

120 KW급 태양광 발전시스템의 설계/제작

안교상, 김수창[†], 김신섭[‡], 황인호[‡], 박성연, 김영섭, 임희천, 오제명
한전전력연구원, 한국서부발전(주)[‡], 헥스파워시스템(주)[‡], 충북과학대학[‡]

The design and construction of a 120 kW class PV system

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

Abstract - To evaluate the grid-connected Photovoltaic(PV) system performance, as a medium size, a 120 kW PV system which was consisted of solar cells, PCS, 150kVA transformer station and utility grid was designed and constructed.

1. 서 론

급증하는 전기에너지 소비를 해결하고, 전력수급난 해결을 위해 개발되고 있는 신·재생에너지 분야는 태양광 발전을 포함하여 태양열, 풍력발전, 연료전지 발전, 소수력 등의 개발이 진행 중이고, 그중에서 특히 태양광 발전의 보급이 점차 확대되고 있다. 태양광 발전은 연료가 필요 없는 Clean Energy 원으로 국내 부존자원의 최대 활용 및 지구 환경문제에 동등적으로 대처할 수 있는 발전방식으로 최근 세계적으로 분산형 전원으로서의 발전설비 도입이 급격히 증가되고 있다.

또한, 에너지원이 청정, 무한으로 대기오염이나 소음을 발생시키지 않고, 기계적인 가동부분이 없기 때문에 기계적인 마찰부분이 없어 특별한 보수를 필요로 하지 않으므로 장수 명을 기대할 수 있다. 이러한 특성에 따라 발전 전원으로서 취약성이 존재함에도 불구하고 설비의 안정적인 운영 도모를 위한 분산전원으로서 태양광 발전 시스템의 개발 및 보급의 필요성이 점차 증대되고 있다.

그러나, 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 중·용량급 전력변환장치 기술개발과 실계통 확대 적용을 위한 시스템 설계/제작과 분석 평가와 계통연계 보호 협조 기술 및 중·대형 발전원의 전력 송전을 위한 연계상의 문제점 분석, 주변장치의 성능개선 및 연계보호기술개발 등 실질적인 실용화 보급적용을 위한 운용기술 개발이 필요성이 증대하고 있다.

발전 혹은 일반전기 사업자로서는 정부의 에너지 정책에 부응하여 친환경적인 발전원의 다양화를 추구하고, 의무구매 또는 공급에 대비하는 신·재생에너지원 설비 및 운용기술 확보를 도모하며, 동시에 향후 중·대형 발전원의 전력송전을 위한 운용의 기반기술 확보 및 태양광 발전에 대한 각종 Guide Line, 법규 등이 제정하여 전력회사마다 별도의 지침을 설정하여 관리할 필요성이 대두되고 있다. 청정에너지원으로 각광을 받고 있는 태

양광 발전은 자연의 무한 에너지를 일상의 전기에너지원으로 변환 사용이 가능한 미래의 무한 에너지원이다. 정부정책의 변화는 새로운 전기 사업자를 탄생시켰으며, 태양광 발전의 중요성을 새롭게 인식하게 되는 계기가 되었다.

계통연계형 태양광 발전용 PCS 기술개발의 목표는 최대 전력발생, 계통연계기술, 고신뢰성, 저가화 등을 들 수 있고, PCS의 실용화에 필요한 기술개발은 기초기술 연구에 대한 연구와 상용화 기술로 나눌 수 있다.

신·재생에너지 중에서 실용화에 가장 근접되어 있는 태양광발전 기술을 이용한 중형급 120 kW급 계통연계 태양광 발전용 PCS의 최적 설계와 실증 연구를 목표로 하며 신·재생에너지 전원의 실용화를 통하여 부하평준화 (Load Levelling) 효과, 전력계통설비의 합리적인 이용, 청정에너지 산업의 실용화 등을 위한 기반기술 확립을 위한 120 kW PCS를 개발하며, 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.

120 kW급 PCS, 시스템 설계/제작 및 건설을 본 고에서 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 국내 기술기준 현황

국내의 경우, 태양광발전을 비롯한 분산전원의 계통연계와 관련된 기술기준으로는 한국전력공사의 “타사발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침(1996)”과 “분산형 전원 저압배전계통 업무절차서”를 들 수 있다. 타사발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침은 22.9 kV 및 154 kV의 특별고압선에 연계하는 경우에 대한 전력회사의 보호협조 관련 업무가 주 내용으로 되어 있고, 분산형 전원 저압배전계통 업무절차서는 한전 배전부서에서 분산전원 계통연계 신청 절차 및 연계에 대하여 내부 업무처 리용으로 사용하기 위하여 임정적으로 작성하여 사용하고 있는 업무지침이다. 그러나 이러한 업무지침은 외국의 기술기준에 비교하여 볼 때 태양광발전을 비롯한 신·재생에너지전원설비의 연계기술기준이라 하기엔 미흡한 점이 많은 실정이다.

