

태양광 발전설비 검사 기술

정중욱, 김선구
한국전기안전공사

Inspection Techniques for Photovoltaic Equipments

Jong-Wook Jung, Sun-Gu Kim
KESCO

Abstract - This paper describes the inspection techniques for photovoltaic equipments. Firstly failure case studies on solar cells were presented, and then their FMEA was carried out. Lastly several core techniques as well as the contents by the inspection items on photovoltaic equipments were also expatiated.

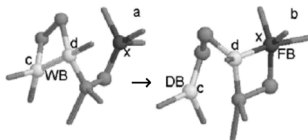
1. 서 론

산업혁명 이후 인류의 무분별한 에너지 자원 개발로 석탄, 석유, 가스 와 같은 화석연료들이 빠른 속도로 고갈되어 감에 따라 현재 에너지 위 기관리의 중요성이 대두되고 있다. 이같은 분위기에서 2005년 교토의 정서가 발효됨에 따라 환경에 대한 일반인의 인식도 날로 새로워지고 있으며, 최근 정부의 강력한 지원·육성책에 힘입어 태양광 발전이 녹색 에너지의 유력한 대안으로 부상하여 전국적으로 보급되고 있는 추세이다. 태양광 발전설비는 20년 이상의 장수명을 보장하고 있고 여타의 전 기설비에 비해 환경친화적이라고는 하지만 이 역시 전기안전이라는 문 제와는 별개임을 반드시 인지하여야 한다. 또한, 우리나라의 경우 그 역 사가 짧고 질적이라기보다는 양적 성장을 이루어 왔던 바, 보다 안전하 고 안정적인 운영을 보장하기 위해서는 선진 제국의 사례와 같이 공고 한 기술·제도적 기반이 마련되어야 할 것이다[1]. 따라서, 본 논문에서 는 태양광 발전설비에 대한 기술적 안전성을 보장하는데 필수적인 핵심 검사기술 몇가지를 짚어보고자 한다.

2. 태양광 발전설비 검사 기술

2.1 태양광 발전설비 검사의 중요성

태양광은 신·재생에너지를 대표할만한 이상적인 자원으로서, 에너지원 이 무궁하고 청정하며 안전하다는 장점을 갖는 반면, 옥외에 설치되어 태양광선, 풍우 등과 같은 환경적 요인에 의해 경년열화가 촉진되기 쉽 다는 단점도 있다. 이중 단과장 태양광선(자외선)의 경우에는 노출 직 후부터 발전효율의 저하를 초래할 만큼 설비노화에 부정적인 영향을 미 친다고 알려져 있다[2]. 일례로써, 비정질의 태양광셀은 결정질에 비해 빛을 흡수율이 좋고 두께가 얇아 공정시간이 짧고 경제적으로 유리한데 반해 전하의 확산거리가 짧고 광노화 현상(Staebler-Wronski effect) 으로 인해 광변환 효율이 10% 미만이며, 설치 후 수일만에 15~20% 정도 효율이 감소하기 시작한다는 단점이 있다.

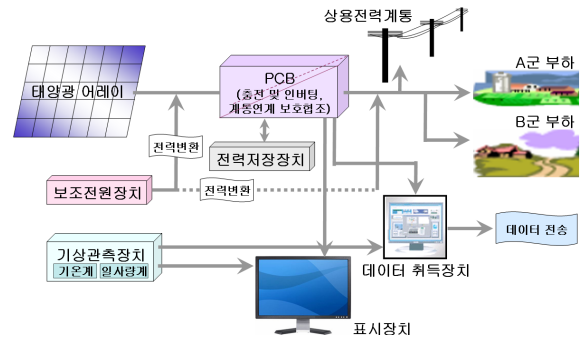


<그림 1> 수소결합 비정질 실리콘 결합의 파괴

비단 전술한 사례뿐만 아닐지라도 태양광 설비는 발전과 직접 관련되 는 모든 설비가 옥외에 시공되므로, 전기적으로는 매우 취약할 수밖에 없다. 따라서, 보다 확고한 안전 보장을 위해서는 설비에 대해 법적으로 규정된 최소한의 안전검사만이라도 철저히 이루어져야 한다. 신·재생 발 전설비에 대한 법정검사는 최소한의 안전성을 확인한다는 의미를 갖는 다. 다시 말해, 설계, 제작, 시공, 시운전, 정비 시 자주적 안전관리를 시 행함에 있어 최소한의 안전성을 법적으로 확인하도록 규정함으로써 양질 의 전력을 제공하는데 기여하는 것을 목적으로 한다. 법정검사는 사용전 검사와 정기검사로 구분되며, 현재 사용전검사만 시행되고 있다. 각각의 검사기준을 살펴보면 전자의 경우, 전기설비 설치 및 변경공사 내용으 인가나 신고를 한 공사계획 및 기술기준에 적합인지와 관계부처의 장관 이 정하는 검사절차 또는 전기설비 검사항목 등의 기준에 적합한지를 확 인하며, 후자의 경우는 첫 번째 사항을 제외한 나머지 항목을 확인한다.

