

## 태양전지셀의 본질안전 방폭성능 평가

(The Intrinsic Safety Evaluation of Solar Photovoltaic Cell)

이춘하\* · 지승욱 · 김시국

(Chun-Ha Lee · Seung-Wook Jee · Si-Kuk Kim)

### Abstract

Now the world will regulate the CO<sub>2</sub> emission due to environmental issues. For an alternative plan photovoltaic system is watched. So, photovoltaic system is trend of big city and it is mandatory for renovation of construction. Oil & gas filling station existed in city is suitable to found the photovoltaic system. But the general photovoltaic system in oil & gas filling station is difficult to found because it is classified into hazardous area.

This paper evaluates intrinsic safety evaluation of solar cell for making basic data to found for the photovoltaic system on hazardous area. The intrinsic safety characteristic is evaluated by short-circuit ignition test using IEC type spark ignition test apparatus and temperature rising test. The result of short-circuit ignition test, propane-air mixture gas is exploded on condition that 4 solar cells(9[V], 90[mA]) are connected serially under insolation 800[W/m<sup>2</sup>]. So, if a larger solar module will be used at oil & gas filling station than we were tested, it needs explosion proof. As the result of rising temperature test, the temperature rising due to short circuit is not so much, but when the temperature rises due to radiant heat, it demands careful consideration for environmental influence.

Key Words : Photovoltaic System, Solar Cell, Intrinsic Safety, IEC Type Spark Ignition Test Apparatus

### 1. 서 론

계절적, 시간적으로 큰 편차를 발생시키는 전력소비의 패턴으로 인해 발전설비는 기저발전설비와 예비발전설비로 나뉘어 운영되고 있다. 기저발전설비는 비용이 저렴한 원자력과 석탄을 주로 사용하고, 예비발

전설비는 고가의 원료인 가스와 석유 등을 사용한다. 전세계적으로 이산화탄소 배출량의 24[%]가 발전 산업에서 발생되고 있다. 우리나라 역시 현재 발전 체계는 화력 발전 비중이 높아 온실가스의 원인인 이산화탄소를 다량 배출하고 있다. 온실가스 배출 감소는 환경적 측면에서 교토의정서와 맞물려 필연적 과제가 되고 있다[1].

대안의 하나로 주목되고 있는 것이 태양광 발전이다. 하지만 낮은 효율로 인해 넓은 면적의 대지를 필요로 하기 때문에 도시 내에 설치하는데 어려움이 있

\* 주저자 : 호서대학교 소방방재학과 교수  
Tel : 041-540-5732, Fax : 041-540-5728  
E-mail : leecha@hoseo.ac.kr  
접수일자 : 2011년 4월 5일  
1차심사 : 2011년 4월 7일  
심사완료 : 2011년 5월 18일

다. 하지만 도시 내에서 태양전지 모듈을 이용한 발전을 하게 되면, 전력전송 구간을 줄임으로써 전송효율을 향상시킬 수 있다.

서울시의 경우 “서울특별시 친환경 건축 기준”을 통해 증축, 개보수를 포함한 신축 건축물은 신·재생에너지 시설 설치에 표준건축공사비의 일정비율 이상을 투자하도록 정하고 있다. 이에 도시 내에 많이 분포해 있는 주유소도 태양광 발전을 하기에 적합한 장소이다. 하지만 주유소는 위험지역으로 분류되기 때문에 태양전지모듈이 바로 설치될 경우 폭발이나 화재가 발생할 수 있다.[2-4].

이에 본 논문은 이러한 곳에 설치 가능한 태양광 발전설비를 개발하기 위한 예비연구로서 태양광전지의 본질안전 방폭성능을 평가하고자 수행되었다. 태양광전지의 기본 셀을 대상으로 단락방전실험을 수행하였고, 온도상승실험과 단락으로 인해 태양광전지 셀의 온도변화를 조사함으로써 사고 시 온도상승에 의한 자체 점화 가능성 여부를 확인하고자 하였다.

