

태양광 발전소의 전기설비 설계 및 저압 계통연계 적용사례에 관한 연구

(A Study on electric facilities plan and application of low-voltage grid connection for a photovoltaic electric power station)

임경미* · 김경화

(Kyungmi Lim · Kyeonghwa Kim)
서울산업대학교 산업대학원 전기공학과

Abstract

This paper presents a study on the electric facilities plan and application of low-voltage grid connection for a photovoltaic electric power station. The analysis for an installation cost is carried out and a new plan to solve the problem caused by a voltage drop in a low-voltage grid connection is devised. It is expected that the results can be usefully applied to spread the photovoltaic electric power station.

1. 서론

지구는 화석연료의 고갈과 탄소 발생문제로 인한 환경파괴를 두려워하고 있는 가운데 저탄소 녹색성장을 위한 친환경적이면서도 지속가능한 발전인 신 재생에너지 사용에 대한 관심이 증대되고 있다. 최근 정부에서는 태양광을 3대 중점과제로 선정하여 여러 가지 지원을 추진 중에 있으며, 특히 2012년까지 1.3[GW]의 발전 용량을 보급할 계획이다. 2007년 태양광 발전 전문가들의 예상에 따르면 2020년경 태양광 발전시스템의 국내 보급규모는 약 4[GW], 2030년에는 약 18[GW], 수출규모는 2020년에 연간 1조 4천억원, 2030년에 연간 6조원에 이를 것으로 전망된다.[1]

하지만 현재의 신 재생에너지 통계를 통해서 살펴본 태양광에너지의 공급비중은 여전히 0.3%에 불과하다. 태양광 에너지 발전 비중이 아직 작은 이유는 에너지를 만들어내는 시설공사비가 에너지 가격보다 비싸기 때문이나 지속적인 정부의 발전차액 지원정책으로 인해 태양광 발전소 건립이 상당히 늘어날 전망이다.

본 논문에서는 태양광발전소의 전기설비 설계 및 저압 계통연계 적용사례에 관한 연구를 제시한다. 설치 비용분석을 통해 태양광 발전소 건립 계획 시 부지를 선정할 때부터 한전 전력계통을 고려하여 태양광 발전소에서 한전계통에 연결되는 전압방식이 검토된다. 또한 현재 설계 진행 중에 있는 99.2[kW] 급 태양광 발전소 3기가 연접해 있는 경우 한전 계통 연결을 위한 태양광 발전소의 전기설비 설계 및 저압 계통연계 적용사례에 대하여 연구 하고자 한다.

2. 태양광발전소 입지 분석



그림 1. 전라북도 정읍시 태양광 발전소 부지
Fig. 1. Photovoltaic power station site

우선 본 절에서는 발전소의 전기설비 설계 및 저압 계통연계 적용사례를 조사 하고자 한다. 태양광 발전소 건립을 위한 입지분석을 위하여 현장조사를 하는 것은 태양광 발전소 건립을 위한 전기설비의 설계 시 최우선적으로 선행되어야 한다.

그림1은 본 논문에서 제시하는 태양광 발전소 현장으로 전라북도 정읍시에 위치한 농림지로서 농로와 접하여 차량 출입이 용이하고 지면이 북쪽보다 남쪽이 높으며 약간 북향의 모습을 갖고 있는 형태로 여름철에 태양광 발전소의 효율 조건에 적합 하며 통풍이 잘되는 곳으로서 태양광 발전소 입지조건에 잘 맞는 지역으로 면적은 1416[m²]로 이루어져 있다.

