

120kW급 태양광 발전시스템의 실 계통 연계 운영에 대한 연구

황정희, 안교상, 황인호*, 임희천, 오제영, 김수창**, 김진섭***
 한전전력연구원, 충북과학기술대학* 한국서부발전(주)**, 헥스파워시스템(주)***

A Study on Application and evaluation of a 120kW Photovoltaic Power Generation system in a real power system

J. H. Hwang, K. S. Ahn, I. H. Hwang*, H. C. Lim, J. M. Oh, S. C. Kim**, S. S. Kim***
 KEPRI, Chungbuk Provincial University of S&T*, Korea Western Power Co.,Ltd**, Hex Power System Co., Ltd***

Abstract - This paper summarizes the results of medium-scale(120kW class) installed in a Taean steam power system of Korea Western Power Co., Ltd. Scope of the study is development on the practical Technology for Application and evaluation of 120kW class PV system in a real power system. In this paper represent performance of 120kW PV system has been evaluated and analysed with simulation.

1. 서 론

기존의 계통연계 태양광 발전시스템 및 연구개발의 방향은 저압배전계통에 연계되는 1 kW급부터 50 kW급의 가정용 혹은 산업용 소규모 시스템에 편중되어 왔다. 이러한 연유로 특 고압 배전선로에 연계될 수 있는 100 kW급 이상의 중규모 시스템에 대한 연구개발 사례가 전무하다고 볼 수 있다.

현재까지는 정부의 시범사업과 지역에너지사업으로 소형 발전시스템이 주택 또는 건물에 설치하여 운영되어 왔으며, 향후 중대규모의 발전시스템이 실 계통에 도입 적용되리라 예측되고 있다. 따라서, 전력계통과 직접 연계 운전되는 태양광발전의 보급 기반기술 확립을 위한 높은 변환효율의 중용량급 전력변환장치 기술개발과 실 계통 확대 적용을 위한 시스템 설계/제작과 분석 평가의 계통연계 보호 협조 기술 및 중·대형 발전원의 전력송전을 위한 연계상의 문제점 분석, 주변장치의 성능개선 및 연계보호기술 개발 등 실질적인 실용화 보급적용을 위한 운용기술 개발이 필요성이 증대하고 있다. 또한, 특 고압 22.9 kV 배전선로에 연계운전 할 수 있는 시스템을 설계·제작 및 설치하여 연계운전 특성 분석 평가를 통하여 태양광발전의 중·대규모 시스템 적용보급을 위한 기반을 확립하고자 한다.[1]

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광 발전 국내외 기술개발 동향

미국의 에너지청(Department of Energy)과 전력연구소(EPR) 및 전력회사들의 협력 하에 태양광발전의 상업화에 필요한 실증시험과 주변장치의 가격절감을 위한 시스템 기술개발 연구로는 Photovoltaic for Utility-Scale Applications : PVUSA program이 있고 이러한 PVUSA program에 의해 개발된 제조기술을 상업화하기 위하여 관련 업체들로 구성된 Photovoltaic Utility Group : UPVG 가 주관하는 Technology Experience to Accelerate Markets in Utility Photovoltaics TEAM-UP program 그리고 대학과 태양광 발전 제조업체, 주정부 에너지관리공단 및 전력회사들이 참여하는 PV4U (Photovoltaics for Utility) program 등이 추진되고 있다. 현재 미국 전역의 12개 전력회사들이 태양광 발전시스템을 설치하여 운영 중에 있으며, 시범사업으로 대규모 변전소의 전원지원과 주거용 및 산업용으로 건물에 설치하여 전력품질 시험 등을 실시하고 있다.

일본은 1974년 국가주도의 태양광발전기술을 개발하기 위한 Sunshine Project를 만들어 진행하였으며, 1980년에는 신에너지 산업기술 총합개발기구(New Energy and Industrial Technology Development Organization : NEDO)를 설립하고 아울러 대체에너지 개발촉진법을 제정하여, 전기요금에 전원개발 촉진세를 부가할 수 있는 특별회계법을 시행함에 따라 본격적인 태양광발전에 대한 기술개발과 지속적인 지원 재정지원 정책이 가능하게 되었다. 이러한 정부주도형의 추진체계에 의해 결과적으로 가장 효율적인 목표달성을 이룩할 수가 있었으며, 특히 첨단 반도체 기술을 기반으로 하여 정부의 민간업체에 대한 강력한 상품화정책 유도는 결정적 실리론과 비정질 실리콘 태양전지의 기술수준을 세계에서 가장 앞서나가게 하였다.

