

태양광 접속함의 트래킹에 의한 전기화재 위험성 연구

박광목, 방선배, 김동욱, 이기연, 김재현, 박진영
전기안전연구원

A study on the Electrical Fire Hazard by the Tracking of Solar Connection box

Kwang-Muk Park, Sun-Bae Bang, Dong-Ook Kim, Ki-Yeon Lee, Jae-Hyun Kim, Jin-Yeong Park
Korea Safety Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 태양광 발전설비 보급에 따라 증가하고 있는 태양광 접속함의 화재 사례를 분석하고 착화제현실실험을 통하여 전기화재 위험성을 분석하였다. 진압 및 진류에 따른 태양광 접속함의 온도 변화 특성을 분석하였으며, 특히 태양광 접속함의 트래킹에 의한 착화실험과정 통하여 전기적 특이점을 분석하고 트래킹에 의한 전기화재 예방대책을 제시하였다.

실시하였다.

1. 서 론

최근 국제사회에서는 지구 온난화 등의 기후변화에 대한 대책의 일환으로 유엔기후변화협약 및 교토의정서를 채택해 왔으며, 이를 통해 온실가스 배출을 줄이는 등의 노력을 기울이고 있다. 우리나라도 세계 10위권 안의 이산화탄소 배출국으로써 이를 심각하게 여기고 있으며 신·재생에너지를 이용한 설비 보급을 서두르기 시작했다. 정부는 2020년까지 신·재생에너지주택 100만호 보급을 목표로 ‘그린홈 100만호 보급사업’을 추진 중이다. 그러나 신·재생에너지 설비가 증가함에 따라 관련설비의 화재사고 또한 증가하고 있는 추세이며, 태양광 에너지를 이용한 주택용 발전설비가 설치된 주택에서 2010년 이후 전국적으로 50여건 이상의 화재가 보고되고 있다. [1]

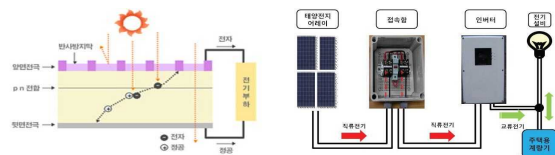
본 논문에서는 최근 발생하는 태양광 접속함 화재 사례를 고찰하고 과전류, 과전압, 트래킹 등 제현실실험을 통하여 전기화재 위험성을 분석하였으며, 이에 따른 예방대책을 제시하고자 한다.

2. 태양광 접속함의 사고 원인 분석

2.1 태양광 발전시스템의 원리 및 접속함의 특징

태양광발전은 태양으로부터의 빛에너지를 전기에너지로 바꾸어주는 발전방식이다. 태양광발전의 핵심은 일반적으로 PN접합 구조를 가진 태양전지로서 외부로부터 광자가 태양전지의 내부로 흡수되면 광자 지닌 에너지에 의해 태양전지 내부에서 전자와 정공의 쌍이 생성된다. 생성된 전자-정공 쌍은 pn접합에서 발생한 전기장에 의해 전자는 n형, 정공은 p형 반도체로 이동해서 각각의 표면에 있는 전극에서 수집된다. 각각의 전극에서 수집된 전하는 외부 회로에 부하가 연결된 경우, 부하에 흐르는 전류로서 부하를 동작시키는 에너지의 원천이 된다. [2]