## 2. 폭발성 가스에 대한 방폭전기기의 대응등급

폭발성 가스에 대한 폭발등급은 가연성 기체의 위험도에 따라 표 1과 같이 분류된다[5-6].

표 1. 각 등급별 폭발성 가스의 예[5,6]  
Table 1. Example of explosive gas by stated group[5,6]

그룹	물질명
IIA	아세톤, 암모니아, 에탄올, 아닐린, 부탄, 프로판, 시크로헥산, 벤젠, 메탄올, 가솔린, 톨루엔, 부탄 등
IIB	아크릴로 니트린, 에틸렌, 에틸렌옥시드, 1,3 에폭시프로판, 디에틸에테르, 부타디엔시크로프로판, 코오크스로 가스 등
IIIC	수소, 아세틸렌, 질산에틸, 이황화탄소 등

## 3. 실험 장치 및 방법

### 3.1 태양전지 모듈의 단락점화실험

태양전지의 단락방전에 의한 폭발성가스의 점화실험은 KS C IEC 60079-11(“방폭 기기-제11부:본질 안전 방폭 구조 “I””)에 따라 수행되었다. 이에 따라 불꽃 발생횟수는 극성을 바꾸어 각각 400회로 하였으며, 표 2와 같이 본질안전방폭전기기를 시험할 때 기기등급에 따른 대표적인 불꽃점화 시험가스들을 대상으로 실험하였다.

표 2. 그룹별 시험 가스의 최소점화에너지[7,8]  
Table 2. The minimum ignition energy for test gas by stated group[7,8]

그룹	시험 가스	최소점화 에너지[mJ]
I	공기 중 8.3[%]의 메탄	0.28
IIA	공기 중 5.25[%]의 프로판	0.25
IIB	공기 중 7.8[%]의 에틸렌	0.083
IIIC	공기 중 22[%]의 수소	0.019

태양전지모듈은 9[V], 90[mA]의 결정질 실리콘 태양전지(Ss, SPM-6518)셀을 그림 1과 같이 조합하여 사용하였다. 태양전지셀 1개는 9[V]이고, 2개를 직렬 연결하면 18[V], 3개를 직렬로 연결하면 27[V]가 된다. 실험에서는 모두 15개까지 직렬 연결하여 135[V]까지 실험하였다. 한편 태양전지셀 6개에 대하여 3개씩 직렬 연결하면 27[V]의 태양전지모듈이 2개조 만들어진 다. 이 두 모듈을 서로 병렬로 연결하면 27[V]에 전류는 180[mA]인 태양전지 모듈이 된다. 이러한 조합을 27V-2조라고 표기하였다.

단락점화실험을 위한 태양전지모듈의 전압은 태양전지 셀을 직렬로 연결하여 얻을 수 있는 전압인 9, 18, 27, ..., 135[V]로 설정하였으며, 점화한계는 이들을 n-1 개조 병렬 연결했을 때 점화하지 않았고, n 개조 연결했을 때 점화되었다면, n 개조를 점화한계로 결정하였다.

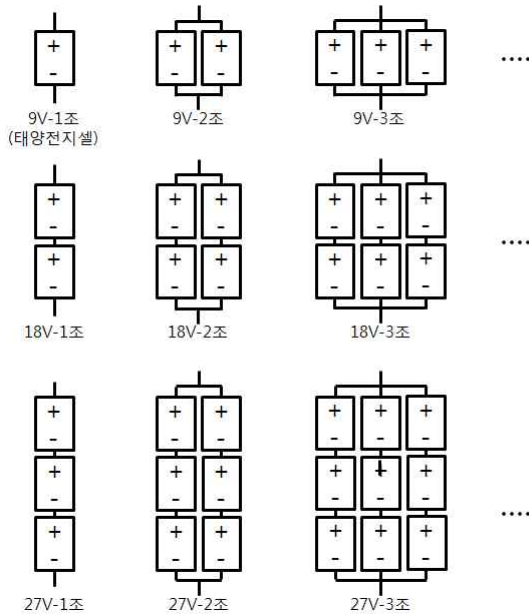


그림 1. 실험에 사용된 태양전지 모듈 구성 예  
Fig. 1. Connection example for solar module used in test

