

저압 배전계통의 PV시스템이 수용가에 미치는 영향 분석

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

The Analysis on the Effect of PV System in LV distribution System for the Customers

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

Abstract - 최근 정부의 '태양광주택 10만호 보급사업'을 통해 국내의 태양광 발전 시스템을 설치한 수용가들은 점차 늘어가고 있는 추세에 있다. 이와 관련하여 본 논문에서는 220V 저압계통에 3kW급 태양광발전시스템을 연계한 경우 수용가에 나타나는 현상에 관하여 살펴보았다. 상정 모델 계통은 일반적인 220V 저압 배전계통과 주택용 수용가를 가정하였고, 실제 3kW급 태양광발전 시스템의 출력 데이터를 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 하고, 그 결과 220V 저압 수용가 및 LV계통에 나타나는 전기적 현상을 살펴보았다. 본 논문의 결과는 앞으로 3kW급 태양광주택의 보급 증가에 따른 여러 가지 발생 가능한 문제점 및 그 해결책을 제시하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

1. 서 론

전 세계적으로, 고도의 경제 성장 및 기술의 진보에 따른 산업 발전의 결과는 각국의 산업기술의 위상을 높임과 동시에 눈부신 경제 성장의 밑거름이 되었다. 하지만 그와 동시에 유가 상승, 화석 연료의 고갈 및 환경파괴에 관한 문제가 대두된 것 역시 어제 오늘의 일만은 아니다. 또한 최근 BRICs 국가를 중심으로 신흥 경제 국가들이 성장함에 따라, 전 세계적인 에너지 사용량의 급격한 증가와 더불어 기후변화협약에 대한 각국의 발빠른 대응책이 대두되고 있다.

이러한 현 시점에서 전 세계 어느 국가를 막론하고 에너지의 효율적인 활용기술 개발과 안전하고 고갈될 염려 없는 새로운 대체 에너지 개발에 주력하는 것은 너무도 당연한 결과이다. 특히 신재생에너지 분야의 개발이 활발히 진행되어 태양광, 풍력, 연료전지 등의 분야는 이미 막대한 기술력을 확보하여 대체 에너지원으로써 전 세계적으로 활발히 이용되고 있다.

국내에서도 이에 맞춰 산업자원부와 에너지관리공단 신재생에너지센터의 지원 하에 융자지원제도, 보급보조사업, 태양광주택 10만호 보급사업, 지방보급사업 등의 '보급지원제도'를 통하여 국내 신재생에너지원의 보급에 주력하고 있다.

본 논문에서는 이러한 정부의 보급지원제도 중 '태양광주택 10만호 보급사업'을 통해 현재 그 수가 급격히 증가하고 있고 앞으로 더욱더 증가할 것으로 예상되는 계통 연계형 태양광주택에 초점을 맞추어, 향후 형성될 대단위 태양광주택 수용가가 주변 배전계통에 미치는 영향에 관하여 고찰해 보았다.

2. 본 론

2.1 국내 현황

태양광 발전 분야는 태양전지의 특성상 가스터빈에 의한 Combined cycle 형의 화력발전 등에 비해 효율은 매우 낮지만 무환경, 무공해 태양에너지의 장점과 비교적 까다롭지 않은 설치조건 및 맞춤형 설치 용량 등으로 인하여 그 수요가 점차 증대되고 있다[1].