유럽 각국에서는 자체적인 장기 개발계획에 의해 태양광발전 기술개발을 추진하고 있다. 독일의 경우 소규모 태양광발전 시스템의 실증 및 개인주택용으로 실용화 및 보급을 위한 20,000 Roofs Project가 추진되고 있고, 이탈리아의 경우 100 kW급 태양광 발전시스템의 표준화 및 보급을 위한 PLUG Project, 스위스 및 프랑스에서는 MW House Project와 PV 20 Project가 수행되고 있다. 독일의 경우 주택용 계통연계형 시스템 설치 시 초기 설치비의 70%까지 보조하여 주며, 이탈리아의 경우는 30 ~ 80%까지 시스템 설치비용을 보조하고 있다.

우리나라의 현재 태양광발전은 정부의 태양광 보급 활성화를 위한 대체에너지 시범사업 및 지역에너지사업 등에 힘입어 중·대규모의 계통연계형 시스템의 실용화가 가시화되고 있다. 2012년까지 3 kWp급 주택용 태양광발전시스템을 300 MWp(10만가구), 공공 및 산업용 시스템 400 MWp(4만개소), 그리고 산업용 600 MWp(3만개소)로 총 1,300 MWp 보급 계획을 추

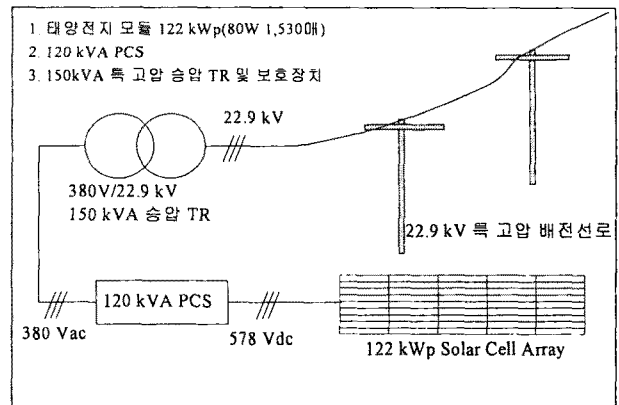
진하고 있다. 최근에는 신·재생에너지전원에 의해 발전된 전력을 일반 전기사업자가 구매하도록 하는 관련법이 개정되어 가까운 장래에 중·대형급 태양광발전은 비롯한 분산형 전원의 보급이 보다 활발해 질 것으로 예상된다.[2]

2.2 120kW급 태양광 발전시스템 실 계통 연계운전 적용

120 kW급 태양광 발전시스템의 실 계통 연계 운전 적용을 위하여 설치 예정 Site인 대한화력본부 내의 위치, 주변 환경 등을 검토하여 정남방향이며 주변의 수목과 건물의 영향이 없으며, 인근에 특 고압선로가 위치하여 지상 전주의 도입 공사 구간이 짧은 곳을 선정 조건으로 하였다. 검토 대상 부지는 여러 곳의 후보지가 거론 되었으나, 최종적으로 설치 공간을 충분히 확보할 수 있으며 인근 원복선로로부터 400m의 거리에 위치하는 운동장 법면을 활용하고 향후 회사의 정책과도 부합되는 위치를 선정하게 되었다. 청정에너지원으로서 태양광발전은 90년대 중반까지만 하여도 독립전원용으로 개발에 중점을 보여 왔으며, 그 이후 현재까지의 기술개발 및 보급 동향은 소규모 저압 배전선로에 연계 운전하는 시스템 개발이 대다수를 점유하고 있었다. 태양광 발전은 장점과 단점을 동시에 갖고 있어 기술개발 및 정책 결정에 따라 항상 회비 쌍곡선을 이루어 왔다.

세계적으로 환경문제와 국민들의 청정에너지 개발 및 이용 보급에 대한 인식의 변화, 그리고 정부 정책의 변화로 인하여 대규모 태양광 발전의 보급이 증가 하고 있다. 본 고에서는 태양광 발전의 상업운전을 위한 22.9 kV 선로에 연계 운전 할 수 있는 시스템의 실용화 기반기술을 확보하고자 120 kVA PCS 설계/제작, 송수전 설비의 적용, 시스템 설계/제작 및 건설에 대하여 기술하고자 한다.

본 발전설비는 120 kW급 태양광발전 용량으로 송수전 배전반은 안전율을 고려하여 150 kVA급으로 결정하였으며, 태양전지 모듈은 80Wp급으로 1,530 모듈로 구성 되어 있다. 본 설비의 기본 구성도는 그림1에서 보여 주고 있다.



