

## 태양광 발전 시스템의 화재 위험 감소 방안에 관한 이론적 연구

### Study on Theoretical Research to Reduce Fire Risk of Solar Power System

박경진<sup>1</sup>, 이근출<sup>2</sup>, 이봉우<sup>3\*</sup>

Kyong-Jin Park<sup>1</sup>, Guen-Cull Lee<sup>2</sup>, Bong-Woo Lee<sup>3\*</sup>

#### 〈Abstract〉

This study is based on the principle of solar power system and fire breakout. The result of the survey indicates that a solar power system is vulnerable to fire due to lack of maintenance after the installation. Currently the national fire safety agency does not have standards and legal provisions for the installation and maintenance of solar power facilities. Therefore, it increases the risk of fire breakouts as well as possibility of electric shock for the firefighters during fire fighting. This results possible damages to the human and equipments. In this study is proposing an automatic fire extinguishing system to reduce the power generation of solar panels during fire breakouts. Also, propose an over load current alarm system and fire prevention measures for fire fighters. The results of this study will be used as basic data for further fire testing of solar power systems.

*Keywords : Renewable energy, Solar power collector, Solar power system, overcurrent warning system, NFPA 13D code*

---

1 주저자, 인제대학교 재난관리학과 이학박사,  
E-mail: parkkyongjin14@hanmail.net

2 동아대학교 기업재난관리학과

3\* 교신저자, 서울디지털대학교 소방방재학과 교수,  
E-mail: silicones@sdu.ac.kr

1 Dept. of Disaster & Management, Inje University

2 Dept. of Corporate Disaster Management Dong-A University

3\* Dept. of Fire & Disaster Prevention Engineering, Seoul  
Digital University

## 1. 서론

석탄, 석유 등의 화석연료는 인류의 에너지 공급원으로 오랫동안 이용되어 왔다. 그러나 급속한 산업화로 인한 무분별한 화석연료의 남용은 지구 온난화 현상을 가속하는 주요 원인이 되고 있다[1]. 지구 온난화 현상은 태풍, 국지성 집중호우, 이상 저온 및 고온 현상 등의 재해의 빈도를 증가시켰을 뿐만 아니라 과거에는 경험하지 못한 2차, 3차의 복합재난으로 이어져 재해의 규모를 거대화시켰다[2-3]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 전 세계적으로 신재생에너지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[4-5].

정부에서는 신재생에너지 기본 계획에 의거 2035년까지 신재생에너지의 보급률을 11%로 목표하고 있다[6]. 이러한 신재생 에너지 중 태양광을 이용한 설비는 사용의 편리성으로 인해 최근 많이 보급되고 있다. 에너지 공급의 무한성과 청정성, 정부의 보조금 지원 사업으로 농어촌뿐 아니라 도심지에서도 많이 활용되고 있다. 또한 소모하고 남은 에너지는 국가기관에서 매입 하는 등 정부의 적극적 지원 사업으로 그 수요가 급격히 증가하고 있다[7].

하지만 최근 태양광 발전 시스템에 대한 화재가 급증하고 있음에도 화재 원인 규명, 예방, 대응에 필요한 연구가 이루어지지 않아 화재에 무방비로 노출되어 있는 실정이다. 더욱이 이러한 태양광 발전 시스템의 화재는 에너지 공급 중단으로 인한 막대한 경제적 손실을 유발하고 있다.

이에 본 연구에서는 태양광 발전 시스템의 원리 및 각종 화재사례를 분석하였다. 이를 바탕으로 점차 수요가 증가하고 있는 태양광 발전 시스템의 화재 예방 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 태양광 발전 시스템

#### 2.1.1 태양광 발전 시스템의 구성

태양광 발전 시스템은 태양광을 집광하여 전류를 생성시키는 태양광 집광판, 생성된 직류 전류(DC)를 교류전류(AC)로 변환하는 인버터(inverter), 전류를 저장하는 축전지(battery), 시스템의 고장 및 이상 등을 진단하는 모니터링 시스템으로 구성되어 있다.[8](Fig. 1)

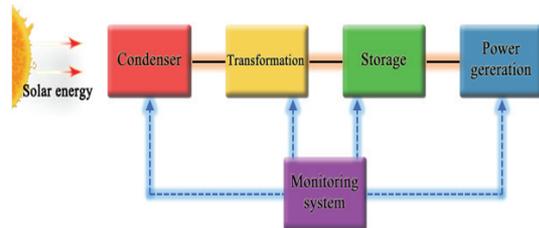


Fig. 1 Solar power system

#### 2.1.2 태양광 집광판

태양광 집광판의 최소 단위는 빛의 흡수를 위한 최소 단위인 셀(cell), 전압 및 전류 공급의 최소 단위인 모듈(module), 모듈을 직렬로 연결하여 고전압 공급을 위한 어레이(array), 어레이를 병렬로 연결하여 고전류 공급을 위한 시스템(system)으로 구분된다. 태양광 집광판의 소재는 실리콘계는 단결정계, 다결정계, 비정질계 구분되며 화합물계는 CIS, CdTe, GaAs, Inp 등으로 구분된다. 실리콘계 중 단결정계가 전력 변환 효율이 다른 소재에 비해 15% 이상 높아 시장의 90% 이상을 차지하고 있다.[9](Fig. 2)