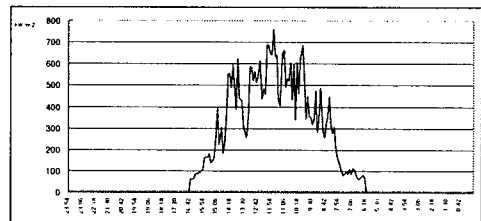
또한 국가적으로 태양광 발전 차액보전제도 및 공공건물 이용 의무화와 같은 보급사업을 통해 태양광 발전 시스템의 보급 확대 방안을 꾀한 결과, 최근 공공기관 및 학교, 주택 등을 중심으로 그 보급량이 점차 증가하고 있다. 이 중 '태양광주택 10만호 보급사업'은 국내의 신재생에너지분야의 보급사업들 중 태양광에만 국한된 것으로 일반 및 공동, 국민임대주택을 대상으로 태양광 발전설비의 이용을 확대하기 위하여 설비 설치비의 일부를 무상으로 지원하는 사업이다. 이를 통해 국가는 태양광 발전 설비의 범국민적 이용을 유도함으로써, 태양광 관련 기업의 안정적 투자환경을 조성하고 국내 PV(Photovoltaic) 시장 창출 및 확대, 기술 발전을 통하여 국내의 PV분야의 육성을 꾀하고 있다.

태양광 사업단에서 제시하고 있는 국내 태양광 발전 관련 목표는 2012년까지 총 1.3GW의 PV발전 설비를 설치하는 것과 R&D 비용 절감 등 크게 2가지로 분류할 수 있다. 주택용 3kW급 태양광 발전 시스템의 경우 2006년 현재 10,000가구에서 2012년 100,000가구(300MWp)로 증가시킬 계획에 있으며, 10kW급 태양광 발전 시스템은 총 400MWp, 상업용 건물 20kWp의 경우는 총 600MWp로 전체 용량 1.3GW의 설치를 2012년까지의 목표로 하고 있다[2]. 이러한 추세라면 국내의 배전계통에는 머지않아 소규모 태양광 발전 설비들에 의해 대단위 태양광 주택단지과 같은 형태가 갖춰질 것으로 예상된다.

2.2 저압계통에서의 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템은 PV 설치 용량에 따라 다르긴 하지만, 대체적으로 풍력발전 시스템에 비해 출력량이 적으므로, 대단위 풍력발전단지의 형태로 운영되는 풍력 발전 시스템과는 달리 주택이나 건물 등에 건물일체형 시스템(BIPV SYSTEM, Building Integrated Photovoltaic System)으로 설치되거나, 수용가 근처에서 소규모로 설치, 운영된다. 이러한 태양광 발전 설비는 발전 시간 및 출력 특성상 계통과 연계되는 경우가 많고, 태양광주택의 경우도 대부분이 계통 연계형으로 설치된다. 또한 주택용 태양광 발전 시스템은 가정용 수용가의 계약전력에 맞춰 3kWp로 보급하고 있으며, 이들은 수용가의 수전 전압과 관련하여 220V 저압 계통에 연계한다.

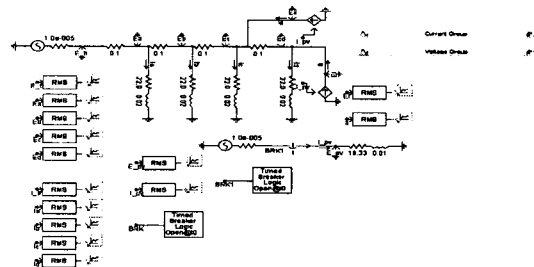
일반적으로 분산전원이 계통에 투입될 경우에는 전압 및 주파수, 역률 등과 같은 전력품질 문제, 계통 사고 시의 단독운전방지 문제, 계통과 분산전원 간의 양방향 보호협조 문제, 그리고 분산전원이 연계된 계통의 사고 시 전류의 증가 문제 등을 고려하고 있다[1]. 본 논문에서는 220V 저압계통의 주택용 수용가에 3kW PV시스템이 설치된 경우 PV 출력이 계통에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 시뮬레이션 한 후 전압변동률 증심으로 살펴보았다. PV 출력은 일조 시간 및 일사량에 따라 달라지게 되며, 대부분 <그림 1>과 같은 시간대 별 일사량에 따라, 인버터 출력 전류 및 전압의 결과로 나타낸다. <그림 1>은 2004년 9월 8일 광주지역에 설치된 3kW급 태양광 발전 시스템의 일사량에 관한 6분 데이터 결과이다.