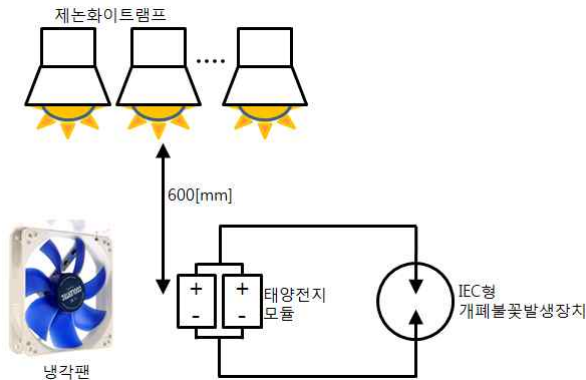


그림 2. 태양전지모듈의 단락점화실험을 위한 기기 배치도  
Fig. 2. Diagram for short-circuit ignition test of solar module

태양전지모듈의 표면으로부터 600[mm] 상부에 조광기와 연결된 다수의 광원(500[W] 제한화이트램프)을 설치하여 실험에 필요한 광량을 얻었다. 광량은 방사량계(Photo radiometer, Delta사, HD2102.2)와 RAD 프로브(Delta사, LP471RAD, 400~1050[nm])를 이용하여 KS C 8527에 따라 측정하였고, 태양전지 모듈 주변에 냉각팬을 설치하여 태양전지 모듈 주변의 온

도가 27±5[°C]가 유지되도록 하였으며, 습도는 30±5[%]였다.

### 3.2 태양전지 셀에 대한 단락전류 측정 및 온도상승실험

단락전류 측정은 주위온도 27±5[°C]에서 KS C 8528에 따라 수행되었다. 즉 그림 3과 같이 회로를 구성한 후 바이어스 전원을 단계적으로 변화시켜 전압값과 전류값을 기록하였다. 단락전류  $I_{SC}$ 는 전압, 전류값 중에서 전압값이 0에서 가장 가까운 부전압값( $V_1, I_1$ )과 정전압값( $V_2, I_2$ )에 대하여 식 (1)을 이용하여 구하였다[9].

$$I_{SC} = \frac{I_1 V_2 - I_2 V_1}{V_2 - V_1} \quad (1)$$

(단,  $V_1 < 0, V_2 \geq 0$ )

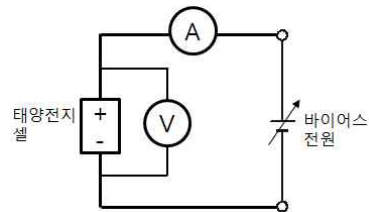


그림 3. 태양전지셀 단락전류 측정을 위한 실험회로도  
Fig. 3. Experimental circuit for short-circuit current measurement of solar cell

한편 태양전지 셀에 대하여 단락 시 온도상승으로 인한 자체점화 가능성 여부를 확인하고자 온도상승실험을 수행하였다. 온도는 태양전지 셀의 양 단자를 단락시킨 후 측정되었다. 또한 온도 측정을 위해 열화상 카메라(Fluke사, Ti25) 및 K타입 열전대와 데이터 취득장치(record & data acquisition equipment, mobile corder, Yokogawa MV100)가 사용되었다.

