

분산형 MW급 태양광발전 시스템의 적용방안 연구

황해미*, 소정훈*, 유권중*
한국에너지기술연구원*

The Study On The Application Scheme For Dispersed MW PV System

Hye-Mi Hwang*, Jung-Hun So*, Gwon-Jong Yu*
Korea Institute of Energy Research*

Abstract - 본 논문은 최근 급격히 그 수요가 늘고 있는 MW급 대용량 태양광 발전 시스템을 모의하고, 특히 도심지에 적합한 발전 형태인 분산 배치형 태양광 발전 시스템에 관하여 시뮬레이션하여 그 적용가능성을 확인하였다.

1. 서 론

최근 급격히 치솟고 있는 유가에 따라 신재생 에너지에 대한 관심 역시 급격히 고조되고 있다. 특히 태양광 발전 시스템의 경우, 기존에 3kW급 주택용 태양광 발전 시스템의 설치가 지배적이었던 것과는 달리, 최근 들어 민간 발전 사업가들에 의한 MW급 태양광 발전 시스템의 건설이 눈에 띄게 증가하고 있다.

또한 국내 태양광 분야의 발전차액지원제도 적용 용량이 기존의 100MW에서 500MW로 조정됨에 따라 앞으로도 국내의 대용량 태양광 발전 시스템의 설치는 계속해서 증가될 것으로 추정된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 대용량 태양광 발전 시스템의 증가 추세에 따라 MW급 태양광 발전 시스템을 가정하여 보고, 이러한 시스템이 실제 사이트에 설치된 경우를 시뮬레이션 하였다.

2. 본 론

2.1 국내의 MW급 태양광발전시스템 현황

2008년 5월 현재 국내에 설치된 MW급 태양광 발전소는 약 390여 개소로 총 용량 128MW 정도이다[1] 이와 더불어 앞으로 발전 사업을 추진하기 위해 허가신청을 한 경우를 포함하면 600MW가 넘는 실정이다. 이것은 1980년대 “대체에너지 기술개발 촉진법”이 제정되어 몇 차례 개정되면서 국내의 신재생에너지 사업의 성장을 여실히 나타내는 현상이기도 하다.

태양광 분야 역시 1980년대에 비해 양적, 질적 성장을 해오고 있는데, 이러한 성장의 밑바탕이 된 것이 정부의 “발전차액지원제도”이다. 이 제도는 아직 기술적으로 미흡하고 초기 투자비용이 큰 신재생 에너지의 투자 경제성 확보를 위하여, 신재생에너지 발전에 의해 공급한 전기의 전력거래 가격이 지식경제부 장관이 고시한 기준가격보다 낮은 경우 그 차액을 지원해주는 제도이며, 최근 정부는 “발전차액지원제도”의 국내 지원 용량을 태양광의 경우 기존의 100MW에서 500MW로 대폭 확대하였음을 고시한 바가 있다. 이로써 태양광 분야는 향후 더욱더 활발한 투자 및 설비용량의 증설이 기대된다. <표 1>은 최근 개정된 국내 태양광 분야의 발전차액지원제도를 나타내고 있다.

<표 1> 태양광분야의 발전차액지원제도

적용시점	적용기간	30kW 미만		30kW 이상		
		30kW이하	30kW초과 200kW이하	200kW초과 1MW이하	1MW초과 3MW이하	3MW초과
~08.9.30	15년	711.25	677.38			
'08.9.30 ~ '09.12.31	15년	646.96	620.41	590.87	561.33	472.70
	20년	589.64	562.84	536.04	509.24	428.83
'10.1.1 이후	20년	매년 계고시				