발전소 건립에 필요한 전원을 조사해보면 발전소 건립부지 농로 주변에 농업용 전원으로서 8[m] 전주의 가

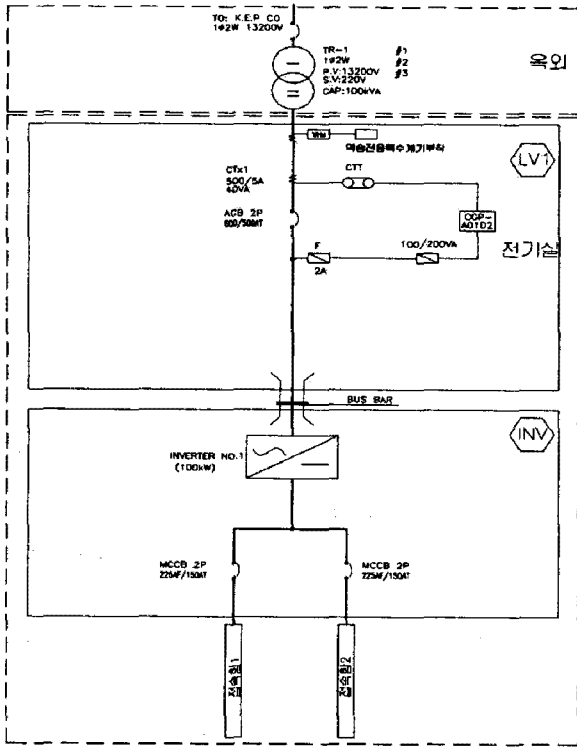


그림 2. 저압 공급 배전반 구성
Fig. 2. Configuration of low-voltage distribution panel

공배선이 설치되어 있고 특고압 한전 배전 선로는 350[m] 정도 떨어져 있으므로(전압방식 : 13.2[kV] 단선) 저압 계통연계를 위하여 한전과의 충분한 협의가 이루어질 필요가 있다.(책임분계점등, 전기공급규정28조) 전기설비 설계 및 저압 계통연계를 하는데 있어서 배전 선로의 지중화 또는 가공배전선로를 비교 하여 비용절감 여부와 책임분계점이 고려되어야 한다.

연계점 : 9115A202소성간131R21

3. 태양광 시스템 발전설비 전기설비 설계개요

표 1. 주요설비 내용
Table 1. Main facilities

품명	규격	수량[개]	설비용량
태양전지판 (Solar Sell)	200[W]	496	99.2[kWp]
인버터	단상2선식 220~242[V]	1	100[kW]
차단기 (ACB)	AC 220[V]	1	2P 600/500[AT]
차단기 (ACB)	DC 537.6[V]	2	2P 225/150[AT]
적산전력량계	단상2선식 220[V]	1	500/5[A]
변류기	500/5[A]	3	40[VA]

표 2. 태양광 발전용 계통연계형 인버터의 전기적 특성

Table 2. Electric specifications for a grid-connected inverter

구분	항목	내용
입력	최대 개방 전압	600[VDC]
	입력 전압 범위	300~600[VDC]
	최대 입력 전류	350[A]
출력	상수	단상
	방식(사용소자)	PWM inverter (IGBT)
	정격 출력 용량	100[kW]
	정격 출력 전압	계통선 전압 (220[V])
	정격 출력 주파수	계통선 주파수 (60[Hz])
	출력 주파수 변동률	계통선과동기운전
	출력단전력 파형 왜율	5%이내 (정격 부하시)
	정전시 인버터 정지	500[ms] 이내
	계통전압 전압 변동률	±10%
	효율	95%이상 (100%출력시)
	과부하 능력	110%
부하의 역률	0.95 이상	

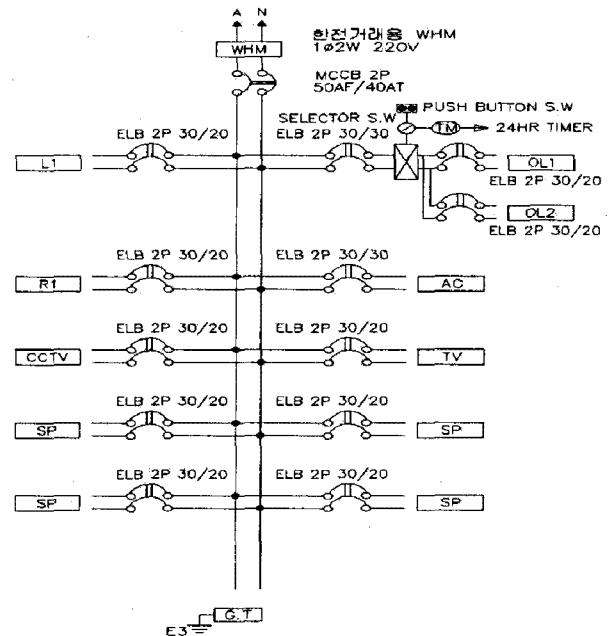


그림 3. 분전반 결선도
Fig. 3. Distribution panel

표 1은 본 논문에서 적용사례 연구에 활용하고자 하는 100[kWp]급 태양광발전 설비의 주요 사양을 나타낸다.