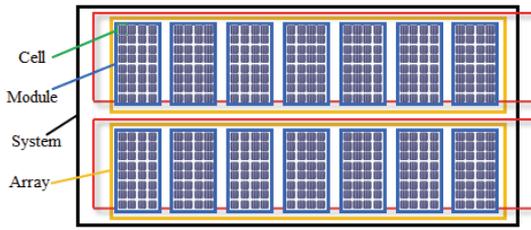


Fig. 2 Solar power collector

### 2.1.3 태양광 발전의 원리

태양광 발전 시스템은 태양으로부터 수열된 빛에너지를 광전효과에 의해 전기로 변환하는 설비이다. 성질이 다른 N(negative)형 반도체와 P(positive)형 반도체로 구성된 태양광 집광판에 입사된 빛에너지에 의해 반도체 내에서 정공(hole)(+)과 전자(electron)(-)가 발생한다[10]. 이때 전자(-)는 N형 반도체 방향으로 정공(+)은 P형 반도체 방향으로 이동하고 이때 발생한 전위차에 의해 전류 및 전압이 생성된다.(Fig. 3)

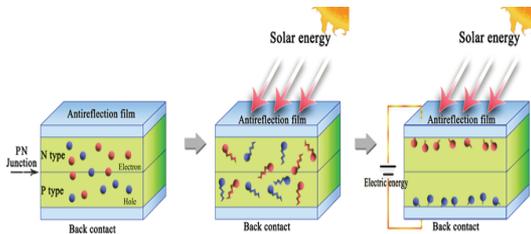


Fig. 3 Electricity generation principle of solar power system

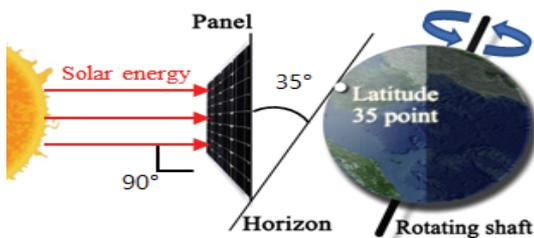


Fig. 4 Angle of solar collector

태양에서 집광판으로 수광되는 에너지는 태양광 발전 시스템 설치 지점의 위도에 영향을 받는다. Fig. 4와 같이 집광판 설치지점과 태양광의 입사각이 90°인 지점에서 가장 많은 에너지를 받을 수 있다[11].

또한 여름철이나 정오의 강한 태양광, 화염은 집광판 내부의 원자나 분자를 저에너지 준위에서 고에너지 준위로 강하게 전위(電位)시켜 많은 전류를 생성한다.(Fig. 5)

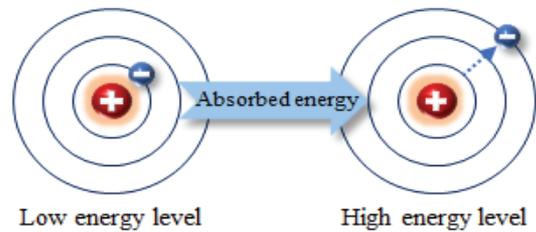


Fig. 5 Principle of current generation

### 2.2 화재 진압의 문제점

태양광 집광판은 화재 및 물리적 이상 현상 발생 시 셀 단위만 정상 작동하여도 지속해서 전류 및 전압을 생성한다. 특히 화재 진화를 위한 주수 시 물의 높은 전기 전도도로 인해 집광판과 인체 간에 감전 경로가 형성된다. 식 1과 같이 태양광 집광판에서 생성된 전류가 소방대원의 인체에 흐르는 전류  $I_S$ 는 태양광 발전기 전압  $V_{PV}$ 를 저항  $R_G$ (태양광 발전기 저항),  $R_H$ (보호 장갑 저항),  $R_W$ (관창 및 호스 저항),  $R_B$ (인체 저항( $\geq 800\Omega$ )),  $R_S$ (보호 장화 저항)의 합으로 나눈 값이다[12].

$$I_S = \frac{V_{PV}}{R_G + R_H + R_W + R_B + R_S} \quad (1)$$

국내의 경우 태양광 발전 시스템 화재 진압 중 소방대원의 감전 사례는 보고되지 않았다. 그러나 일본의 경우 화재 진압을 위한 방수 혹은 잔화 정리를 위해 태양광 집광판의 해체 작업 중 감전된 사례가 수차례 보고되고 있다. 인체는 Table 1에 서와 같이 수 mA의 작은 전류에 의해 영향을 받으며 IEC 60479-1 규정에 의한 연속 전류에 의한 인체의 위험 한계는 다음과 같다[13].