## 4. 실험결과

### 4.1 태양전지 모듈의 단락점화 실험 결과

단락점화실험은 우리나라의 지역별, 계절별 일사량

태양전지셀의 본질안전 방폭성능 평가

을 참고하여 일사량을 각각 1,000[W/m<sup>2</sup>], 800[W/m<sup>2</sup>], 600[W/m<sup>2</sup>], 400[W/m<sup>2</sup>]로 설정하여 수행하였다. 표 3은 각각의 일사량에 대하여 본질안전방폭전기기를 시험할 때 기기등급에 따른 대표적인 폭발성 가스들에 대한 단락점화시험결과를 보여준다.

1,000[W/m<sup>2</sup>]와 800[W/m<sup>2</sup>]의 결과를 비교해보면 프로판-공기 혼합가스에 대하여 18[V]에서 각각 4조와 6조, 메탄-공기 혼합가스에 대하여 각각 4조와 7조로 차이가 날뿐 나머지는 동일하다. 이것은 실험에 사용된 태양전지모듈이 광량이 800[W/m<sup>2</sup>]를 넘으면서 전기에너지로 변환할 수 있는 한계에 다다랐기 때문인 것으로 풀이된다. 한편 1,000[W/m<sup>2</sup>]를 기준으로 볼 때, 수소의 경우 18[V], 나머지 가스들의 경우 36[V]를 넘으면서 1개조로 폭발이 가능한 것으로 볼 수 있다.

실험에 사용된 표 2의 가스들에 대한 최소점화에너지는 수소-공기 혼합가스를 기준으로 에틸렌-공기 혼

합가스의 경우 4.4배 인데 비해, 프로판-공기 혼합가스의 경우 13.2배, 메탄-공기 혼합가스의 경우 14.7배로 수소-공기 혼합가스와 에틸렌-공기 혼합가스가 서로 근접해 있고, 프로판-공기 혼합가스와 메탄-공기 혼합가스가 서로 근접해 있다. 한편 실험에 사용된 태양전지 모듈에서 만들어지는 전압과 전류값이 이산적이고, 그 간격이 전압의 경우 9[V], 전류의 경우 90[mA]로 크다. 따라서 수소-공기 혼합가스와 에틸렌-공기 혼합가스의 결과가 서로 유사하고, 프로판-공기 혼합가스와 메탄-공기 혼합가스에 대한 점화한계가 서로 근접해 있다.

위험지역에 속하는 주유소나 가스충전소 주변에는 가솔린에 의한 유증기나 LPG 등 폭발성 가스들이 존재한다. 유증기와 LPG는 표 1로부터 IIA 지역에 속하는 것을 알 수 있다. 표 3을 보면 주유소나 가스충전소 주변에서 태양전지모듈을 이용하여 36[V] 90[mA] 이

표 3. 일사량별 폭발성 가스에 대한 태양전지 모듈의 최소점화한계  
Table 3. The minimum ignition limits of solar module for explosive gases by each insolation

일사량 [W/m <sup>2</sup> ]	폭발성가스	조															
		전압 [V]															
		9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	
1000	수소	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	에틸렌		3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	프로판		4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	메탄		4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
800	수소	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	에틸렌		3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	프로판		6	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	메탄		7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
600	수소		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	에틸렌		5	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	프로판			3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	메탄			3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
400	수소		4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	에틸렌		6	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	프로판			3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
	메탄			5	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	

상의 전기를 얻기 위해서는 태양전지모듈에 대한 방폭화가 필요한 것을 알 수 있다. 특히 KS C IEC 60079-11에서 권장하고 있는 안전율 1.5를 적용하면 위험지역에 설치되는 태양전지 설비는 방폭화가 반드시 필요하다고 생각한다.

실제로 2.5[Vol.%] 유증기를 IEC형 개폐불꽃발생장치에 주입하고 일사량 800[W/m<sup>2</sup>]의 단락전류에 의한 폭발실험을 수행한 결과 36[V]-1조에서 폭발이 발생하였다.

#### 4.2 태양전지 셀에 대한 단락전류 측정 및 온도상승실험 결과

태양전지 모듈을 구성했던 태양전지 셀에 대하여 단락전류 및 이에 따른 온도상승실험을 수행하였다.

