



주택화재시 지붕위에 설치된 태양광 시스템의 위험성에 관한 연구

권성필 · 한용택 · 임우섭 · 김대희* · 김진선**
한국소방산업기술원, (주)다인산전*, 유한대학**

A Study on the Risks of Solar Photovoltaic Systems Installed on the Rooftop in a Domestic Fire

Kwon, Seong-Pil · Han, Yong-Taek · Lim, Woo-sup · Kim, Dae-Hee* · Kim, Jinsun**
KFI, Dain Power Co., Ltd.*, Yuhan College**

요 약

본 연구에서는 최근 신재생에너지원으로서 가장 널리 사용되고 있는 태양광 시스템에 대하여 화재발생시 야기될 수 있는 위험성뿐만 아니라 화재진압 과정에서 발생할 수 있는 문제들을 다루었다. 특히 주택의 지붕위에 설치된 실리콘이 주성분인 태양광 패널은 화재가 발생할 경우 생성되는 열을 차단 및 반사하여 건물 내에 축적시킴으로써 화재강도를 직접적으로 증가시킬 수 있으므로 설치 시 이러한 위험성에 대비할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 또한 PV 시스템에 연결된 고압 전력선에 물을 뿌릴 경우 소방대원들의 감전으로 인한 부상이나 사망으로 이어질 수 있으므로, 이를 방지하기 위한 대책마련이 시급한 것으로 나타났다. 해외에서는 현재 전력전자 소자가 내장되어 있는 DC 차단스위치 및 모듈이 판매되고 있는 것으로 조사되었다.

Key word : 태양광 시스템(solar photovoltaic systems); 직류 차단 스위치(DC disconnect switch); 전력선(power cable); 인버터(inverter)

1. 서 론

최근 환경오염의 폐해에 대한 우려와 급격한 유가상승으로 인해 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지에 대한 관심이 날로 고조되고 있는 실정이다. 그 가운데서도 태양광은 가장 중요한 에너지원으로 인식되고 있으며, 태양광을 이용하여 전기를 생산하는 태양광 시스템(solar photovoltaic systems)은 이미 오래 전부터 개발되어 산업용으로뿐만 아니라 가정용으로도 널리 설치·사용되고 있다. 그리고 세계적으로 태양광 시스템의 설치가 점차

증가함에 따라 소방관은 PV(photovoltaics)가 설치된 건물의 화재에 직면할 기회가 늘어나고 있다. 그런 경우에 만일 소방관이 PV 케이블에 흐르는 고압 전류를 우려해서 불을 끄려 하지 않는다면, 건물주의 입장에서는 매우 난감한 일일 것이다. PV 설비는 태양광이 비출 때면 언제나 작동하므로, 차단기가 열려 있어도 전압 및 전류로 인한 사고의 위험이 있다. PV가 설치된 건물에 화재가 발생하면 작동하는 시스템이 소방관에게 위험하다는 사실은 화재진압을 보다 어렵게 만든다. 소방관은 인버터에 연결된 DC 전선에 물을 뿌리거나 사고로 그런 전선을 만질 위험이 있다. 녹아서 지면에 떨어진 케이블이 물에 덮여 반대 전극과 연결되어 전기회로가 닫히면, 소방관은 잠재적으로 감전의 위험에 노출되게 된다. 그리고 전압이 120 V 이상이면 무엇이든 생명을 위협할 수 있다. 하나로는 불가능할지라도, 몇 개의 모듈이 연속으로 연결되면 위험한 전압이 발생할 수 있으며, 점점 더 강력한 모듈이 선호되고 있어서 고압은 발생할 수 있다. 실제로 2010년 2월에 독일 Schwerin에 있는 한 단독주택에서 화재가 발생했는데, 그 집 지붕 위에는 PV가 설치되어 있었다. 거기 출동한 소방대는 의도적으로 화재진압에 소극적이었는데, 그 이유는 고압선 위에 물을 뿌리면 소방관이 감전으로 인해 부상당하거나 심지어는 사망에 이를 수 있다고 판단했기 때문이다. 세계적으로 PV 설치가 점차 증가하고 있는 추세에서 이 사건은 화재진압에 투입되는 소방대원의 안전문제에 대해 관심을 갖게 만드는 중요한 계기가 되었다. 그래서 해외에서는 이미 다양한 화재안전 제품들이 출시되어 있으며, 더욱이 그 성능을 개선하기 위해 지속적인 개발이 이루어지고 있다. 하지만 국내에서는 아직까지도 태양광 시스템이 설치된 건물에서 화재발생 시 PV의 위험성이나 화재진압 과정에서 발생할 수 있는 사고에 대해 논의된 바가 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 위험성에 대해 보다 많은 관심을 유도하기 위하여 기초적인 고찰이 이루어졌다.