2.1.1 태양광 발전설비 구성 및 기능

태양광 발전설비의 개략적 구성을 그림 2에 나타내었다[3].



<그림 2> 태양광 발전설비의 개략적 구성

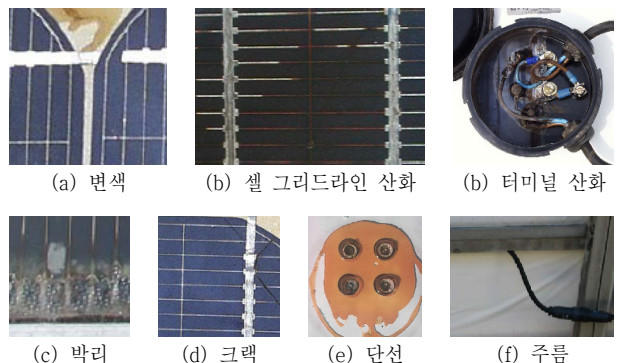
그림 2에 보인 바와 같이, 태양광 발전설비는 기본적으로 태양광을 전기로 생산하는 태양광 어레이, 태양광 어레이에서 생산된 직류를 교류로 변환시키는 인버팅회로, HMI를 위한 데이터 취득 및 표시장치, 그 밖의 부속장치 등으로 구성되어 있다.

2.1.2 태양광 발전설비의 고장

태양광 발전설비 중 모듈에서 발생하는 고장을 정리하여 표 1과 그림 3에 각각 나타내었다[4].

<표 1> 태양광 발전설비 고장별 원인과 영향

분류	대상	원 인	영 향	그림
변색	PVB/EVA	자외선	백변/황변, 발전량 감소	2(a)
산화	셀 그리드라인/터미널	모듈 끝 수분 침투	전기저항 증가/단선	2(b)
박리	인캡슐란트(Enc.)	Enc.와 타모듈부 간 접착력 감소	적층 상 공극 야기, 발전량 감소, 절연에는 영향 무	2(c)
크랙	셀	충격, 열화 등	발전량 감소	2(d)
단선	접속합	방수/접속불량	과열 단선	2(e)
주름	테들라	경년열화	테들라와 메탈포일 간 수분 침투	2(f)



<그림 3> 태양광 발전설비 고장별 증상

2.2 태양광 발전설비 검사 기술

본 절에서는 태양광 발전설비에 대한 검사항목과 주요 핵심기술을 정리하여 설명하였다. 우선, 국내 태양광 발전설비의 계통연계에 있어, 분산전원 배전계통연계 기술기준을 표 2에 나타내었다.

〈표 2〉 태양광 발전설비의 계통연계(분산전원 배전계통연계 기술기준)

연계구분	연 계 용 량	공급방식
저압 배전선로	일반 20kW 이하	1 ∅ 220V,
	전용 100kW 미만	3 ∅ 380V
특고압 배전선로	일반 3,000kW 이하	3 ∅ 22.9kV
	전용 10,000kW 이하 단, 10,001kW~20,000kW 대용량 방식 가능	
송전선로	10,000kW 초과	3 ∅ 154kV

그 밖에도 전압변동 기준의 경우, 저압 배전선로는 상시 3%, 순시 4% 이하, 특고압 배전선로는 상시, 순시 모두 2% 이하로 규정되어 있으며, 플리커의 경우에는 단시간(10분)은 0.35 이하, 장시간(2시간)은 0.25 이하로 규정되어 있다.

표 3에 태양광 발전설비에 대한 검사항목별 세부 내용을 나타내었다.

〈표 3〉 전기사업용 태양광 발전설비 검사항목별 내용(검사업무처리지침)

검 사 항 목	세 부 검 사 내 용
태양광셀	셀전압-전류특성 등 4개 항목
전력변환장치 검사 (보호장치·축전지 포함)	인버터 동작특성시험 등 16개 항목
변압기 검사 (보호장치·제어·경보장치·부대설비 포함)	변압기 특성시험, 제어·경보장치 검사 등 25개 항목
차단기 검사 (보호장치·제어·경보장치·부대설비 포함)	차단기와 단로기 간 인터록, 충전시험 등 24개 항목
전선로(모선설비) 검사 (부대설비 포함)	전선로 절연내력시험, 상표시 상태 등 11개 항목
접지설비 검사 (접지선 규격·접지망)	배전반-어레이 접지저항 측정 등 3개 항목
부하시험 검사	정격출력 운전시험 (30분 이상)
종합 연동시험 검사	