2.2 분산형 MW급 태양광발전시스템

MW급 대용량 태양광 발전 시스템은 주택용 시스템과 같은 소규모 태양광 발전 시스템에 비해 경제적 측면에서 우수하다. 일반적으로 주택

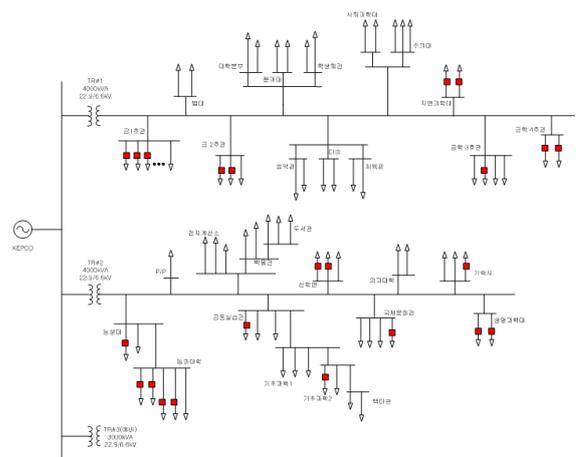
용 태양광 발전 설비의 경우 효율은 약 70~75% 정도이지만, MW급 대용량 설비의 경우 83% 이상의 효율을 나타내며 집중 배치형태의 경우 지역에 따라 85% 이상의 Performance Ratio를 나타낼 것으로 추정되고 있다. 이것은 태양광 시스템의 성능감소와 관련한 여러 요소들(시스템 미스매치, 전압강하 등)이 시스템의 대형화 및 집중화됨에 따라 영향력이 줄어들기 때문으로 풀이된다. 또한 시스템 구성요소의 구입가격도 시스템이 대형화됨에 따라 낮아지게 되므로 대용량 시스템의 경제성은 더욱 높아질 수 밖에 없다.

하지만 설치 지역이 도심지일 경우, 토지 구입 비용 및 설치 지역의 특성 상 MW급 태양광 발전 시스템을 도심지에 적용하기는 거의 불가능하다고 볼 수 있어 최근 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaic) 시스템과 같은 분산형 발전 시스템이 각광 받고 있다. 분산형 태양광 발전 시스템은 한 지역에 집중적으로 설치하는 집중형 시스템과는 달리 건물이나 어느 지역의 부분 별로 나누어 설치하는 발전 형태를 일컫는다. 예를 들어 PV 어레이 설치 면적은 1kW 당 8.3m² 정도이지만 이것은 어레이 이격 거리를 고려하지 않은 것으로, 만약 집중배치 형태로 태양광 발전 시스템을 구성할 경우, 1kW당 최소 3배 이상의 설치 면적이 요구된다. 따라서 토지비용이 비싼 도심지의 경우는 집중형 태양광 발전 시스템을 설치하기에는 다소 무리가 있으므로, 분산형 배치 형태가 더 경제적이다.

따라서 본 논문에서는 도심에 위치한 계약용량 8MW의 고압 수용가를 대상으로 1.2MW급 분산형 태양광 발전 시스템의 적용방안을 모의해 보았다.

2.2.1 모의 배전계통 및 모델링

시뮬레이션 계통은 대전 도심에 위치한 한 대학교로써 계약 용량은 8 MW이다. 이 학교의 수전 전력은 22.9 kV 이고 4 MW 수전 변압기 2대를 이용하여 6.6 kV로 구내에 전력을 공급하며, 학교의 배전계통 역시 수전단에서부터 방사형 구조를 띠고 있다. 이곳의 부하 사용량은 연평균 30,000 MWh 정도이며 역률은 0.98 이상으로 조사되었다. 다음의 <그림 1>은 모델링 계통을 나타낸다.



<그림 1> 계통구성도

시뮬레이션은 학교 계통과 그 주변 계통으로 분류하여 태양광 발전 시스템이 설치·운영되는 배전선로의 변화를 살펴보고, 태양광 시스템의 설치되지 않은 주변계통으로의 영향을 분석하였으며, 주변 계통은 일반 D/L 용량이 10MW 임을 고려하여 1MW급 3개의 주변 배전 계통을 모델링 하여 비교적 강한 계통을 모의하고 그 특성을 살펴보았다.

2.2.2 시뮬레이션

일반적으로 태양광 발전 시스템은 태양광 어레이에서 발생된 DC전류를 태양광 PCS(태양광 인버터)가 교류로 변환하여 최종적으로 부하에 전력을 공급하는 방식이다. 이때 인버터는 시시각각 변하는 일사량에 따라 달라지는 태양광발전 시스템의 출력 전력을 계통과 맞추기 위해 전압 및 주파수를 조절하고, 최대 출력점을 찾아내는 작업을 하게 되지만, 본 논문에서는 일정 일사량과 일정 출력점을 가정하였다.