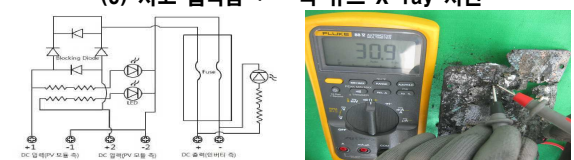
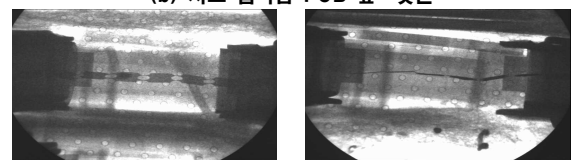
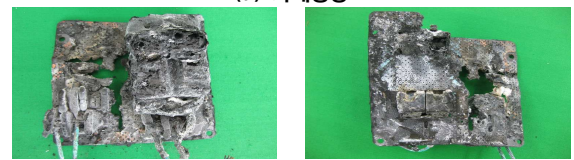
태양광 발전시스템은 일반적으로 태양전지모듈, 지지대, 접속함, 인버터로 구성된다. 태양광 접속함의 주요기능은 태양전지 어레이에서 고장이 발생할 경우 고장 범위를 최소로 축소시켜 사고를 방지할 수 있으며, 고장점을 찾기 쉽도록 하는 것이 가장 큰 특징이다. 또한 어레이의 병렬군을 접속하여 어레이별 케이블을 인버터까지 연결해 주는 기능과 보수·점검 시에 회로를 분리하여 점검 작업을 용이하게 하는 기능도 포함하고 있다. [3]



2.2 태양광 접속함 전기화재 사고 원인 분석

태양광 접속함 및 연결된 케이블이 소손된 화재로 벽면 그늘림 패턴과 외형분석, 비파괴검사 등의 정밀분석 결과 접속함 내부 PCB 표면에 트래킹에 의한 화재로 추정된 사례이다.

화재현장의 벽면 그늘림 패턴과 소손상태로 최초 발화 위치는 하단 케이블 접속부 또는 태양광 접속함내로 추정되며 원인분석을 위하여 외형 및 X-ray 분석과 태양광 접속함의 회로 분석, 전기적 특성 분석을



<그림 2> 태양광 접속함 화재 원인분석

2.2.1 외형 및 X-ray 분석

소손된 태양광 접속함 좌상단의 브리지다이오드 방열판이 녹아서 좌하단 PV 모듈 측 접속단자 (-1)로 흘러내린 생체가 확인되며 소손이 심한 부위는 퓨즈홀더 +축 접속부, 브리지다이오드 접속부와 그 하단 부위이다. 접속단자 (+1, -1, +, -)와 케이블은 표면이 탄화되었지만 용융 흔은 발견되지 않는다. 소손 태양광 접속함의 접속단자 (+2, 2) 부위는 소실되고 없다.

단락 또는 과부하에 의한 화재 발생 가능성을 확인하기 위해 소손된 태양광 접속함의 퓨즈 용단여부를 비파괴 분석방법인 X-ray 투시방법으로 분석하였다. 분석 결과 퓨즈는 용단되지 않은 것으로 판별되었다. 따라서, 인버터 측 접속단자 (+, -)나 이와 연결된 케이블에서 단락 또는 과부하가 발생하여 화재가 진행되었을 가능성은 낮다.

2.2.2 태양광 접속함 회로 분석 및 전기적 특성 분석

정상 태양광 접속함 PCB를 바탕으로 접속함 내부 회로도도를 추정하였다. 태양광 접속함 회로의 입·출력 단자는 PV 모듈 측 DC 입력 단자 2쌍(+1, -1, +2, -2)과 인버터 측 DC 출력단자 1쌍(+, -)으로 구성되어 있다. (+1, -1)단자는 PV 모듈로 연결되고, (+, -) 단자는 인버터로 연결되며 (+2, -2) 단자는 사용하지 않았다. 태양광 접속함의 DC 전류는 +1 단자에서 역전류방지 다이오드와 퓨즈를 경유하여 인버터로 흐르는 것으로 확인되었다.

접속단자와 케이블의 접촉 불량에 의한 화재 발생 가능성을 확인하기 위해 접속단자와 이와 연결된 케이블 사이의 저항을 측정된 결과 PV 측 접속단자(+1, -1)와 인버터 측 접속단자 (+, -)의 접촉저항은 0.2Ω ~ 0.3Ω으로 측정되었다. 따라서 접속단자 접촉 불량으로 화재가 발생한

가능성은 낮다.