2. 지붕 위에 설치된 PV의 위험성

일반 주택에서 화재가 발생할 경우 그 지붕의 재료와 구조는 화재가 발전하는데 크게 영향을 미칠 것이다. 특히 지붕위에 태양광 시스템이 설치되어 있을 경우, 실리콘을 주성분으로 하는 PV는 화재로 인해 생성된 연소열을 지붕 위로 빠져나가지 못 하도록 차단 및 반사시켜 건물 안에 축적함으로써, 화재강도가 급격히 증가될 것으로 보인다. 그러므로 태양광 시스템을 설치할 때는 기본적으로 이러한 위험에 대비할 수 있는 구조로 PV를 설치해야 할 것이다. 또한 태양광 시스템에 연결된 고압전력선 위에 물을 뿌릴 경우 소방대원들의 감전으로 인한 부상이나 사망으로 이어질 수 있으므로, 이를 방지할 수 있는 대책 마련이 시급할 것으로 보인다. 낮은 전압(AC \leq 1,000 V, DC \leq 1,500 V)에서 치명적인 사고를 일으키는 원인은 전압 자체가 아니라 심장을 통과하여 흐르는 전류이다. 심장은 보통 1.1~1.3[Hz]로 박동(약 70회/분)하는데, 일정크기 이상의 전류가 흐르게 되면 심장장애가 교란 또는 파괴되어 불규칙적인 박동(약 200~500회/분)을 보이다가, 그대로 방치할 경우 스스로 회복하지 못하고 수분내로 운동을 정지하게 된다. 따라서 감전사망사고로 이어지는 이러한 심실세동(ventricular fibrillation)에 대해서는 심장마사지 등의 응급조치를 시행해야 한다. 인체에 전류가 흐르면, 전류의 크기(전류×시간)에 따라 전격을 느끼게

되고, 심실세동의 한계 이하에서도 이미 무의식적 근육수축이 일어난다([표 1] 참조). DC는 AC보다 4~5배 정도 덜 위험하며, 전류가 손에서 발로 흐르면 2배 정도 덜 위험하다. 즉, 통전경로에 따라서도 그 위험성이 달라진다([표 2], [표 3] 참조). 그러므로 DC에서는 위험한 사고가 훨씬 덜 일어나며, 치명적인 사고는 매우 이례적인 경우라 할 수 있다.

표 1. 전류의 크기에 따른 감전의 영향

전류	감전의 영향
1 mA	전기를 느낄 수 있음
5 mA	상당한 고통을 느낌
10 mA	견디기 어려운 고통
20 mA	자의로 행동 불가능
50 mA	상당히 위험한 상태
100 mA	치명적인 결과 초래

표 2. 통전경로별 위험도(Kh: Kill of Heart)

순위	통전경로	Kh
1	왼손 → 가슴	1.5
2	오른손 → 가슴	1.3
3	왼손 → 한발 또는 양발	1.0
4	양손 → 양발	1.0
5	오른손 → 한발 또는 양발	0.8
6	왼손 → 등	0.7
7	한손 또는 양손 → 앉은 자리	0.7
8	왼손 → 오른손	0.4
9	오른손 → 등	0.3

표 3. 연속 전류에 의한 위험성 한계(IEC 60479-1, 발에서 왼손으로 흐르는 전류)

AC	DC	잠재위험
< 0.5 mA	< 2 mA	인식은 가능하나 반응이 없음
0.5 - 5 mA	2 - 25 mA	잡고 놓을 때 근육수축이 가능
5 - 35 mA	25 -150 mA	강한 무의식적 근육수축이 가능
> 35 mA	> 150 mA	전류 증가에 따라 심실세동이 가능 DC가 손에서 발로 향하면 이 값의 약 2배가 가능

3. 태양광 시스템의 전류 차단 스위치

PV 패널에서 생성된 DC는 인버터를 통해 각종 기기에서 사용될 수 있도록 AC로 전환된다. 태양광 시스템에는 일반적으로 인버터 입구 근방에 DC 차단 스위치가 있고, 입구 연결부에 바로 입력 콘덴서가 있다. 인버터와 유틸리티 사이에는 AC 차단 스위치가 설치되어 있다. PV 패널 가까이에 소방용 스위치를 설치함으로써 화재진압 시 감전사고의 위험성을 줄일 수 있다([그림 1] 참조).