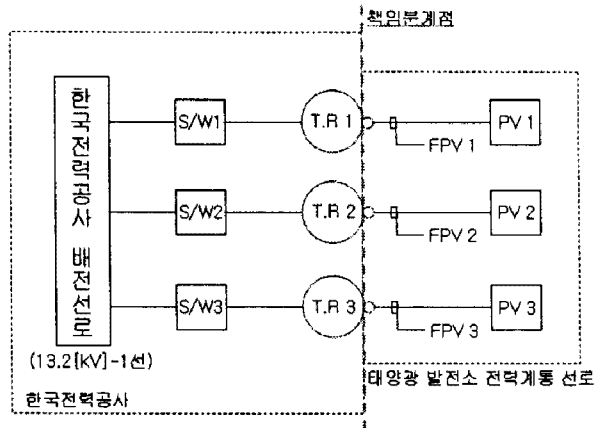


그림 4 전력계통 구성도
Fig. 4. Configuration of power system

표 3. 전력계통 구성도의 범례
Table 3. Configuration of power system

범례	내용	비고
S/W 1 S/W 2 S/W 3	234[kV] C.O.S × 1 EA	주상변압기 1차측 차단기
T.R 1 T.R 2 T.R 3	한국전력공사 1단접지용 주상변압기 단상2선식 13.2[kV]/220[V] 100[kVA] × 1 EA	
PV 1 PV 2 PV 3	태양광 발전소 단상2선식 220[V] 99.2[kW]	
FPV 1 FPV 2 FPV 3		발전소에서 주상변압기 간 저압간선

태양전지판은 단축 위치 추적방식으로 설치되며 저압 공급 배전반 구성은 그림 2와 같다. 태양전지로부터 생산된 DC 전원은 100[kW] 단상 인버터를 거쳐 220[V] AC로 변환된 후 차단기 및 계량기를 거쳐 한국전력공사의 주상변압기 1차측에 연결된다.

태양광발전에 적용하기 위한 계통 연계형 인버터는 PV 모듈에서 생성된 직류를 표준 교류로 변환할 수 있어야 하고, 인버터의 동작점을 PV 모듈의 최대전력 동작점으로 조정(mpp 추적)이 가능해야 되고, 동작 데이터의 모니터링이 가능해야 하며(디스플레이, 데이터 저장 및 데이터 전송 등), 및 DC와 AC 보호장치가 설정(부정확한 극성 보호, 과전압 및 과부하 보호)되는 기능을 갖고 있어야 한다.[2] 표 2는 태양광 발전용 계통연계형 인버터

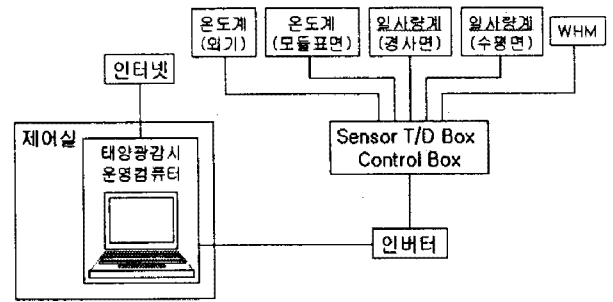


그림 5 원격중앙감시 시스템
Fig. 5. Central monitoring system

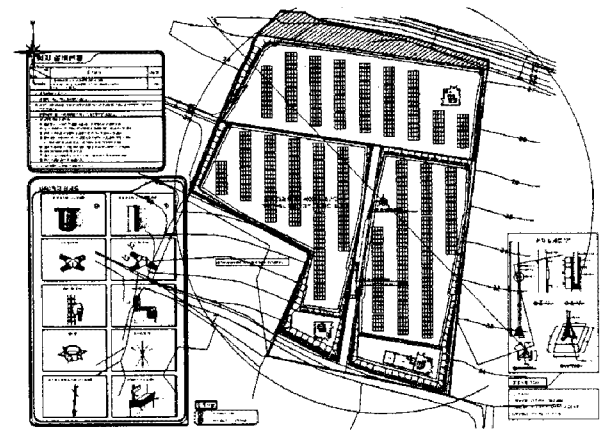


그림 6 태양광 발전소 3기의 배치도
Fig. 6. Arrangement of photovoltaic power station

의 전기적 특성을 나타낸다.

그림 3은 태양광 발전소 시스템 유지 및 건물관리에 필요한 전기를 사용하기 위한 분전반 결선도를 나타낸다. 태양광 발전 부지에 접해있는 농사용 기존 선로로부터 단상 220[V], 3[kW] 정도를 수전한다.