따라서 최근에 신·재생에너지 발전설비의 보급이 활성화됨에 따라 관련업계, 정부기관, 전력회사 등 의 요구에 부합하는 연계기술 기준의 필요성이 제시되고 있어 정부 및 한전이 주축이 된 신 재생에너지 이용 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준이 제정되었다.

그럼 1은 특 고압 22.9 kV 배전선로에 연계되는 경우 타사발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침에 따른 태양광발전을 비롯한 분산형전원의 연계선로 보호방식의 예를 보여준다.

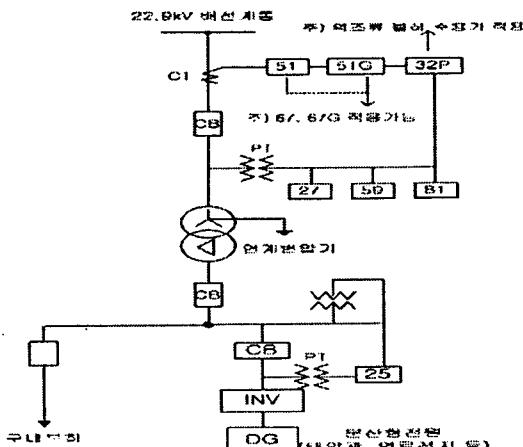


그림 1. 22.9 kV 특 고압 연계선로 보호방식

2.1.1 태양광발전 계통연계 신청 절차

국내의 태양광 발전설비 계통연계 신청절차는 한국전력공사의 “배전용 전기설비 이용규정(2005.1.1 시행)”에 따른다. 이 규정은 배전사업자인 한전의 배전용 전기설비 이용요금 및 기타 이용조건을 정하는 것으로 전기사업법 제 31조[전력거래]의 규정에 따라 전력시장에서 전력을 거래하기 위하여 한전의 배전용 전기설비를 이용하는 경우 적용되게 된다.

배전용 전기설비 이용규정에는 배전용 전기설비의 이용절차 및 조건, 배전 이용요금의 계산 및 납부, 접속서비스의 계산 및 납부 등이 자세히 명시되어 있다.

주요내용을 살펴보면 이용을 원하는 고객은 기본계획자료를 포함한 이용신청서 서식에 의하여 신청하도록 되어있고 한전은 이용신청 후 5개월 이내에 이를 처리하도록 되어 있으며 600V 이상의 전압으로 연계시 750,000원의 기술검토 비용을 고객이 부담하여야 한다. 또한 연계시 적용되는 기술기준은 현재 한전이 송·배전계통에 적용하고 있는 “발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 기준서” 및 “분산형 전원 저압계통 연계기준”에 따르도록 되어있고 설비 연계에 따른 접속공사비는 고객이 부담하도록 되어 있다.

2.1.2 태양광발전 계통연계 기술 검토

전력계통에 있어서 태양광발전은 상대적으로 새로운 기술이다. 지난 수년 동안 태양광발전에 관한 운전경험은 아주 높은 수준에 이르렀고 오늘날 설치된 태양광발전은 우수한 특성을 갖으며 특별한 문제없이 잘 운전되고 있다. 태양전지 모듈 및 BOS(주변장치)의 가격이 상당히 감소함에 따라 전력계통과 병렬연계된 태양광발전은 매력적인 수단이 되고 있으며 정부의 신재생에너지 보급정책에 의해 많은 지원을 받고 있다.

따라서 태양전지 Array 출력을 배전선과 연계하여 상용전원과 조합해서 유효하게 이용하는 분산형 계통연계형 태양광발전이 장래 보급의 주축을 이루 것으로 기대되고 있다. 그러나 불특정 다수의 태양광발전시스템을 계통연계하는 것은 배전선의 전력품질, 안전성, 안정성에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 이를 발전 전원의 본격적인 보급에 앞서서 미리 계통연계운전에 의해 발생할 기술적인 문제점을 해명하고 그 대책기술에 관해서 확립되어야 할 필요가 있다.