<그림 1> 시간대별 일사량

2.3 시뮬레이션

시뮬레이션을 위한 모델 계통은 주상변압기 이하의 저압 계통으로서, 본 시뮬레이션 계통은 현상 파악을 위한 모의 계통으로 <그림 2>와 같이 최대한 간단한 계통으로 설정하였다. 시뮬레이션 계통의 주상변압기 용량은 10kVA이며 부하는 주택용 수용가로서, 계약용량 3kW 부하 4개로 가정하였다. 이는 일반적으로 수용률을 예상하여 주상변압기 용량보다 약간 높게 부하를 설정하는 현재의 운용방식을 고려한 것이다.



<그림 2> 저압 계통의 시뮬레이션 구성도

상정 계통의 최대 부하는 계약 용량 총합의 70%로 가정하여 약 8.4kVA이며 역률은 0.99%, 주상 변압기의 최대 송출 전압은 38A이다. 부하는 선로에 균등하게 분포되며 모두 동일한 용량으로 가정하여, 각 인입선의 부하 분담률은 약 25%이다.

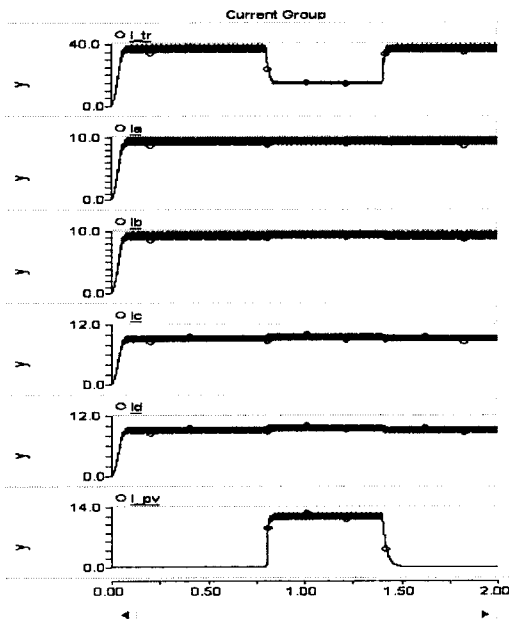
실제로 저압 배전계통의 선로는 저압선로와 인입선으로 구성되며, 우리나라의 저압 배전선로에 사용되고 있는 저압 전선의 종류는 OW전선이 주종을

이루고 있고, 인입선에 주로 사용하는 종류는 전선이 서로 꼬여있는 구조의 DV전선이다. 하지만 본 시뮬레이션에서는 저압 선로 모델링 시 실제 전선 데이터를 사용하지 않고, IEC 60725에서 국제 표준규격으로 정하고 있는 기준 임피던스를 이용하였다. 기준 임피던스(Reference Impedance)란 각 수용가의 계통 임피던스를 조사한 결과에 근거하여 플리커(Flicker) 시험 등에서 동일한 기준으로 사용하기 위한 임피던스를 말한다[3]. 이는 실제 계통 데이터를 중심으로 정확한 모델링을 할 것이 아니므로, 수용가까지의 거리나 국내의 저압 계통 상황을 국제 기준에 맞추어 표현한 것이다. 또한 주상변압기 이하만을 모델링 하며, 선로의 거리가 매우 짧으므로 선로의 인덕턴스는 무시했다.

실제로 PV 시스템은 PV array, PV inverter 등으로 구성되지만, 계통에서 보았을 때 계통으로 실시간 전류를 공급하는 전류원으로 그 특성을 간략화할 수 있다. <그림 2>와 같은 10kVA 주상변압기를 통해 전력을 공급받는 일반 주택용 수용가에 3kW 태양광발전장치를 설치한 경우 해당 계통의 전압 및 전류의 변화를 살펴보기 위해 본 논문에서는 실제 3kW급 태양광 발전시스템의 모니터링 결과를 이용하여 보았다.