그림 4는 전력공급에 따른 전력계통 구성도로서 태양광 발전소에서 생산된 전기를 한국전력공사에 판매하기 위하여 태양광 발전소에서 저압배선을 이용하여 한국전력공사의 전주에 설치된 1단 접지 변압기 100[kVA]의 2차측에 220[V]의 선로를 연결하여 특고압용 차단기를 통해 한국전력공사의 배전선로인 13.2[kV]의 배전 계통에 연결한다. 표 3은 전력계통 구성도의 범례를 나타낸다

그림 5는 원격 중앙감시 시스템으로서 전력변환장치의 감시제어, 자동 기상관측, 자동 태양전지 어레이 모듈 계측, 중앙제어, 자동/수동 스위치 변환 감시와 제어, 전력계통 표시, 및 원격지 제어 등과 같은 기능을 수행할 수 있어야 한다.

그림 6은 태양광 발전소 3기의 배치도로서 200[W] 용량의 태양전지판 모듈 16개씩을 직렬로 연결하고 다시 31개를 병렬로 연결하여 구성하였으며 1기의 용량은 99.2[kWp]이다.

4. 설계 및 적용 시 고려사항

표 4. 가공선로 방식과 지중선로 방식의 비교
Table 4. Comparison of and

구 분	가공선로 방식	지중선로 방식
예 상 공사비 비 율	-	가공선로 방식의 1.25배
장 점	공사비가 지중선로 방식에 비해 저렴하며 사고시 복구가 용의	폭풍우등의 기상 조건 등에 의한 자연 재해 및 타 물체 접촉의 영향을 적게 받으며 감전 재해가 적고 미관 저해가 없음
단 점	기상 조건에 의한 영향을 많이 받으며 미관 저해	공사비의 증가 및 고장 발생 시 수리가 곤란

한국전력공사의 계통연결 선로 방식은 가공선로 방식과 지중선로 방식이 있다. 한국전력공사의 변압기 2차 측으로부터 태양광발전소 배전반까지의 선로는 약 350[m]이며 가공선로 방식은 8[m]의 콘크리트 전신주를 도로를 따라 40~50[m] 간격으로 설치하여 선로를 구성하는 방식이다. 지중선로 방식은 전선관을 지중으로 매입한 후 관로에 선을 입선하는 방식이다. 표 4는 가공선로 방식과 지중선로 방식의 비교를 나타낸다.

태양광 발전 전기설비의 설계 시 고려해야 할 사항으로 전압강하에 따른 문제점을 해결해야 한다. 단상 2선식 220[V], 99.2[kWp]의 저압선로에서 350[m]의 전력공급계통을 구성할 경우 450[mm]의 케이블을 사용하여 선로를 구성할 경우 전압강하에 따른 문제점을 해결 할 수 있으나 이 경우 과도한 공사비가 발생할 수 있다. 또한 가공선로로 구성 시 전신주에 1C/450[mm]의 선로가 6 line이 시설 되어야 하는데 이 경우 선로의 하중이 증가하는 문제점이 발생한다.

전압강하에 따른 문제점을 해결하기 위해서는 인버터의 출력전압 조정범위가 정격전압보다 10% 높은 인버터를 적용하여 전압을 정격전압보다 높은 상태로 전력 공급을 하여 전압강하를 보상한다면 선로의 굵기를 줄일 수 있어 공사비를 절감 할 수 있도록 할 필요가 있다.

선로시공 방법에서는 케이블의 하중 문제가 발생하는 가공선로를 지중선로로 설치하여 케이블 하중에 따른 문제점을 해결 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 태양광발전소의 전기설비 설계 및 저압 계통연계 적용사례에 관한 연구 결과를 제시한다. 태양광 발전의 전기설비를 위한 설계 개요가 설명되었고 태양광 발전을 위해 필요한 주요 설비 및 전력계통 구성사례가 분석되었다.

발전된 전력의 계통 연계를 위한 두 가지 선로방식의 비교를 통하여 설치비용을 저감 하면서도 발전 전압의 전압강하 없이 안전한 계통 연계를 구현할 수 있는 설계방법을 제안하였다.

또한 태양광 발전소 부지 선정 검토 시에는 일사량 등과 같은 태양광 발전 조건뿐만 아니라 계통연계에 따른 시설비용 발생에 직접적인 영향을 주는 옥외 전주 혹은 특 고압 라인 여부가 필수적으로 고려되어야 할 필요가 있으므로 부지 매입 시부터 현장 준공까지 설계자도 반드시 참여 하는 제도적 보안이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 신 재생에너지 RD&D 전략 2030 시리즈9 - 태양광, 에너지관리공단 신. 재생에너지센터
- [2] 이현화 편저, 저탄소 녹색 성장을 위한 태양광 발전, 도서출판 기다리
- [3] 임행균, 김일동 공저, 전력시스템기술(상), 도서출판 의제
- [4] (주)하예성엔지니어링 설계 자료