<그림 1> 계통연계형 120kW급 PV 시스템 구성도

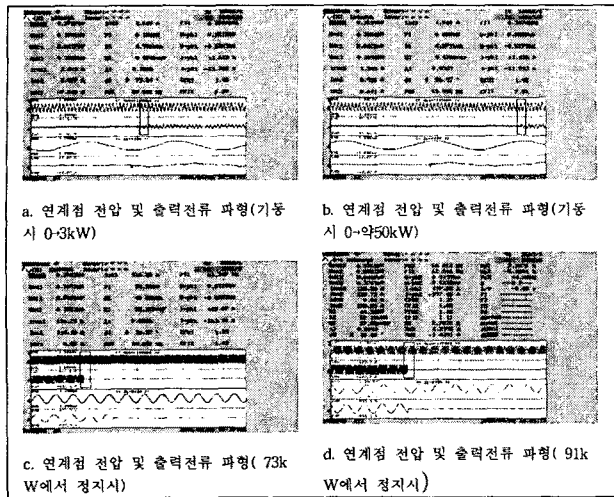


<그림 2> 120kW급 PV 시스템

2.3 120kW급 태양광 발전 시스템 계통연계 운전특성 분석

가. PCS 순시전압변동
 120kW 태양광발전설비를 구성하고 있는 계통연계형 인버터는 자역식 전류제어방식으로 기동시에 돌입전류를 억제하기 위해 소프트 스타트 기능을 갖추고 있다. 120kW 태양광발전시스템의 계통연계시 연계점의 순시전압 변동을 확인하기 위하여 발전출력별로 기동·정지에 따른 전압파형을 분석

하였다. 실험 파형으로부터 발전시스템의 갑작스런 기동·정지에도 계통 전압에는 별다른 영향이 없음을 그림3에서 보여준다.



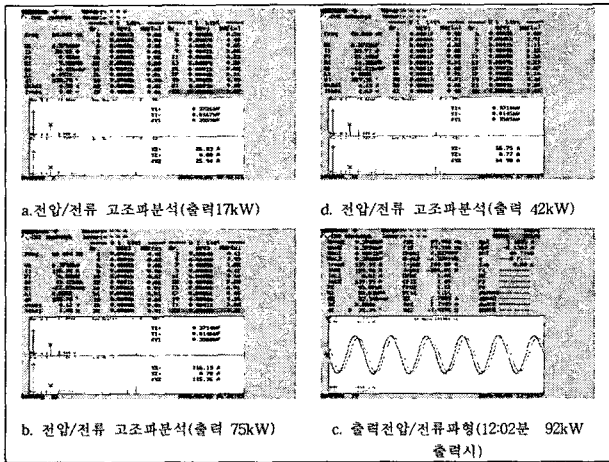
〈그림 3〉 PSC 순시전압변동

나. 고조파 영향분석

태양광발전 출력 변화에 따른 실계통 연계 운전시의 고조파 발생량을 PZ 4000 Power Analyzer 로 측정하였다. 다음 표는 태양광발전 출력별 측정 결과를 요약 정리한 것이다. 기준에 제시되는 TDD 5%는 발전설비를 제외한 국부 연계계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통연계점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는)발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율을 의미하므로 측정결과가 기준을 만족함을 알 수 있다.

〈표 1〉 실계통 연계운전시 출력전류의 고조파 측정결과

태양광출력	17kW	42kW	75kW
출력전류	5.42	2.67	1.48
THD(%)			

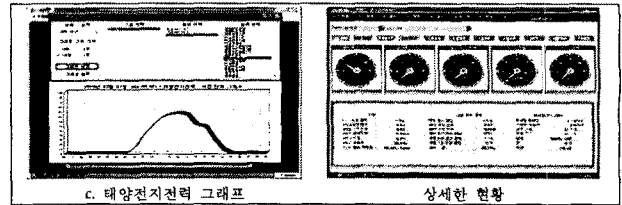
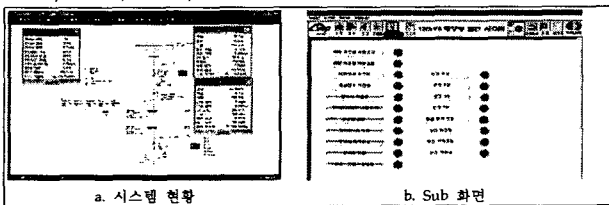


〈그림 4〉 고조파영향분석

2.4 120KVA 태양광 발전 모니터링 시스템

가. 시스템 운전 및 감시 시스템 구축

MMI LCD Graphic 패널에서는 시스템의 Set-up, 시스템 운전 상태, 자기진단 기능, 자동운전, 시스템 운전 값 설정 등의 제반 현황을 감시와 조작을 할 수 있다. 태양광 발전시스템의 운전자료 수집 및 시스템 감시 제어에 맞게 구성하여 적용하였다. 주 화면에서 디지털 감시, BAR 그래프, 경보화면, 계통도, 보고서, 시스템 구성 등 모든 기능을 수행하게 되어 있다.