※준비자료 : 공사계획인가서, 단선결선도, 시험성적서(공장시험성적서, 현장시험성적서(접지, 절연저항 등), 보호계전기 정정값 및 특성시험성적서), 접지설계도, 시퀀스도(ac, dc)

태양광 발전설비에 대한 검사항목 및 이에 따른 세부적인 기술은 각 국가별로 달리 규정되어 있지만, 궁극적인 목적은 전기안전을 지향하고 있으므로, 본 절에서는 접지를 중심으로 한 각 설비의 핵심기술에 대해 NEC를 기준으로 부연한다[5].

2.2.1 접지 및 본딩

태양광 모듈은 장기간 상당량의 에너지를 발전하지만 전압이 비교적 낮을 것이라는 인식이 일반적인 관계로 설비에 대한 인체 접촉이 다른 전력설비에 비해 상대적으로 자유로운 편이다. 따라서, 태양광 발전설비의 올바른 접지는 매우 중요하며, 작업 전 과정에 걸쳐 규정을 준수하여 모든 노출금속 표면을 제대로 접지해야만 보호수준을 높일 수 있다. 6kW 미만의 주택용 태양광 발전설비의 모든 설비는 ac, dc 모두, 모듈과 주택용 부하중심의 접지부스바를 접속하는 단일 접지선으로 접지되어야 한다. 즉, 모듈 프레임, 태양광 어레이 장착랙, dc 단로기, 인버터 및 모든 ac 단로기는 ac 부하중심까지 배선된 단일 접지선으로 모두 접지되어야 한다. 모든 검사자는 태양광 설비 인버터에 접속된 설비접지선이 ac 부하중심 접지모선에 바르게 접속되었는지와 ac 부하중심이 접지에 제대로 접속되었는지를 우선적으로 확인해야 한다. 이 작업이 제대로 이루어지지 않았을 경우, 태양광 어레이나 설비에서 발생한 지락으로 인해 태양광 설비의 비접지된 노출금속 표면에 수백V에 이르는 전압을 야기할 수 있다. 지금까지도 일부 설비는 dc나 ac 접지극에 접속된 dc 접지극을 설치하고 있을 것이지만, 태양광 설비 보급이 증가하고 UL 기준과 코드 개발현황에 따라 태양광 설비의 접지 역시 보다 강화될 필요가 있다. 태양광 모듈의 뒷면 관찰 시에도 모듈 제작사에서 제공한 하드웨어와 지침서에서 지시한대로 제대로 접지되었는지 세밀히 확인해야 한다[6]. 올바른 접지를 통해 지락사고 검증도 쉬워진다.

2.2.2 설비에 대한 ac 접속점

접지 접속을 확인하기 위해 주택용 ac 부하중심을 개방하고 있는 동안, 역류 ac 차단기의 끊어 주의해야 한다. 이 값은 허가신청서에 기록된 것과 일치해야 하며, 부하중심 정격의 20% 이하이어야 한다. 이는 NEC 690.64에 준해 주차단기와 부하중심이 동일한 정격을 갖는 것으로 가정한다. 이 조건에 따라 100A 부하중심의 경우 최대 20A까지, 200A의 패널의 경우 최대 40A까지의 역류 차단기로 제한하고 있다. 이 값을 넘는 차단기는 단로기 제작자가 정한 바에 따라 설비를 접속해

야 한다[6].

2.2.3 인버터

현장 설비의 접속상태를 확인하려면 인버터를 개방해야 한다. 120V의 출력을 갖는 인버터는 선로(line), 접지된 중성선 및 부하중심과 인버터 간의 설비접지선을 갖추어야 한다. 미국 이외의 국가에서 제작한 인버터는 “보호접지”를 나타내기 위해 접지단자를 PE라고 표시하는 경우도 있다. 통상의 인버터들이 선로1, 선로2, 중성선 및 설비접지선을 갖는 반면, 일부 240V 인버터는 선로1, 선로2 및 접지된 중성선이 없는 설비접지선만을 갖추고 있다. 허가요청서와 함께 제출된 인버터 매뉴얼을 참고하여 접속상태를 검사하면 도움이 된다. 중성점에 접속할 필요가 없는 인버터는, 특히 설비 접지단자 같은 것에 접속된 중성선을 지니고 있으면 안된다. 왜냐하면 이같은 접속이 NEC Section 250.6과 250.24(A)(5)에서 금지하고 있는 대지와 중성선 간의 접속을 유발할 수 있기 때문이다. 인버터로 연결되는 dc 입력접속은 외부 dc 단로기나 태양광 어레이에 접속되는 1개 이상의 dc 접지선뿐만 아니라 (+), (-) 선을 1쌍 이상 포함할 수도 있다.