실제 <그림 1>과 같은 일사조건에서 인버터의 최고 출력전류는 12[A] 정도로 모니터링 되었다. 일반적으로 주택용 3kW급 태양광발전장치는 수용가의 전력 사용량 이상으로 출력력이 발생하는 일은 드물다. 하지만 태양광 주택 보급사업을 통해 여러 주택에 태양광발전장치가 설치된다면 또다른 문제가 생길 수 있으므로, 본 논문에서는 같은 용량의 PV 장치를 2개 수용가에 설치한 것으로 가정하여 보았다.

실제 태양광 발전장치는 일사량이 적정 수준에 이르렀을 경우 발전을 시작하게 된다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 이러한 태양광 발전 기간을 시간으로 환산하여 총 시뮬레이션 시간의 30% 정도인 0.6초 동안 PV시스템이 작동한 것으로 가정하고, breaker module을 이용하여 0.6초 동안 12[A]의 전류를 내보내는 전류원 2개를 계통에 주입하여 그 결과를 살펴보았다.



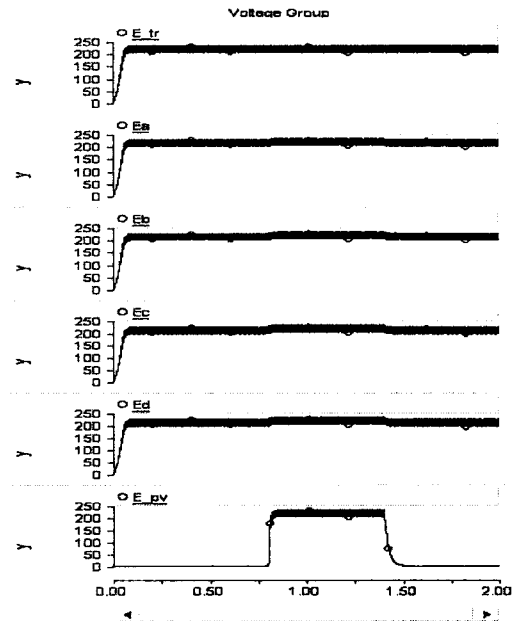
<그림 3> 태양광발전 출력 시 전류변화

<그림 3>은 3kW급 PV시스템을 2대 설치 한 경우, 전류의 변화를 살펴본 시뮬레이션 결과이다. 선로 말단 수용가 2곳에 PV시스템을 설치하여 본 결과, PV시스템 투입 시 해당 수용가 2곳 모두에 약간의 전류 상승이 발생함과 더불어 그 앞단의 수용가에도 미세한 전류 상승이 발생하였음을 확인할 수 있었다. 이것은 PV 시스템이 설치된 수용가에서 발생한 여분의 전류가 연계 계통으로 역조류하여, 해당 계층 지점에서 약간의 전류 상승이 나타난 것으로 판단된다.

또한 주상 변압기 측에서 살펴본 전류량 역시 해당 계통에 연계된 태양광 발전장치가 출력을 발생하면, 발생한 출력량만큼의 전류가 줄어들었음을 볼 수 있다. 이것은 태양광발전시스템이 그 출력량만큼의 부하를 담당하여 계통의 최상위 위치에서 볼 때, 태양광발전시스템의 출력량만큼의 부하가 줄어든 것과 마찬가지로의 현상으로 나타나는 것이다. 따라서 해당 계통의 전력 공급 발전기에서는 그 만큼의 공급 전류량이 줄어드는 현상이 발생하게 된다.