트래킹에 의한 화재인지를 확인하기 위하여 소손된 태양광 접속함 접속단자 사이, 접속단자 주위 절연물 표면, 역전류방지 다이오드와 퓨즈 홀더단자 사이 등의 저항을 측정할 결과 퓨즈홀더 1차 측 단자 간 저항이 43Ω으로 측정되었다. 이에 따라 퓨즈홀더 1차 측 부위 절연물 사이의 저항을 측정할 결과 30.9Ω으로 측정되었다. 따라서 화재 발생 1차 원인으로 퓨즈홀더 1차 측 트래킹이 추정된다.

2.2.3 종합분석결과

정상 태양광 접속함 PCB 앞면을 보면 입·출력 단자 사이에 격벽이 있고, PCB의 뒷면을 보면 입·출력 단자 사이에 홈이 존재하여 트래킹 발생 가능성이 낮은 구조이다. 그러나 퓨즈홀더 1차 측 단자 사이에는 격벽이나 홈이 없어 트래킹에 취약한 구조이다. 따라서 입·출력 단자보다는 퓨즈홀더 1차측 PCB 표면에서 트래킹 발생 가능성이 높을 것으로 추정된다.

3. 재현실험을 통한 위험성 분석

3.1 실험구성

DC전원, 태양광 접속함, 저항부하로 실험을 구성하였으며 열화상카메라 및 캠코더를 이용해서 접속함의 온도변화와 트래킹에 의한 착화과정을 살펴보고, 실험마다 동일 사양의 다른 접속함으로 교체하며 실험을 실시하였다.



〈그림 3〉 재현실험 시스템 구성도

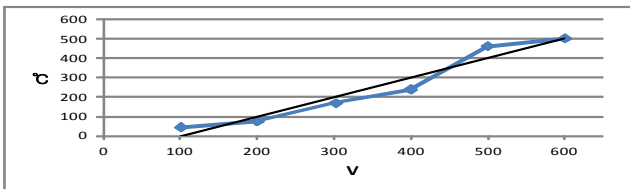
3.2 인가전압에 따른 접속함 온도특성 분석

실험에 사용한 접속함 저항의 정격사양은 200kΩ, 1w로 최대 약 DC 480V의 입력전압으로 설계되었으며, 실험 전 측정했을 때 수치는 201kΩ이었다. 실험에서는 DC 100V~600V의 전압을 인가하였으며 접속함의 온도변화를 열화상 카메라로 촬영하였다. 사양에 따른 최대전압수치의 계산은 아래 수식에 따른 것이다.

$$P = dW/dt = dQV / dt = dQ/dt * V = I * V = V^2/R$$

전압 외의 변수가 없도록 하기 위해 전압을 올릴 때마다 저항부하를 직렬로 추가함으로써 전류 값의 변화가 최대한 없도록 하였다. 실험구성은 DC전원+접속함+저항부하를 연결하였으며 온도변화는 1분 단위로 확인하였다. 실험결과 저항소자가 전압증가에 따라 발열이 가장 높았으며 500℃까지 온도가 상승되었고, 600V 전압인가 시에 다른 냄새와 함께 흰 연기가 관찰되었다. 저항의 수치는 측정결과 190.2kΩ으로 떨어진 것이 확인되었다.

전압(V)	101	200	302	400	500	600
온도(℃)	45	76	170	240	463	503



〈그림 4〉 인가전압에 따른 저항의 온도특성



〈그림 5〉 저항수치의 변화

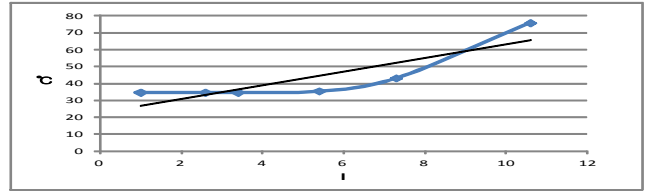
3.3 전류에 의한 접속함 온도특성 분석

전압은 DC140V로 고정하였으며 저항부하를 병렬로 추가하면서 전류를 상승시켰고, 전류변화는 퓨즈의 정격전류 이하로 한정하였다. 온도변

화는 1분 단위로 확인하였다.

