너지를 필두로 환경 친화적인 신재생에너지의 기술개발 및 보급 확대가 현저하게 증가하고 있으며, 향후 대량 보급이 크게 확산될 것으로 전망되고 있다.

태양광발전의 경우, 국제 정세 및 정부의 지원 하에 이미 상당수가 보급화되었을 뿐만 아니라 그 기술개발수준도 상당 수준에 이르렀다. 또한 이에 따른 태양 전지 및 태양광 모듈의 국산화, 양산화를 통하여 태양광발전 단가가 점차적으로 낮아지고 있는 추세이다. 정부의 ‘태양광주택 10만호 보급사업’ 및 ‘공공기관 신재생에너지 설치 이용 의무화 제도’는 국내의 태양광발전 시스템의 보급화 및 일반화를 앞당기고 있다. 따라서 향후 국내의 주택 및 건물용의 분산형 태양광발전 방식으로 인한 태양광발전 시스템의 대량보급이 예상되고, 이에 따른 계통 및 시스템의 문제점 또한 예측된다. 따라서 본 논문에서는 대규모 일반용 수용가에 MW급 분산형 태양광발전 시스템을 설치하는 경우 수용가 내부계통 및 주변계통의 변화를 살펴보고 예상되는 문제점 및 대안책을 살펴보았다. 이는 기 설치된 태양광발전 시스템에 대한 계통의 변화에 대해서는 문제 해결의 실마리를 제공하고, 동시에 향후 설치될 MW급 태양광발전 시스템에 대한 설계 및 운용의 한 지표가 될 것으로 사료된다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 국내 현황 및 분산형 태양광발전 시스템

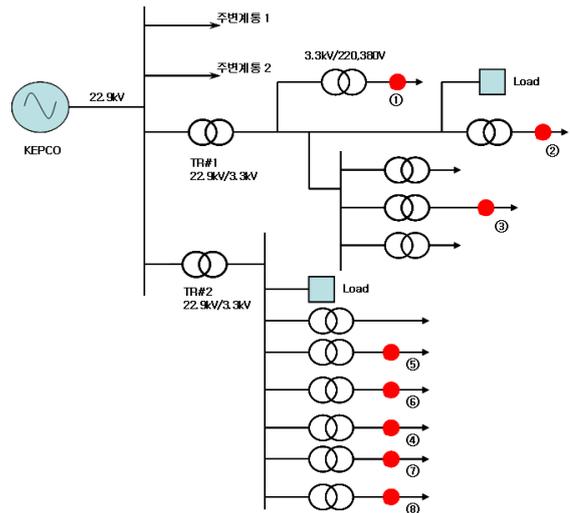
태양광발전 시스템은 1970년대 초부터 대학과 연구소를 중심으로 연구를 시작하여 1988년 대체에너지개발 촉진법에 따라 정부차원에서의 연구개발 사업이 시작되었으며, 2005년까지의 총 사업비는 77,552백만원이다[1]. 2005년까지의 국내 태양광발전 설비용량은 13,594 kW이며, 이는 연간 14,399MWh/year의 전력을 생산할 수 있는 용량이고 2006년 말까지 설치된 설비용량은 31,000 kW 정도로 예측된다. 이는 국내 태양광 분야의 2012년까지의 설치 목표(태양광 사업단) 1.3GW에는 많이 뒤떨어지고 있지만, 최근 정부지원에 의한 국내의 태양광발전 시스템의 증가추세를 반영한다면 충분히 실현가능성이 있는 사안이다. 또한 정부의 발전차액지원제도 및 공공기관 설치 의무화 사업, 태양광주택보급사업 등에 힘입어 2012년까지 주택용(3kWp) 300MWp, 10kWp 시스템 400MWp, 상업용 건물 20kWp는 600MWp로 총 1.3GW의 목표달성과 동시에 계통 곳곳에 태양광 시스템 단지가 형성될 것으로 예상된다[2]. 이는 대체에너지 촉진 및 에너지 수입 절감효과에 상당 부분 기여할 것으로 보이지만, 중앙전력공급체계인 국내 전력계통 상황에서는 그리 반가운 현상이 아님은 쉽게 예측할 수 있다.