태양광발전의 배전계통연계는 기존의 전력계통 개념에서는 새로운 변화를 의미한다. 예를 들면 태양광발전은 계통에 연계되기 전에 태양전지 모듈의 직류전력이 교류전원으로 변환되는데 태양광발전과 전력계통 사이에는 상호간에 피해를 주지 않도록 보호 장치가 필요하다. 태양광발전의 계통연계기술을 확립하기 위해서는 시스템

자체성능확인 이외에 그 연계할 부분, 즉 배전선계통으로의 영향, 또는 그 주변부분에 존재하는 전기제품을 중심으로 한 부하에로의 영향확인도 필요하다. 이들의 확인, 즉 기술적 평가는 전력품질, 안정성, 안전성의 면에서 행하는 것이지만 구체적으로는 태양광발전에서 본 평가, 전기제품에서 본 평가, 전력계통에서 본 평가의 종합평가가 필요하다.

향후 신·재생에너지 보급이 일반화 되어 다수의 분산형 태양광발전이 계통에 도입될 경우 전압변동, 고조파, 단독운전 등 보호협조 문제 등이 이러한 관점에서 주로 고려되어 할 것으로 보이며 향후 시스템 실증실험을 통하여 분석해야 할 것이다.

2.2 120kW급 태양광 발전시스템 설계/제작

120 kW급 태양광 발전시스템의 실계통 연계 운전 적용을 위하여 설치 예정 Site인 태안화력본부 내의 위치, 주변 환경 등을 검토하여 정남방향이며 주변의 수목과 건물의 영향이 없으며, 인근에 특고압선로가 위치하여 지상 전주의 도입 공사 구간이 짧은 곳을 선정 조건으로 하였다. 검토 대상부지는 여러 곳의 후보지가 거론되었으나, 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 있다. 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 증가하고 있다. 본 고에서는 태양광 발전의 상업운전을 위한 22.9 kV 선로에 연계 운전 할 수 있는 시스템의 실용화 기반 기술을 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 안전을 고려하여 150 kVA급으로 결정하였으며, 태양전지 모듈은 80Wp급으로 1,530 모듈로 구성되어 있다. 본 설비의 기본 구성도는 그림 2에 보여 주고 있다.

1. 태양전지 모듈 122 kWp(80W 1,530串)
2. 120 kVA PCS
3. 150kVA 특고압 습압 TR 및 보호장치

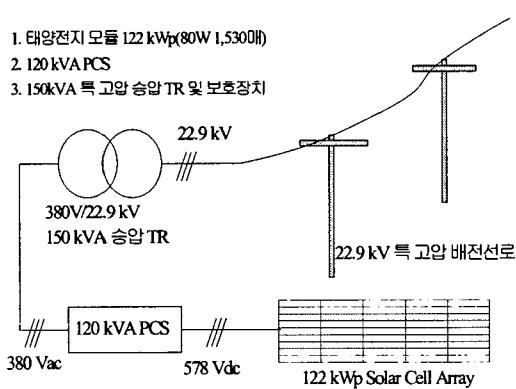


그림 2. 120 kW급 태양광발전 기본 구성도

2.2.1 태양전지 Array 구성 및 결선

태양전지 모듈은 80Wp 단결정 실리콘 태양전지 1,530 매로 이루어져 있으며, 태양전지 모듈 34매를 직렬로 연결하여 45 병렬 시스템으로 설계하였다. 이때의 태양

광발전의 개방전압 731 Vdc, 동작전압 578Vdc이며, 총 설비 용량은 122.4kVAp이 된다.

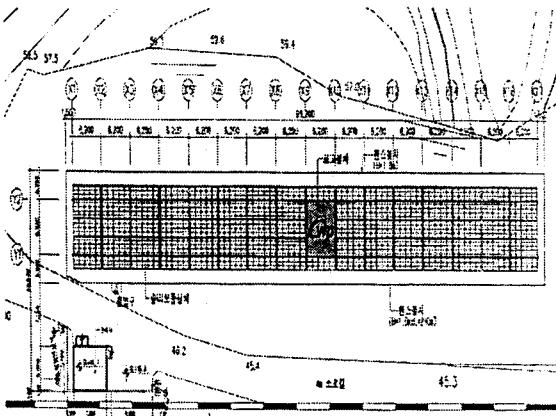


그림 3. 태양광발전 모듈 배치도

2.2.2 150 kVA 송수전 배전장치

특 고압 연계를 위한 송 수전 설비는 현재에 보급이 확대되고 있는 수전 설비에 송전 개념을 도입하여 설계하였다. 적용하고자 하는 수전 설비는 기존의 수전 설비에 IT 기술이 접목된 최신의 기술로서 이를 송전설비로 전환한 것으로 태양광 발전의 도입 및 적용에 유용할 것으로 사료 되고 있다. 태양광발전은 유지 관리 및 운영의 편의성을 위하여 무인운전이 가능하여야 하며, 이러한 조건은 금번에 적용하는 송수전 배전반은 충분히 그 역할을 수행 할 수 있을 것으로 보여 진다.