<그림 4>는 태양광 발전 시 출력전압의 변화를 나타낸 결과이다. 전류와 마찬가지로 태양광발전시스템이 출력을 내보내는 동안 해당 수용가 및 주변의 다른 수용가에도 약간의 전압 변동이 있었음을 확인할 수 있었다. 이 또한 계통의 전류 변화로 인한 전압 변동의 결과임을 알 수 있다. 하지만 <그림 4>의 첫 번째 그래프를 살펴보면, 주상 변압기 측의 전압은 태양광 발전 시스템의 출력의 영향을 받지 않았음을 볼 수 있다. 이는 PV 출력량으로 가정하고 입력한 전류량이 계통의 송출전압에 영향을 줄 정도로 크지 않았기 때문으로 판단된다. 즉 계통이 수용할 수 있는 PV용량에

비해 설정된 전류원의 크기가 낮았으므로 최상위 위치까지 PV가 영향을 미치지 못한 것으로 볼 수 있다. 따라서 만약 태양광 발전 장치에서 더 많은 양의 출력이 발생되어, 계통으로 주입되는 전류량이 계통의 수용한계에 영향을 미칠 정도로 커진다면 주상 변압기 근처의 전압 또한 변동될 것으로 사료된다. 마찬가지로 태양광 발전 시스템이 설치된 수용가와 인접한 주변 수용가 역시 좀 더 높은 전압 상승이 나타날 것으로 사료된다.



<그림 4> 태양광 발전 출력 시 계통의 전압 변화

3. 결 론

본 논문에서는 국내 '태양광 주택 10만호 보급사업'을 통해 최근 급격히 증가하고 있는 주택용 태양광 발전 시스템에 대하여, 일반 저압 배전계통을 가정하고, 실제 3kW급 태양광 발전 시스템의 모니터링 데이터를 이용하여 태양광주택이 주변 계통 및 수용가에 미치는 영향을 분석해 보았다.

실제 소용량의 태양광 발전시스템이 계통에 미치는 영향은 자칫하면 미미한 수준으로 판단할 수 있다. 하지만 소용량의 PV 시스템이라도 여러 대가 계통에 혼재한다면 그들의 총 발전량은 계통 측면에서는 무시하지 못할 정도의 수준이 될 것이며, 또한 대용량의 태양광 발전시스템이 고압 배전계통에 투입되었을 경우 계통의 변화에 관해 연구되었던 것들과는 또 다른 문제점이 나타날 수 있다.

본 논문에서 수행한 시뮬레이션은 총 수용가의 계약 전력 총 합이 12kW인 네 곳의 주택용 수용가로 이루어진 10kVA 주상 변압기 이하의 저압 배전 계통을 바탕으로 하였다. 계통 말단의 2 곳의 수용가에 실제 모니터링 결과를 바탕으로 동일한 3kW급 태양광 발전 시스템의 설치를 가정하여 그 출력에 따른 해당 수용가 및 인접 수용가, 주상 변압기 주변의 전압 및 전류의 변화를 살펴보고 향후 여러 대의 태양광 발전 시스템이 설치되었을 경우에 발생할 수 있는 현상에 관해 고찰해 보았다. 그 결과 연계 지점 근처 집 수용가에 전압 상승 및 전류의 변화가 발생하였으며, 이를 볼 때 향후 태양광주택이 증가 하였을 경우에는 계통에 더 큰 전압 상승 및 기타의 다른 영향이 발생할 것으로 판단된다.

또한 본 논문에서는 주로 연계점 및 계통의 전압과 전류의 변화를 중심으로 살펴보았으나, 향후 태양광주택이 증가할 경우를 대비하여 고조파 및 PV 시스템과 계통의 보호 협조, 주파수 및 단독운전 방지 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다. 이를 위해서는 먼저 PV Array와 인버터 등의 태양광 발전 시스템 구성 요소의 정확한 모델링이 필요하므로 향후 이 분야에 관한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 또한 전술한 바와 같이 소용량의 PV 시스템이 대단위로 설치된 경우의 계통 변화 및 여러 대의 PV 시스템 간의 상호 작용에 관한 연구도 수행되어야 할 것으로 사료되며, 이를 위하여 향후 해당분야의 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회, "배전시스템공학", 2006년
- [2] 태양광사업단 홈페이지, "태양광사업단 중장기계획", <http://www.solarkorea.org/02-05-02.php>
- [3] 산업자원부 기술표준원, "공공저전압 전력 공급시스템의 기준임피던스 설정 및 플리커 출정기술 표준화 기술개발", 2004년