논문에 사용된 태양광 발전 시스템의 단위 용량은 50kW로, 50kW급 태양광 발전 설비 24기로 총 용량 1.2MW를 모의하고 시스템 1기의 출력 용량은 일반적인 태양광 설비의 Performance Ratio를 고려하여 실제 출력량은 39kW로 가정하였다.

부하를 모델링 하는 경우, 부하의 각 부분 별로 전력을 측정하는 것이 가장 정확하지만 데이터 수집의 한계로 인하여 각 부분별 부하량은 상정 계통의 연간 최대 부하를 기준으로 각 부하를 담당하고 있는 배전용 변압기의 용량에 비례하여 분배하는 방식을 취하였다. 따라서 시뮬레이션 계통의 Main Tr#1과 #2는 각각 1847.5kW의 부하를 담당하고 TR#1의 경우는 50kW급 PV 시스템 10기가 연계되어 총 500kW의 PV 시스템이 설치되고, TR#2는 같은 용량 13기(50kW급 2기는 1개소에서 병렬 운전)가 연계되어 총 700kW의 PV 시스템 설치를 모의하였다.

태양광 발전 시스템을 비롯한 분산전원이 일반 계통에 연계되는 경우는 부하의 용량 및 계통의 강약에 따라 역조류 및 전압변동이 발생할 수 있으므로[2], 본 시뮬레이션의 경우는 PV 시스템을 비교적 대용량의 부하에 연계하여 전압 변동의 최소화를 꾀하였다. <표 2>는 PV시스템이 연계된 지점의 변압기 용량 및 부하량을 나타내고 있다.

<표 2> 연계점의 변압기 용량 및 부하

point	1~7	8~9	10	11~18	19~20	21	22~23
Tr [kVA]	500	400	600	500	600	500	1000
Load [kVA]	84.2	67.3	101	58.8	70.6	58.5	117.6

시뮬레이션은 23번 연계점을 제외하고 모두 50kW 1기를 각 point 마다 연계하였으며, 시뮬레이션 시간은 총 3 sec.로 PV system은 1초~2초 사이에 모든 point에서 동시 투입되는 것으로 모의 하였다. 이것은 분산형 태양광 발전 시스템이 연계되어 운전될 경우, 한꺼번에 모든 시스템이 최대 출력을 발생하는 상황이 계통에 가장 부담을 많이 주게 되므로 최악의 상황을 모의한 것이다.

2.2.3 결과

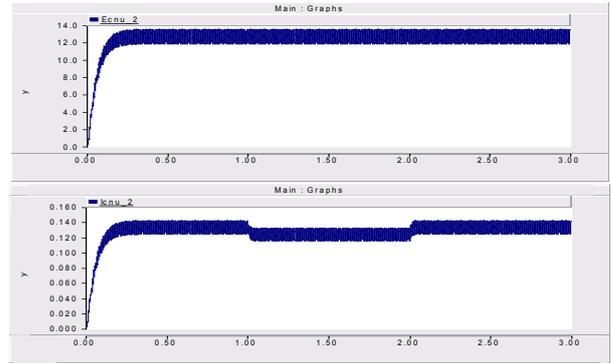
<그림 2>는 point 1~23에서 태양광 발전 시스템의 연계 전후의 전압 변동을 나타낸다. 일반적으로 대용량 PV시스템이 연계되어 운전되는 경우에 발생하는 가장 큰 문제는 전압변동이다. 국내에서 220V를 기준으로 허용하고 있는 전압 변동의 범위는 약 207~233V이다. 그림에서 볼 수 있듯이 부하 용량을 고려하여 PV시스템을 연계한 경우의 연계점에서의 전압 변동은 모든 연계 지점에서 PV시스템 연계 전보다 연계 후의 전압이 모두 상승했지만, 이들 모두 허용전압범위 이내에 해당하는 것을 알 수 있다. 이것으로 볼 때 PV시스템이 실제로 설치되었을 때에도 설치 계통에 전압으로 인한 악영향은 없을 것으로 판단된다.