태양광발전 시스템은 시스템의 구성이나 부하의 종류에 따라 분류하며, 특히 부하의 계통 연계 유무에 따라서 계통 연계형 시스템과 독립형 시스템으로 구분된다. 독립형 시스템은 비교적 간단한 시스템으로, 발생된 전력을 부하와 1대 1로 매칭하여 직접 사용하며 주로 도서지역에 설치하거나 소용량 축전지를 부착시켜 유도등, 간이조명, 무선전원 등에 사용한다. 하지만 계통 연계형 시스템은 평상시에는 상용 계통과 연계하여 모자란 전력은 계통에서 공급받고, 잉여 전력은 계통으로 공급하는 등 독립형 시스템과는 달리 조금 더 복잡하고 재해 시 계통과의 분리를 위한 여타의 요소들이 요구된다. 최근 급격히 설치용량이 증가되고 있는 형태는 계통 연계형이며, 특히 본 논문에서 다룬 것과 같이 MW급 태양광발전소 및 소용량 분산형 태양광발전 시스템, 고밀도 연계 시스템 등이 화두가 되고 있다.

따라서 본 논문에서는 일반용 고압수용가 계통에 80kW와 10kW 단위의 태양광발전 시스템 8기를 분산 배치하여 설치하였을 경우 수용가 계통의 변화를 살펴보고, 상위 연계 계통과 설치 지역의 주변 계통의 변화를 통하여 향후 MW급 태양광발전 시스템 설치에 필요한 요소들을 전력계통해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 통하여 고찰해 보았다.

##### 2.2 연계 계통 및 모델링

본 논문에서의 시뮬레이션을 위한 일반용 수용가 계통은 한국에너지기술연구원(KIER)으로 상정하였다. 이곳은 계약용량 2500kW로서 일반용전력(을)에 해당하며 22.9kV/3/3kV의 수전 변압기 2대를 중심으로 연구소 각 건물에 전력을 공급하는 방사형 계통 구성을 나타내고 있다. 그림 1은 시뮬레이션 계통 구성도이다. 그림에서 보는 바와 같이 태양광발전 시스템을 연계할 한국에너지기술연구원의 배전 계통은 상세히 모델링 하였으며, 주변 계통은 각각 1M, 2MW의 고압 수용가를 축약하여 모델링하였다.



<그림 1> 시뮬레이션 계통 구성도

태양광발전 시스템은 일사량에 따라 반도체의 광전효과에 의해 태양 전지(태양광 어레이)에서 발생하는 직류전류를 태양광 인버터(전력조정장치, PCS)를 통하여 교류전류로 변환하여 부하에 공급하는 시스템이다. 또한 태양전지의 출력전류(DC)는 시간에 따라 작게는 200W/m<sup>2</sup>, 많게는 1000W/m<sup>2</sup>까지 변동하는 일사강도에 의해 결정되며, 태양광 인버터는 시시각각 변하는 입력(일사량)에 대하여 일정 출력(AC)을 낼 수

있도록 조절하는 장치이다. 이때 태양광발전의 낮은 효율을 고려하여 태양광 인버터에서는 최대전력추종제어(MPPT)를 통하여 최대전력을 생산할 수 있는 점을 찾아내어 동작하게 된다.

본 논문에서는 이렇듯 비교적 복잡한 과정의 태양광발전시스템을 일정한 일사량과 일정한 최대전력 점을 가정하여 간단히 구현한 후 시뮬레이션하였다. 즉 일정한 일사량 1000W/m<sup>2</sup>(최대 일사조건)에 따른 일정한 인버터 DC 입력을 가정하고, 기 설치된 같은 용량의 태양광발전시스템의 모니터링 결과에 따른 평균 출력을 시스템의 입력값으로 결정하였다. 이는 태양광시스템의 성능을 평가하는 시스템 성능계수(PR: Performance Ratio)를 이용한 것으로 80kW급 태양광발전시스템의 PR을 고려한 평균 출력은 61.6kW로 나타났다.