표 4는 태양전지 셀 5개를 대상으로 식 (1)을 이용하여 구한 단락전류값 및 이를 구하기 위해 측정된 부전압값(V<sub>1</sub>, I<sub>1</sub>)과 정전압값(V<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>)을 보여준다. 단락전류값은 평균 0.164[A]로 측정되었다.

표 4. 태양전지 셀의 단락전류값(800W/m<sup>2</sup>)  
Table 4. Short-circuit current value of solar cell(800W/m<sup>2</sup>)

부전압값		정전압값		단락전류값 I <sub>sc</sub> [A]
V1[V]	I1[A]	V2[V]	I2[A]	
-0.082	0.160	0.081	0.160	0.160
-0.082	0.164	0.083	0.163	0.164
-0.084	0.165	0.083	0.163	0.164
-0.083	0.164	0.084	0.167	0.165
-0.085	0.165	0.082	0.167	0.167

그림 5는 태양전지 셀의 양 단자를 단락시킨 후 20분후에 측정된 열화상을 보여준다.

태양전지 셀 표면의 모든 곳에서 고르게 열이 분포하는 것을 볼 수 있다. 이를 토대로 표 5는 태양전지 셀의 앞면과 뒷면에 각각 열전쌍을 설치하고 실험시작 20분 후부터 3분간 측정된 온도를 보여준다. 단락이 태양전지 셀의 온도 증가에 미치는 영향을 알아보기 위해 태양전지 셀의 두 단자를 단락시킨 경우와 개

방시킨 경우에 대하여 각각 5회씩 측정하여 최대, 최소 및 평균값을 나타내었다.

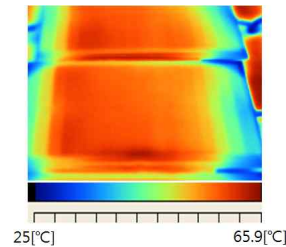


그림 5. 태양전지 셀 표면에 대한 열화상  
Fig. 5. Thermal image of the surface of the solar cell

표 5. 태양전지 셀의 표면온도(°C, 800W/m<sup>2</sup>)  
Table 5. Surface temperature of solar cell(°C, 800W/m<sup>2</sup>)

일사량 [W/m <sup>2</sup> ]	단락전류 [A]	단자상태 표면온도	단락			개방		
			최소	평균	최대	최소	평균	최대
400	0.083	앞	37.5	40.3	44.0	34.4	39.1	42.7
		뒤	30.9	33.7	36.2	30.6	33.0	35.4
600	0.125	앞	41.3	44.6	51.0	36.5	42.2	47.9
		뒤	34.2	37.0	34.2	33.4	35.9	38.9
800	0.176	앞	47.3	54.4	68.2	47.4	54.3	66.1
		뒤	45.3	50.7	55.8	39.7	49.8	53.2

온도상승 실험이 진행되는 동안 주변온도는 27±5 [°C]였다. 태양전지 셀 표면의 온도는 앞면이 뒷면보다 약 5.8[°C] 정도 높게 나타났다. 앞면은 인조태양광에 의한 복사열 때문에 뒷면보다 높게 나타난 것으로 생각된다.

태양전지 셀은 적외선 영역의 입사광으로 인해 발열이 발생된다. 또한 셀의 두 단자를 단락시키게 되면 셀 내부에 위치한 금속리본에 전류가 흐르면서 추가적인 발열이 발생된다[10].

하지만 태양전지 셀의 두 단자를 단락시킨 경우와 개방시킨 경우에 온도차는 발생되지 않았다. 이것은 실험에 사용된 태양전지 셀의 단락전류가 작아서 셀의 온도를 높일 정도의 발열은 발생되지 않았기 때문이다.