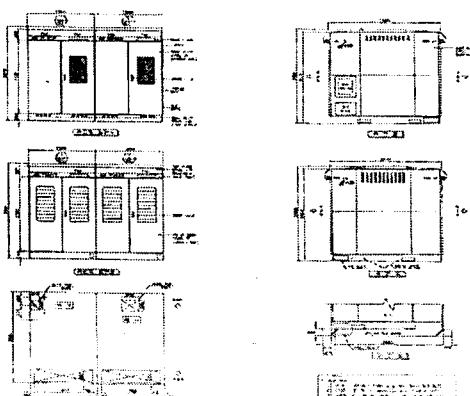


그림 4 150 kVA 송수전 배전반 외형도

2.2.3 120 kVA PCS

120 kW급 계통연계 태양광발전용 PCS의 Proto-type 을 설계 및 제작 하였다. 제작에 있어 본 Proto-type 을 기본으로 시제품이 제작 될 수 있도록 설계조건과 규격 을 시제품에 가장 유사하도록 제작하였다. 설계 규격에 서 태양전지의 직병렬 수는 충분한 사전 협의와 검토를 거쳐 PCS 설계와 전류제어의 용이성을 반영하였다. 즉, 태양전지의 직병렬 수에 있어 병렬 개수가 증가하면 PCS 입력전류가 증가하는 상관관계가 있어 PCS 입력전 압과 전류를 결정하여 IGBT 스택(stack)의 용량을 결정 하므로 상용으로 제작될 수 있는 300A 1,200V급 IGBT 를 2병렬로 사용할 수 있도록 태양전지를 34직렬 45병렬 로 결정하였다. 이에 따른 입력전압의 변동범위는 476- 736Vdc이다. 그리고 PCS 출력 주파수는 60Hz ±1% 이

내에서 추종하도록 하며 출력전압은 삼상 380Vac ±10% 이내에서 추종하도록 설계·방역 하였다.

이때, 출력전류의 경우 총 고조파 왜율(THD)이 총합 5 % 이내, 각자 3% 이내에서 제어되며 효율 90% 이상에서 역률이 98.8% 이상이 되도록 제어된다. 그리고 보호기능에 있어 입력파 출력에 대하여 과전압(OV), 저전압(UV), 제통 주파수와 동기 이상에 있어 규격내의 보호 기능을 갖추도록 하였다.

표 1. 120kW급 계통연계 PCS의 설계 규격

항 목	단위	사 양
태양 전지 (80W)	직/병렬수	S/P
	총수량	EA
	용량	W
	개방전압	V
	최대전압	V
	최대전류	A
	단락전류	A
	최저동작전압	V
		476
변압기 (1차 전류)	변압비	V
	1차전류	A
	2차전류	A
IGBT	IGBT 전류	A
	IGBT 선정	급
리액터	-	300uH 120kVA 2병렬

3. 결 론

본 태양광 발전설비는 서부발전(주)의 태안발전본부 내에 120 kW 태양광 발전시스템을 포함하는 형태로 건설 중에 있다. 전체 설비의 개념설계와 동시에 120 kW 발전설비의 제작을 진행하고 해당 기관의 업무협의를 거쳐 2005년 7월에 공사를 완료하고 실 계통 연계 운전을 위한 실증시험에 들어갈 예정이다.

120 kW 태양광 발전시스템에 의한 배전선의 전력품질, 배전선 보호시스템과의 보호협조 문제, 발전시스템에 대한 계통연계조건의 타당성, 기타 설비보호, 운영관리방식 등에 대한 종합적인 실증 검토를 할 예정이다.

120 kW 태양광 발전시스템의 종합운전시험을 실시하여 태양광발전 Array를 포함한 발전시스템의 발전특성 및 운전효율을 분석하고 동시에 PCS의 전력변환효율, 출력역율, 전류 왜울 등 전력품질 성능을 분석하고, 이에 따른 배전선의 전압 왜울, 기타 전압변동 등에 의한 상호 간섭, 운전의 안정성 등을 비교 분석할 것이다. 또한, 작업에 의한 배전선 정지 또는 각종 배전계통 사고 시 태양광 발전시스템의 동작특성 및 배전선으로의 영향을 분석하여 시스템에 내장된 보호방식의 적정성을 검토하며, 실제 배전계통과의 연계 운전에서 배전선 사고시 태양광 발전시스템이 역 충전운전을 지속할 가능성에 대해 실증학 예상이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, “120 kW급 태양광 발전시스템의 설계통 연계운전 적용 및 평가” 중간보고서, 2005.
 - [2] 한국전력공사, “배전용 전기설비 규격”, 2005.
 - [3] 한국전력공사, “분산형전원 배전계통 연계기술기준”, 2005