Table 1. Risk limits for human body by the continuous current

AC	DC	Potential Risk
< 0.5 mA	< 2 mA	Recognition possible, but no response
0.5 - 5 mA	2 - 25 mA	Muscle contraction possible when holding and releasing
5 - 35 mA	25 - 150 mA	Strong unconscious muscle contraction possible
> 35 mA	> 150 mA	Ventricular fibrillation possible

### 3. 화재 사례 분석 및 실태조사

현행 화재 예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률에는 태양광 발전 시스템 설치와 관련된 법적 기준이 없다. 이는 연소 시 생산된 전류에 의해 소방대원의 감전 및 연소 확대 가능성이 매우 높음을 고려할 때 심각한 문제이다. Table 2 는 국가화재 정보시스템을 통하여 분석한 태양광 발전 시스템의 최근 5년간 화재 현황을 나타내었다[14]. 분석 결과 2014년 44건, 2015년 63건, 2016년 71건, 2017년 79건, 2018년 81건으로 매년 화재 발생 빈도가 증가하고 있다. 정부의 신재생에너지 보급 확대 정책으로 태양광 발전 시스템의 수요는 급격히 증가할 것으로 예상되며 인명 및 재산피해 또한 증가할 것이다.

Table 2. Solar power system fire statistics for the last 5 years

Division	Number	Death	Injury	Property Damage (thousands won)
2014	44	0	2	153,007
2015	63	0	0	178,214
2016	71	0	1	222,755
2017	79	0	1	171,408
2018	81	0	0	533,773

### 3.1 화재 사례 분석

2018년 3월 26일 22시경 \*\*시 \*\*면에서 태양광 발전 시스템 인버터에서 화재가 발생하였다.(Fig. 6) 소방대 도착 당시 인버터에서 발생한 화염은 태양광 집광판을 통해 인접 건물 지붕으로 연소 확대되었다.(Fig. 7) 집광판은 화재 시 단 1개의 셀만 존재하여도 전류를 생산한다. 생산된 전류는 화염에 에너지를 공급 연소를 가속화 시킨다. 현행법은 태양광 발전 시스템 설치와 관련 자동 소화 시스템의 설치 기준이 없다. 이러한 법령의 불비는 태양광 발전 시스템에서 발생한 화염의 연소 확대 요인으로 작용한다.



Fig. 6 Combustioned solar collector



Fig. 7 Combustioned near by house

### 3.2 현장 실태조사

2018년 12월 01일~12월 30일의 기간 태양광 발전 시스템을 사용하는 72가구를 현장 조사하였다. 현장 조사 결과 소화기 및 경보설비를 설치한 가구 18곳, 소화기구만 비치한 가구 23곳, 소방시설이 전혀 없는 가구 31곳으로 조사되었다. 자동 소화 설비 및 태양광 에너지의 발전을 차단할 수 있는 시설을 갖춘 가구는 전혀 없었으며 방화시설 또한 확인할 수 없었다. 그리고 태양광 집광판 설치 지역에서의 위도와 동일한 각도로 집광판을 설치 한 가구 61곳 그렇지 않은 가구 11곳으로 조사되었다.(Fig. 8) 또한 태양광 집광판의 전기적 사고 원인인 주변 새집 및 잔존물을 정기적으로 청소하는 가구 32곳 그렇지 않은 가구 39곳으로 조사되었다.(Fig. 9)



Fig. 8 Solar collector installation



Fig. 9 Bird's house inside solar power collector

### 4. 고찰 및 결론

최근 귀농 인구의 증가로 도심지 외곽의 전원 주택이 증가하고 있다. 전원주택의 증가와 더불어 유지비용이 저렴하고 친환경적인 태양광을 에너지 원으로 사용하는 가구가 급증하고 있다. 상용전원의 공급이 차단된 상황에서도 지속해서 전력을 공급받을 수 있고 정부에서 각 가정의 여유 에너지를 고가에 매입하는 정책으로 태양광 발전 시스템을 사용하는 가구는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 그러나 일선 지자체에서는 태양광 에너지를 사용하는 가구의 통계조차 파악하지 못하는 실정이며 화재에 대비한 법령 등의 제도적 장치는 마련되어 있지 않다.