<그림 2> 시뮬레이션 결과

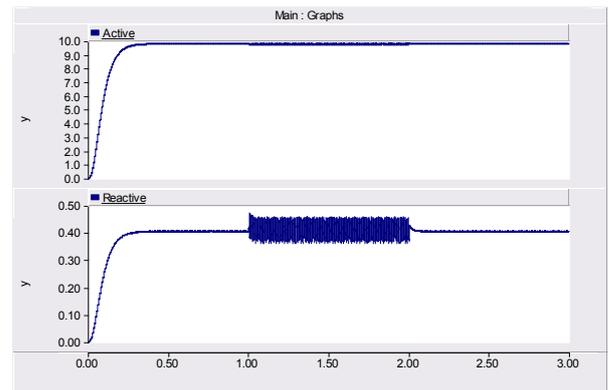
다음 <그림 3>은 해당 수용가의 주변압기에서의 PV시스템의 영향을 나타내는 것으로, 위의 그림은 TR#2에서의 PV시스템 투입에 따른 전압의 변화를, 아래 그림은 전류의 변화이다. 그림에서도 볼 수 있듯이 1초에서 PV시스템이 계통에 일체로 투입된 후 전압의 변동은 나타나지 않고 있는데, 이것으로써 각 연계점에서는 모두 약간의 전압 변동이 발생하지만 그 영향이 상위 변압기까지는 미치지 않는 미미한 것임을 알

수 있다. 아래 그림은 주변압기에서의 전류의 변화로, 1초~2초 사이에 줄어든 전류는 곧 PV시스템에서 공급된 전류를 의미한다. 즉 PV시스템에서 공급한 전류만큼 계통에서 공급하는 전류가 줄어든 것이다.



<그림 3> TR#2에서의 전압(上) 및 전류(下)변화

<그림 4>는 PV시스템 연계 시, PV시스템이 설치된 수용가의 수전점(PCC)에서의 유효전력의 변화를 나타낸다. PV시스템이 출력을 발생하는 1초 동안 수용가로 공급하는 계통의 유효전력(위)은 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 무효전력(아래)의 경우는 PV시스템이 출력을 발생하는 동안 증가한 것을 볼 수 있는데, 이는 PV시스템이 수용가에 전력을 공급하는 동안 상용 계통에서는 무효전력을 수용가로 공급함을 나타낸다. 이러한 현상은 PV시스템이 수용가에 연계되어 운전될 경우, PV 시스템 자체는 계통에 유효전력만을 공급(역률 1)하기 때문에 결국 무효전력은 계통에서 공급하는 형태를 띠게 되는 것이고, 따라서 보상설비의 설치가 요구된다.



<그림 4> 계통 수전점(PCC)에서의 유효전력

3. 결 론

본 논문에서는 도심지에 알맞은 MW급 분산배치형 PV 시스템(단위 용량 50kW)을 가정하여 실제 고압 수용가를 대상으로 시뮬레이션 해 보았다. 이는 향후 MW급 PV시스템을 설치할 시에 고려해야 할 요인을 철저히 분석하여 시뮬레이션 한 것으로, 50kW급 PV 시스템 24기를 비교적 큰 단위 부하에 연결한 결과 각 연계점에서 전압변동 허용 기준치를 벗어나는 경우는 발생하지 않았으며, 또한 PV시스템이 연계된 상위 변압기에도 전압 변동에 의한 악영향이 발생하지 않았음을 확인하였다. 하지만, 태양광발전시스템의 운전특성 상 유효전력만을 계통에 공급하므로 수전점에서 그에 따른 무효전력 보상기기의 설치가 필요함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 따라서 본 논문은 향후 국내 태양광관련 국가 보조 사업 및 고유가의 영향으로 점차 그 수 및 용량의 증대가 예상되는 태양광 분야에서 분산 배치 형태의 도심형 태양광 발전 시스템의 지표가 될 것으로 예상되며, 태양광발전용 무효전력 보상기에 관한 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 에너지관리공단 홈페이지, www.knrec.or.kr
- [2] 황해미, “분산형 태양광시스템이 일반용 수용가에 미치는 영향에 관한 고찰”, 대한전기학회, 2007하계학술대회