2.2.4 ac 및 dc 단로기

모든 단로기도 올바르게 접지되어야 한다. 시스템 내 ac 부하중심에서 태양광 모듈까지의 후비에 설치된 접지선을 쫓아 확인하는 것은 누전 가능성 있는 노출금속 표면이 바르게 접지되었음을 보장하는 것이므로 매우 중요하다. 시트금속나사를 사용하여 접지하는 것은 250.8, 110.3(3), 250.96(A) 및 250.4(A)(5)에 의해 금지되어 있으며, 테크나사와 알루미늄 리그는 되도록 사용하지 않는 것이 좋다. 대부분의 단로기와 차단기 엔클로저는 접지바를 내장하고 있다. dc 태양광 단로기 엔클로저를 열고 전선의 색상코드를 확인해야 한다. 대부분의 태양광 시스템은 백색의 (-) 접지를 사용하고 있으며, 단로기에 의해 개폐되거나 용단되지 않아야 한다. (+) 접지된 채 시공되어 있는 태양광 설비는 거의 없으며, 실사 그렇다 해도 (+) 전선은 백색을 사용하고 개폐되어서는 안된다. NEC-2005의 섹션690.35에서는 비접지 시스템의 사용을 승인하고 있다. 인버터나 시스템은 적절한 색상규정이 쉽게 결정될 수 있도록 접지 유형((-) 접지, (+) 접지 또는 비접지)을 분명히 표시해야 한다. 비접지 전선에 대한 특정한 색상규정은 아직 없으며, 회백색, 녹색/흑색은 인접되는 녹색/황색은 사용되어 않는다. 비접지 전선만이 개폐될지라도 양쪽 회로전선(+)와 (-)은 단로기 엔클로저를 통해 배선되어야 한다. dc 단로기의 경우, 태양광 어레이에서 인출된 환선은 스위치 상에 뚜껑으로 덮힌 위쪽 “선로” 측에 접속되어야 한다. 반면 아래쪽의 노출된 “부하” 단자는 인버터에 접속되어야 한다. ac 단로기의 위쪽 “선로” 측 단자는 역류되는 ac 부하중심으로부터 인출된 전력선에, 아래쪽 “부하” 측 단자는 인버터에 접속되어야 한다.

2.2.5 기술 및 지붕

대부분의 태양광 설비와 기술은 일반적으로 표면 장착되어 노출된 단로기와 배선/전선관으로 되어 있을 것이다. 시공자는 태양광 어레이를 쉽게 검사할 수 있도록 검사 당일 현장에 사다리를 준비하면 좋다. 지붕 위의 태양광 어레이를 훑어봄으로써 노출된 배선이 태양광 모듈이나 장착구조물에 확실히 부착되어 있는지를 확인해야만 흔들려 발생하는 물리적 손상을 예방할 수 있다. 태양광 모듈의 뒤쪽으로는 각 모듈들이 제대로 접지되었는지를 확인한다. 단일 전선 케이블은 노출될 경우 장착랙이나 금속 지붕에 닿게 되므로, 이들 역시 접지되어야 한다. 모듈간 상호접속을 위한 전선은 규격, 절연형태 및 온도정격과 관련하여 허가신청서에서 규정한 대로 사용해야 한다. 태양광선에 폭로된 전선관의 온도는 주위보다 매우 높으므로, 과전류장치를 비롯한 모든 태양광 장비에 대해 세심한 주의를 기울여야 한다.

3. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전설비에 대한 검사 기술에 대해 고찰하였다. 올바른 검사 기술의 적용만이 최근 양적으로 폭증하고 있는 태양광 설비의 질적 안전성을 보장할 것이며, 궁극적으로 설비의 수명 연장에도 기여할 것으로 사료되므로, 검사기술에 대한 지속적인 연구개발이 기대되는 바이다.

감사의 글

본 연구는 2008년 하반기 전력산업연구개발사업으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ingrid Weiss 외, European Best Practice Report, PV Policy Group, May 2006
- [2] Rana Biswas, “Sunproofing” Solar Cells, INSIDER, April 2003
- [3] 정세하, “태양광 발전시설의 설계 및 설치”
- [4] Antonella Realini, Mean Time Before Failure of Photovoltaic modules, Final report BBW 99.0579, Federal Office for Education and Science BBW, June 2003
- [5] John Wiles, The 15-minute PV System Inspection, Can You? Should You?, IAEI NEWS, May/June 2006, pp.85-90, May 2006
- [6] Perspectives on PV, IAEI News, September/October 2004