즉 태양전지 셀의 온도 증가는 햇빛흡수에 의한 발

열이 대부분이고, 단락으로 인한 발열은 무시해도 될 것으로 생각된다. 따라서 태양전지 모듈을 위험지역에 설치할 때 단락보다는 주변 여건에 따른 온도상승을 고려해야 될 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

본 논문은 태양전지 셀을 대상으로 본질안전방폭성능을 실험적으로 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 본질안전방폭전기기를 시험할 때 기기 등급에 따른 대표적인 시험가스들을 대상으로 400, 600, 800, 1,000[W/m<sup>2</sup>]의 일사량에 대하여 IEC형 개폐불꽃시험장치를 이용하여 단락 방전에 의한 점화가능성을 실험하였다. 일사량이 많을수록, 시험가스의 등급이 높을수록 적은 수의 태양전지 셀로도 점화가 일어났다. 특히 일사량 800[W/m<sup>2</sup>]에서 36V-1조의 태양전지 모듈은 유증기와 같은 등급인 프로판-공기 혼합가스를 점화시켰다.

둘째, 태양전지 셀의 단락전류를 측정된 결과 0.164[A]로 측정되었다.

셋째, 태양전지 셀에 대하여 온도 상승실험을 수행하였다. 태양전지 셀의 양단자를 개방시킨 경우와 단락시킨 경우에 대하여 측정된 온도값에 차이가 없었고, 가연성 가스를 점화시킬 정도의 온도 상승도 없었다. 태양전지 셀의 온도 증가는 햇빛흡수에 의한 발열이 대부분이고, 단락으로 인한 발열은 매우 적기 때문이다. 따라서 태양전지 모듈을 위험지역에 설치할 때, 주변상황에 적합한 통풍을 활용함으로써 태양전지 셀의 발열로 인한 점화가능성은 억제할 수 있을 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 논문은 2010년도 호서대학교 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0116).

## References

- [1] 김지산, 김성인, “스마트 그리드”, 키움증권 산업분석자료, 2009.
- [2] 서울특별시 환경정책과, “서울특별시 친환경 건축 기준”, 2007.
- [3] 노동부고시, “사업장방폭구조전기기계, 기구, 배선등의 선정, 설치 및 보수등에 관한 기준”, 제1993-19호, 1993.
- [4] API RECOMMENDED PRACTICE 500, “Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2”, SECOND EDITION, 1997.
- [5] 이춘하 외, “방폭시험평가 방안에 관한 연구(1)”, 한국기계연구소 연구보고서 UCN 19901328-D, 과학기술처, 1990.
- [6] 정국삼, “산업안전공학개론”, 동화기술교역, pp.79-170, 1987.
- [7] KS C IEC 60079-11, “방폭 기기-제11부:본질 안전 방폭 구조 “i””, 2007.
- [8] E. C. Magison : “Electrical Instruments in Hazardous Locations, Third Edition”, Instrument Society of America, pp. 37-116, 1990.
- [9] KS C 8528, “결정계 태양 전지셀 출력 측정방법”, 2005.
- [10] 박지홍, “결정질 태양전지의 I-V 특성과 연결방법에 따른 PV 모듈의 출력예측 및 해석”, 박사학위논문, 건국대학교, 2009.

## ◇ 저자소개 ◇



### 이춘하(李春夏)

1953년 10월 20일생. 1979년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(박사). 1985~1994년 한국기계연구원 실장. 2005~2006년 미국 Worcester 공과대학 객원교수. 2006~2008년 전국대학 소방학과 교수협의회 회장. 현재 한국화재소방학회 회장. 방폭기술연구회 회장. 호서대 소방방재학과 교수.



### 지승욱(池昇昱)

1971년 12월 27일생. 1995년 영남대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 졸업(박사). 현재 호서대학교 소방방재학과 출강.



### 김시국(金時國)

1981년 3월 24일생. 2007년 호서대 소방학과 졸업. 2007년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정. 소방전기 및 화재조사 연구실 실장.