〈그림 5〉 120KVA 태양광 발전 모니터링 시스템

2.5 120KVA 태양광 발전시스템 실증운전 결과

120kW급 계통연계형 태양광 발전시스템을 시스템 구동에 따른 운전특성의 데이터를 수집하여 태양광의 수평면과 경사면 일사량, 그리고 어레이 표면온도 등이 함께 측정되어 태양광 발전특성에 미치는 영향 등을 관찰하였다. 120kW급 계통연계형 태양광 발전 시스템의 특성을 파악하기 위하여 발전시스템의 이용률 및 시스템 발전효율을 살펴보았다. 계통연계 태양광 발전시스템의 시스템 이용률 및 발전효율은 다음 식들에 의하여 계산된다.

$$\text{시스템 이용률} = \frac{\text{시스템 발전전력량}(kWh)}{\text{시스템 정격출력} \times 24(h) \times \text{일수}} \times 100(\%)$$

$$\text{시스템 발전효율} = \frac{\text{시스템 총발전전력량}(kWh)}{\text{경사면일사량} \times \text{어레이면적}(m^2)} \times 100(\%)$$

$$\text{어레이효율} = \frac{\text{태양전지 어레이 발전전력량}(kWh)}{\text{경사면일사량}(kWh/m^2) \times \text{어레이면적}(m^2)} \times 100(\%)$$

〈표 2〉 시스템 특성

월별	발전 전력량 (MWh)	경사면 일사량	시스템 발전효율(%)	시스템이용률(%)	어레이 효율(%)	계속일수
2005.08	3.161	1,322	15.37	15.37	9.88	7
9월	10.87	4,478	9.36	12.33	10.08	30
10월	12.8	5,099	9.68	14.05	10.41	31
11월	10.38	4,095	9.78	11.77	10.53	30
2006.02	7.4	2,992	9.54	13.25	10.30	19
3월	14.49	5,570	10.036	15.91	10.83	31
4월	5.01	2,148	9	14.21	9.74	12

2.6 발전원가 시산

태양광발전 시스템의 현황분석에서 이미 검토한바와 같이 현재의 태양광 발전의 평균발전단가는 기존의 전원설비로부터 생산되는 전력의 발전단가보다는 높은 수준에 있으나 지속적인 기술개발로 점차 발전단가가 낮아지고 있는 점을 감안하고, 기존전원설비로부터 파생되는 운영상의 문제점 및 환경적인 제약을 피할 수 있다는 잇점등 비용으로 직접 환산할 수 없는 요소를 고려한다면 태양광발전 시스템의 보급전망은 앞으로 더욱 나아질 것으로 볼 수 있다

〈표 3〉 발전원가 시산

내역	실공사 발전원가	PCS 개발 비용 적용
이용률	0.135	0.135
발전시간(h)	8,760	8760
년간발전량(kWh)	144,750	144,750
수명기간(년)	25	25
CRF(할인율6%)	0.0782	0.0782
고정비	98,567	109,190
제세(0.45%)	444	491
운전유지비(0.1%)	1,260	1,396
고정비+운전유지비	100,271	111,078
소내소비율(%)	1	1
발전원가(원/kWh)	700	775

3. 결 론

태양광 발전시스템은 분산배치 형태 및 향후 대체용 전원으로 더욱 유망하다. 즉 태양광 발전시스템은 앞으로도 계속적으로 이용할 수 있으며, 무공해의 대규모 사용 발전 시스템으로서 보급될 가능성이 크다. 따라서 선진각국에서는 실제 발전 설비를 대체할 수 있는 설비로서 많은 관심을 가지고 연구개발을 진행하고 있고 최근에는 실용화를 목표로 실제 계통에 연계된 MW급 실증시험이 성공적으로 완료하였고 현재는 우리나라에 개발 보급되어 운영 할 계획이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 안교상, 김수창, 김신섭, 황인호, 박성연, 김영철, 임희천, 오재명, "120kW 태양광 발전시스템의 설계/제작", 대한전기학회 하계학술대회2005.7
- [2] 산업자원부, "120kW급 태양광 발전시스템의 실계통 연계운전 적용 및 평가" 최종보고서, 2006.