$$PR = (E_{PCS} \times G_{STC}) / (P_{PV,nom} \times G_A) \quad \text{식(1)}$$

식 (1)은 시스템의 성능계수를 나타낸다. 여기서, E<sub>PCS</sub>는 PCS 출력전력량, P<sub>PV,nom</sub>은 표준상태(STC)에서 공칭출력전력, G<sub>A</sub>는 전일사량, G<sub>STC</sub>는 표준상태에서의 일사강도 1000W/m<sup>2</sup>이다[3]. 또한 실제로 PV 시스템은 위에서 언급한 바와 같이 PV array, PV inverter 등으로 구성되지만, 계통에서 보았을 때 계통으로 실시간 전류를 공급하는 전류원으로 그 특성을 간략화 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 3상 태양광발전시스템의 경우는 일정 DC출력을 입력전압으로 하는 인버터로 모델링하고, 단상 시스템의 경우는 전류원으로 모델링하여 시뮬레이션 하였다.

### 2.3 시뮬레이션

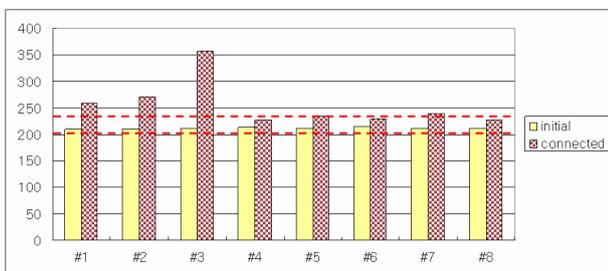
시뮬레이션 계통의 TR#1과 #2는 각각 360kW, 1000kW의 부하량을 갖는다. 이에 TR#1의 연계점 1, 2, 3에는 240kW급 3상 태양광발전시스템을 각각 투입하였고 TR#2의 연계점 4에도 같은 용량의 태양광발전시스템을 투입하였다. 또한 연계점 5에는 210kW급 3상 태양광발전시스템, 그리고 TR#2의 6, 7, 8에는 부하 불평형을 고려하여 각각 10kW급 단상 태양광발전시스템을 설계하여 총 1.2MW의 분산형 태양광발전시스템을 모의하여 PV 출력특성 및 계통의 변화를 살펴보았다. 한국에너지기술 연구원 계통에 투입된 태양광발전시스템의 총 용량 1.2MW는 계약 용량의 48%에 해당하며, 상정한 부하용량은 총 1360kW로서 계약 용량의 54.4%이다.

다음 <표 1>은 시뮬레이션 상에서 연계지점에서의 부하 용량 및 태양광발전시스템의 연계용량에 따른 변압기와 백분율을 나타낸다. 본 논문에서는 <표 1>과 같이 PV시스템의 연계용량을 2~120%로 각 연계점마다 달리하여 그 특성을 살펴보았다.

<표 1> 시뮬레이션 조건

연계점	변압기용량 (kVA)	기존 부하용량 (kW)	연계용량 (%)	인여용량 (kW)
1	750	113	32	127
2	500	75	48	165
3	200	30	120	210
4	200	80	5	-70
5	600	240	35	-30
6	150	60	7	-50
7	600	240	40	0
8	500	200	2	-190

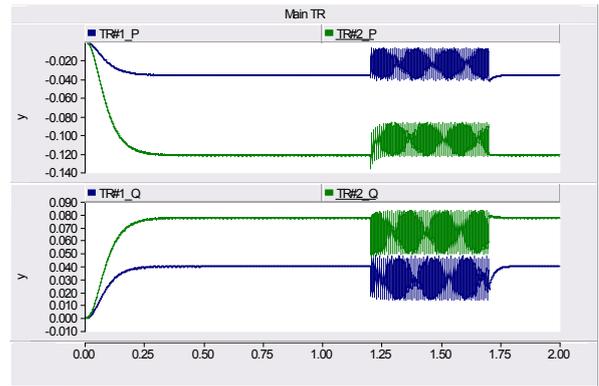
각각의 PV시스템이 0.5sec(1.2sec ~1.7sec)동안 출력을 발생할 때의 연계점 및 주변계통에 나타나는 변화는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 결과