이에 본 연구에서는 이론적 연구, 화재사례, 실태조사 결과를 바탕으로 태양광 발전시스템의 화재 위험 감소를 위해 다음과 같이 제안한다.

첫째 태양광 집광판은 작은 빛에너지지만으로도 전류를 생성한다. 기존의 학문적 연구 결과인 전압, 전류 차단 장치는 태양광 집광판에서의 전압, 전류의 생성을 근본적으로 차단하지 못한다. 이는 결국 전압, 전류 차단 장치는 화재 진압과 관련된 소방 활동에는 그 효용성이 없음을 증명한다. 이러한 문제점의 개선을 위해 태양광 집광판 직근에, 인가된 정격전류 이상이 흐를 경우 경보하는 과전류 경보시스템 및 차광 시스템과 같은 발전 억제 장치의 설치가 시급한 실정이다.

둘째 화재 시 태양광 발전 시스템에서 생산되는 고전류에 의한 연소 확대 방지 및 인접 건물 화재의 화염에 의해 태양광 집광판에서 생산되는 고전류에 의한 화재 예방을 위해 NFPA 13D code(Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One and Two Family Dwellings and Manufactured Homes)를 기초로 한 자동소화시스템의 설치는 필연적이다.

셋째 태양광 발전시스템의 화재 진압의 경우 소방대원의 집광판 철거를 위한 작업 시 집광판 표면 유리의 비산에 의한 위험과 파괴 도구에 의한 감전으로 추락의 사고에 대비하여야 한다. 또한 방수 작업 시 분무 주수로 물줄기에 의한 전로(電路) 형성 방지 및 절연 장갑의 착용으로 감전에 의한 사고 방지에 충분한 주의를 기울여야 한다.

### 참고문헌

- [1] Jai Ho Oh, "Prospect of Natural Disaster in Korea with Global Warming," *Crisisonomy*, Vol. 3, No. 2, pp. 82-94, 2007.
- [2] 남기훈, "베이지안 네트워크를 이용한 복합재난위험성 평가에 관한 연구," 박사학위논문, 인제대학교 일반대학원, 2013.
- [3] Nam Ki Hun, "The Risk Management Policy Suggestions for Effective Compound Disaster Management," *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 4, pp. 105-112, 2017.
- [4] Young Jong Park, "Study on the Development Strategies of Korean-type Renewable Energy for the Environment," *New & Renewable Energy*, Vol. 11, No. 4, pp. 19-30, 2015.
- [5] Hong Tak Lim, Sin Kim, "The Socio-technical Constituency behind New & Renewable Energy Technology Development in a Latecomer: The Case study of New & Renewable Technology Program of Korea," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 267-277, 2011.
- [6] Seul Ye Lim, So Yeon Park, Seung Hoon Yoo, "The Economic Effects of the New and Renewable Energies Sector," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 23, No. 4, pp. 31-40, 2014.
- [7] Jang Hyang In, Seong Yoon Bok, Cho Young Hum, Kim Yong Shik, Jo Jae Hun, "An Analysis of Problems and the Current Status of Renewable Energy System in Buildings," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 5, pp. 75-82, 2012.
- [8] Yang-Mi Lee, Hyoun-Su Kim, Young-Kyu Kang, Chul-Hwan Kim, "Electrical Fire Prevention System of Photovoltaic Power System Junction Box," *Proceedings of KIIEE Annual Conference*, Vol. 2016, No. 5, pp. 1092, 2016.
- [9] 최원근, 이정섭, 김성준, 이우중, 이상민, 허정필, 정영석, "태양광 발전설비 화재특성에 관한 연구," *부산소방본부*, pp. 2-4, 2015.
- [10] 박재경, 한동엽, 박경순, "사무소 건물 태양열 집열판 최적 설치각 분석," *대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집*, 제2017권, 제6호, pp. 1114-1117, 2017.
- [11] 박광묵, 방선배, 김동욱, 이기연, 김재현, 박진영, "태양광 접속함의 트래킹에 의한 전기화재 위험성 연구," *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, 제2015권, 제7호, pp. 15-17, 2015.
- [12] Jin sun Kim, Seong Pil Kwon, "Study on the Risk of Electric Shock from the Sprayed Water for Fire Suppression of the PV Installed Building," *Korean Institute of Fire Science and Engineering*, Vol. 28, No. 6, pp. 47-51, 2014.
- [13] 권성필, 한용택, 임우섭, 김대희, 김진선, "주택화재시 지붕위에 설치된 태양광 시스템의 위험성에 관한 연구," *한국화재소방학회 학술대회 논문집*, 제2012권, 제5호, pp. 464-467, 2012.
- [14] Korea National Fire Agency, National Fire Data System. [Online] Available from: <http://www.nfds.go.kr/>, [Accessed: 12th February 2020].