

태양전지 모듈의 DC 아크사고 감지회로에 관한 연구

정민상, 곽동걸, 이봉섭, 최정규*
 강원대학교, *쌍용양회(주)

A Study on DC Arc Accident Detection Circuit of Solar Cell Module

Min-Sang Jung, Dong-Kurl Kwak, Bong-Sub Lee, Jung-Kyu Choi*
 Kangwon National University, *SsangYong Cement Industrial Co.

ABSTRACT

Due to environmental problems, fossil fuel and nuclear power generation are declining and solar power generation is increasing. DC arc of a solar power plant is accidents caused by accidents, causing damage to property and people. This study prevents DC arc accidents of solar power modules. It is expected that the IoT will be used to quickly alert the manager and greatly contribute to fire prevention.

아래 표 1은 국가화재정보센터 2016~2019 태양광발전기 화재통계를 나타내고 있다.^[2] 1차 에너지 공급구성비로 보았을 때 태양광 설비의 화재 건수가 적다고 할 수 없을 것이며, 해가 지날수록 화재 건수 및 화재 건당 재산피해가 증가함에 따라 더 큰 문제로 제기되고 있다.

또한 태양광발전소의 화재가 미치는 영향은 재산피해와 더불어 전력공급 불가의 이중의 문제를 일으켜 전력수요에 영향을 줄 수 있다.

1. 서 론

화석연료를 사용한 전기에너지의 생산은 신기후협정 이후 한계를 드러내고 있다. 화석연료 사용에 따른 미세먼지 등 환경문제와 원자력발전의 안전성 문제로 신재생에너지의 중요도 또한 높아지고 있다.

신재생 에너지원 중 태양광 발전은 시공이 비교적 간편하고, 유지관리가 쉬운 장점이 있으며, 신재생에너지에 대한 국가정책의 확대에 점차 증가하는 추세이다.

신재생에너지 설비가 증가 추세지만 그림 1의 에너지경제연구원 에너지통계월보 1차 에너지 공급구성비와 같이 화석연료 및 원자력보다 매우 낮은 비율로 공급됨을 알 수 있다. 하지만 신재생에너지의 공급비율은 점차적으로 증가하고 있는 추세이다.^[1]

표 1 국가화재정보센터 2016-2019 태양광발전기 화재통계
 Table 1 NFDS 2016 ~ 2019 photovoltaic generator fire statistics

발생연도	화재건수	재산피해 (천원)	재산피해 /건당(천원)
2013년	19	13,015	685
2014년	44	153,007	3,477
2015년	63	178,214	2,829
2016년	79	222,755	2,820
2017년	45	171,408	3,809
2018년	80	527,668	6,596
19년 01월~ 19년 05월	21	76,418	3,639

이에 본 논문에서는 태양광발전설비에서 발생하는 모듈의 DC 아크를 감지하고, 이를 관리자에게 바로 인지 할 수 있는 시스템의 알고리즘을 제시하여 직류 아크에 의한 태양광 발전의 전기화재의 피해를 줄이는 방안을 마련하고자 한다.

2. 본 문

2.1 화재의 원인 및 AC/DC 전력보호 조건

현재 태양광 화재의 대부분은 모듈을 ARRAY를 구성한 접속반 과 모듈~모듈, 모듈~접속반 사이의 케이블 연결점 등 모듈에서 발생하는 DC 전압에서 발행하는 것이 대부분이다. 그러나 DC 전압의 이상을 제어/보호 장비는 DC 측의 과전류를 보호 할 수 있는 FUSE 및 DC 계통을 보호하는 과전류차단기 밖에 없어 화재가 발생하는 실정이다.

그에 반해 인버터 2차 측 교류 AC 측은 한전의 “분산형 전

□ 1차에너지 공급 구성비 Composition rate of primary energy supply(%)
 <1990~2017>

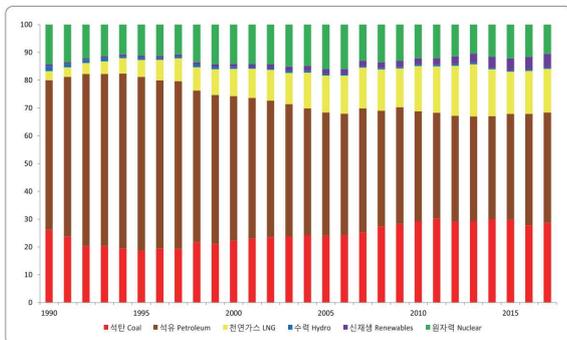


그림 1 1차 에너지 공급구성비
 Fig. 1 Primary energy supply ratio

원 배전계통 연계기술기준”에 의거 지락, 단락, 과/저전압, 과/저 주파수, 단독운전방지의 계전기를, 접속점에서 가장 가까운 구내계통의 내의 차단장치 설치점에 설치함이 원칙이므로 화재의 빈도가 적은 편이다. 또한, 인버터 자체에도 그림 2의 신재생에너지 설비심사세부기준 인버터 시험항목에 따라 구조 및 보호성능 시험을 거친 제품을 사용하므로 arc 및 다른 전기적 요인으로 인한 화재의 빈도는 낮은 편이다. 그러나 인버터의 세부심사기준 또한 계통 측 AC 교류 측의 보호 항목이 대부분이다.