<그림 2>에서 보는 바와 같이 PV시스템을 연계하기 전 초기 상태의 각 지점 #1~#8까지의 전압은 모두 저압 정상범위(206~233)에 포함됨을 볼 수 있다. 하지만 각 지점에 PV시스템을 연계하였을 때 #1~#8까지의 연계지점 중 몇몇 곳에서의 전압은 정상 범위를 초과하는 것을 볼 수 있었다. 특히 설치된 PV시스템이 기존의 부하용량을 상회하는 경우, 즉

PV시스템이 부하를 감당한 인여전력이 (+)값인 연계점 #1, #2, #3은 저압 계통의 전압허용 범위를 크게 상회하는 것을 볼 수 있고 또한 연계 용량과 부하용량이 같은 경우에도 전압 허용범위를 약간 웃돌아, critical condition이 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 경우는 실제 계통에서 보호기기의 trip 동작으로 인하여 부하에 전력을 공급할 수 없거나, 혹은 계통의 전압 상승을 태양광발전시스템의 전력조절장치(PCS)가 계통 이상 감지로 판단하여 출력이 정지되는 현상이 나타나게 된다. <그림 3>은 상정 계통의 1250kVA main transformer 2대에서의 유효전력 및 무효전력을 나타낸다. TR#1과 #2의 유효전력 및 무효전력은 수용가 계통의 부하량의 차이로 인하여 초기 상태가 서로 다름을 볼 수 있다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 태양광발전시스템이 출력을 발생하는 1.2sec~1.7sec까지는 주변압기에서의 유효전력은 증가하고 무효전력은 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 PV시스템이 출력을 발생하는 기간 동안에는 수용가 계통이 유효전력을 계통에서 공급받고 무효전력을 계통에 공급함을 의미한다.



<그림 3> Main TR에서의 유효전력

### 3. 결 론

본 논문에서는 일반용 고압 수용가의 저압 계통에 MW급 태양광발전시스템을 분산 배치할 경우 나타나는 현상에 관하여 분석하여 보았다. 최근 전기사업용 태양광발전소의 건설이 본격화되면서, 국내의 태양광발전시스템은 설치 개소 및 규모면에서 지금까지와는 상당한 차이를 보이고 있다. 따라서 본 논문은 소규모의 가정용 PV시스템이 아닌 일반용 고압 수용가의 실제 데이터를 바탕으로 MW급 태양광발전시스템이 분산 배치형으로 연계된 수용가 계통을 모델링한 후 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 하고 그 특성 및 발생 가능한 문제점 등을 고찰하여 보았다. 특히 수용가의 각기 다른 용량의 변압기에 PV시스템을 연계하여 연계용량에 따른 연계지점의 특성을 파악하여 보았다. 그 결과 PV시스템에 계통에 투입되는 순간, 연계 지점 및 주변 지점의 전압이 연계 전과 비교하여 일제히 상승하는 것을 확인할 수 있었고, 연계용량이 부하용량을 넘는 경우, 즉 PV시스템의 출력이 연계 지점의 변압기를 넘어 상위계통 및 주변 계통으로 역조류하는 경우에는 저압 계통의 전압허용 기준치를 벗어나는 전압상승의 결과를 확인하였다. 또한 부하용량과 PV시스템의 연계용량이 같은 경우에는 예상대로 critical condition이 나타남을 볼 수 있었다.

따라서 이러한 현상들은 향후 계통의 곳곳에 지금보다 더 많은 태양광발전시스템들이 설치될 경우, 고려해야 할 사항과 여러 가지 문제점 및 다수의 시스템 설치 시에만 나타날 수 있는 특성 등에 관한 지표가 될 것으로 판단되며, PCS의 고조파발생 및 다른 부하로의 고조파의 유입과 관련된 다른 연구가 향후 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로, 이에 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 에너지관리공단 신재생에너지센터, "<http://www.knrec.or.kr/index.jsp>"
- [2] 황혜미 외, "저압 배전계통의 PV 시스템이 수용가에 미치는 영향 분석", 2006년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p ~ , 2006
- [3] 소정훈 외, "3KW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 평가 분석", 대한전기학회지, Vol. 53B, No. 8, AUG, 2004, p509~516, 2003