실험결과 방열판과 함께 장착된 다이오드 소자에서 전류증가에 따라 발열이 가장 높았으며 15.1A에서 120℃까지 온도가 상승되었다.

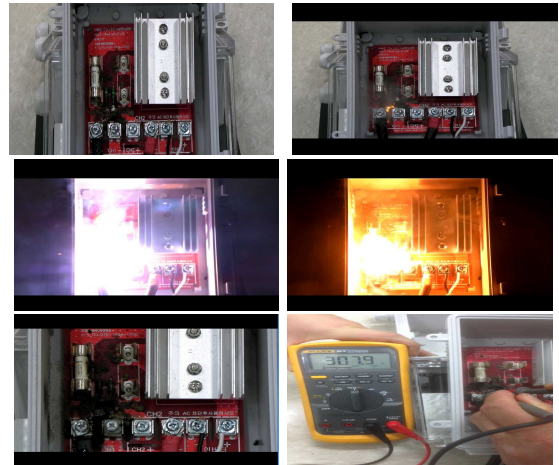
전류(A)	1	2.6	3.4	5.4	7.3	10.6	15.1
온도(℃)	34.6	34.6	34.6	35.4	43	75.6	120



〈그림 6〉 전류변화에 따른 다이오드 온도특성

3.4 트래킹에 의한 화재 위험성 분석

태양광 발전설비의 화재발생 지역을 살펴보면 해안가 근처 지역이 많음을 알 수 있으며, 기타 지역에서도 습도가 높은 흐린 날씨에 화재발생이 많이 일어났음을 알 수 있다. 이에 착안하여 접속함에 PCB 표면에 먼지를 덮고 DC200V 전원을 공급하며 소금물을 분무하면서 트래킹에 의한 착화 재현 실험을 실시하였다. 그 결과 실험 초기 PCB 표면에서 미소방전이 일어나기 시작했고, LED가 터졌으며, 입력단자 CH1+, CH-의 상부에서 도전로가 형성되면서 아크와 함께 착화가 일어났다. 실험 후 트래킹으로 형성된 탄화도전로의 저항은 307.9Ω으로 측정되었다.



〈그림 7〉 접속함 착화 재현 실험

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 접속함의 화재사태를 고찰하고 정밀감정을 실시하였다. 또한 전압 및 전류에 의한 접속함 소자의 발열에 따른 온도변화 측정과 트래킹에 의한 화재 재현 실험을 통해 전기적 특이점에 의한 발화 위험성을 분석하였다.

전압 상승 시 태양광 접속함 저항소자의 발열이 상당히 높게 나타났다. 만약 일조량의 증가로 발전되는 전압이 인버터의 입력전압범위를 초과하였을 때 저항소자에서 발화 가능성이 높을 것으로 추정되며, 회로 설계 시 전압에 따른 저항의 정격사용에 주의가 기울여야 할 것으로 보인다. 트래킹에 의한 화재 위험성 재현 실험 결과로 불 때 전기설비 주위는 트래킹을 발생시킬 수 있는 분진 및 습기가 없도록 유지관리가 필요하다. 연구개발 측면에서는 분진, 고습도, 급격한 온도 변화 등의 가혹 조건에서도 트래킹을 방지할 수 있는 연구를 통해 표준 및 인증시스템을 개발함과 동시에 트래킹 발생 경로에서 요철 및 홈 등을 구성하여 트래킹 발생 가능성을 줄인 제품을 개발하고 현장에 적용함으로써 트래킹 사고에 의한 전기 화재를 방지할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최원근, 이정성, 김성준, 이우중, 이상민, 허정필, 정영석, "태양광발전설비의 화재특성에 관한 연구", p. 1, 2014. 9
- [2] 이순형, "태양광발전시스템의 계획과 설계", p40, 2012. 12
- [3] 이순형, "태양광발전시스템의 계획과 설계", p101, 2012. 12