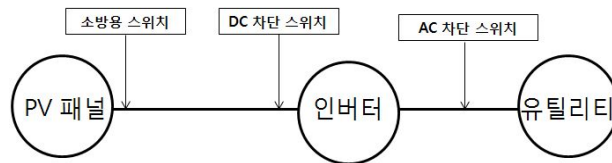


그림 1. 태양광 시스템의 개념도 및 차단용 스위치

4. 결 론

10 kW 이하의 소규모 PV가 설치된 가정집에서는 적합한 복장과 보호용 장구를 갖춘 소방대원이란, 특별한 조치 없이도 전기감전의 위험이 거의 없다. 저전압에 대한 안전기준에 따른 최소거리(분무제트는 1 m, 완전제트는 5 m)만 지키면, 물로 소화하는 것이 가능하다. 물론 갑작스런 유리 파손이나 천장에서 미끄러져 떨어지는 PV 모듈 같은 비전기적 위험도 고려되어야 한다. 만일 수년 혹은 수십년 후에 화재사고가 났을 때, 화재로 인해 발생한 열 속에서, 그로 인한 보호 장비 자체의 손상에도 불구하고, 사용된 기술이 계획대로 작동한다면, 전기적 또는 기계적 솔루션을 통해 원리적으로는 소방관들의 안전을 증진시킬 수 있을 것이다. 이렇게 장기간 신뢰할 수 있는냐는 문제는 모듈에 들어있는 전기적 솔루션에 대해 특히 중요할 수 있다. 하지만 기계적 솔루션으로도 열에 의해 손상된 소방용 스위치가 모든 전선을 안전하게 차단할 수 있을지, 또는 사고로 생긴 연결이 계속 유지될지에 대해 보장할 수 없다. 우선 AC 전선이 들어가는 연결박스과 같은 곳에 적절히 표시를 해서 주의하면 위험을 훨씬 줄일 수 있을 것이다. 남아있는 위험성을 최소화하기 위해 위험을 줄일 수 있는 모든 수단을 동원해야 한다. 인버터 근처에서 DC 차단 스위치를 직접 열 수 있게 하고, 가능하면 소방용 스위치를 사용할 수 있게 한다. 하지만 다이오드가 사용된 경우 DC 스위치를 차단하고 난 후, 회로 모듈에 대한 전기적 또는 기계적 스위치를 사용해야 한다. 만일 DC를 차단할 수 없고 소방용 스위치만 차단될 수 있거나 입력 다이오드가 없으면, 특히 대형 단상 인버터에서는 입력 콘덴서에서 전압이 충분히 낮아질 수 있도록 4~5분간 기다려야 한다. 침수된 방에 있는 인버터는 특히 낮은 아직 작동하고 있을 수 있는 PV의 DC 전선에 의한 위험성이 있다. 클램프나 손상된 반도체와 같은 벗겨진 금속 부분에서는 물이 전기분해 될 수 있다. 그래서 산수소 가스가 생성되어 국부적으로 물의 전도성이 증가된다. 그럴 경우에는 모듈에서 가까운 소방용 스위치를 이용한 차단이 매우 유용할 것이다. 침수지역 밖에서 AC 측과 DC 측이 차단되지 않았다면, 침수지역에는 들어가지 말고 인버터나 전압이 축적된 클램프에는 충분한 거리를 유지해야 한다.

참고문헌

1. Heinrich Haeblerlin, Luciano Borgna and Philipp Schaerf (2011), "PV and Fire Brigade Safety: No Panic, but Realistic Assessment of Danger and Possible Countermeasures", 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg.
2. Andreas Beneking, Michael D. Matz (2011), "Extinguishing Safety Risks", *Photon International*, The Solar Power Magazine.
3. 대한안전협회, "전기의 위험성과 감전", 안전교육 SHEET, <http://www.safety.or.kr>