태양광 발전용 독립형/연계형 중대형 인버터의 시험항목

시험 항목	독립형	계통연계형	구분
1. 구조시험	○	○	비교1
2. 절연성능시험	a) 절연저항시험	○	비교1
	b) 내전압시험	○	비교1
	c) 감전보호시험	○	비교1
	d) 절연거리시험	○	비교1
3. 보호 기능 시험	a) 출력 과전압 및 부족전압보호기능시험	○	○
	b) 주파수상승 및 저하보호기능시험	○	○
	c) 단독운전 방지기능시험	×	○
	d) 복전후일정시간투입방지기능시험	×	○
4. 정상특성시험	a) 교류전압, 주파수 추종범위 시험	×	○
	b) 교류출력전류 변형률 시험	×	○
	c) 누설전류시험	○	○
	d) 온도상승시험	○	○
	e) 효율시험	○	○
	f) 대기손실시험	×	○
	g) 자동기동·정지시험	×	○
	h) 최대전력 추종시험	○	○
	i) 출력전류 직류분 검출 시험	○	○
	5. 과도응답 특성시험	a) 입력전력 급변시험	○
b) 계통전압 급변시험		×	○
c) 계통전압위상 급변시험		×	○
6. 외부사고시험	a) 출력측 단락시험	○	○
	b) 계통전압 순간전전·강하시험	×	○
	c) 부하차단시험	○	○
7. 내전기 환경시험	a) 계통전압 역행류내방시험	×	○
	b) 계통전압불평형시험	×	○
	c) 부하불평형시험	○	×
8. 내주위 환경시험	a) 습도시험	○	○
	b) 온습도사이클시험	○	○
9. 전자기적합성(EMC)	a) 전자파 장애(EMI)	○	○
	b) 전자파 내성(EMS)	○	○

비고 1. 실내·외 설치를 위해 케이스 변경시 인증모델의 유사모델을 적용하며, 이 항목만 실시
비고 2. 부하불평형 시험은 3상 인버터만 적용한다.
비고 3. 9. 전자기적합성(EMC)항은 인증시험 항목으로는 한시적으로 제외한다.

그림 2 신재생에너지 설비심사 세부기준 인버터 시험항목
Fig. 2 Renewable energy facility review detailed inverter testing list



그림 3 태양광 DC 접속반 화재
Fig. 3 Photovoltaic DC junction board fire

이러한 현실 때문에 DC 측에 접속 불량으로 인한 트레킹, 전선로단선, 압착손상, 절연열화, 접속불량 등에 의한 단락으로

인한 arc 발생 전로를 차단하지 못하고 arc로 인한 열 및 불꽃 발생으로 인한 화재가 화재의 주요 원인이 되고 있다.

현재 태양광발전소의 시스템으로는 그림 3과 같은 모듈의 DC 아크로 인한 화재는 방지하기 힘든 실정이다.

모든 아크로 인한 사고는 노후화된 전력설비에서 더 많이 발생하므로 예상 수명 기간이 약 20년인 태양광발전설비에 중북투자 하지 않는 이상 화재의 위험성은 시간이 지날수록 높아지게 된다.

2.2 DC 아크사고 감지시스템

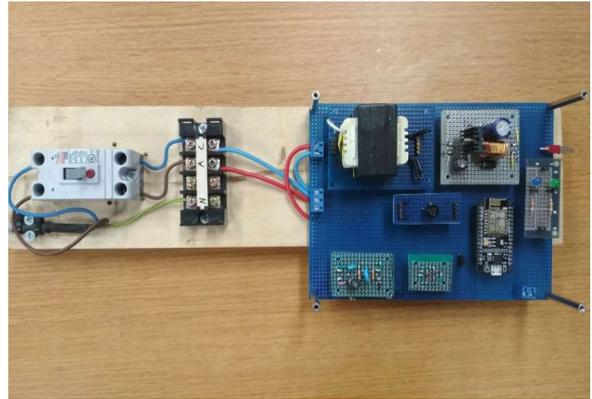


그림 4 태양전지모듈의 DC아크사고 감지시스템
Fig. 4 DC arc accident detection system of photovoltaic module

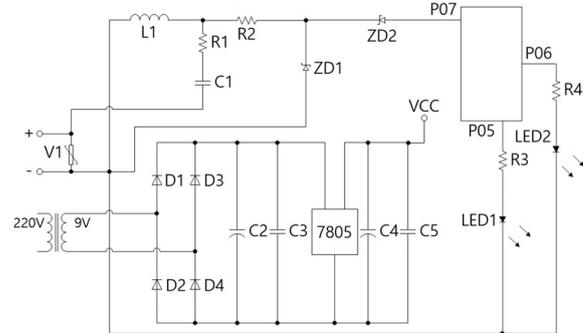


그림 5 태양전지모듈의 DC아크사고 감지회로도
Fig. 5 DC arc accident detection circuit of solar module

그림 4는 태양전지모듈의 DC아크사고 감지시스템을 구현한 결과물이며, 그림 5는 이 시스템의 회로도이다. 회로를 구현한 소자 및 마이컴은 일반적으로 많이 사용되고, 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 것을 사용하였으며, DC아크사고를 검출하기 위해 아두이노 ESP8266 NodeMCU를 사용하였다.

DC아크사고의 검출은 태양광 판넬에서 발전되는 DC 전압을 인덕터 L1, 커패시터 C1, 저항 R1을 이용한 역 L형 LC 하이패스 필터를 통과시켜 아크 전압과 고주파 잡음 전압을 추출하여, 보호 저항 R2를 통과시킨다. 이 신호를 제너다이오드 ZD1에 병렬로 연결하여 마이컴에서 받을 수 있는 5V의 파형으로 변형시킨다. 그다음 SMPS, 방전등 등 고주파 잡음신호를 제거하기 위하여 제너다이오드 ZD2를 직렬로 연결하여 3V이

하의 신호는 통과하지 못하게 하여 마이컴으로 입력을 받는다. 그 이유는 고주파 잡음은 전압이 낮게 형성되기 때문이다.

마이컴의 전원을 위하여 트랜스를 이용하여 AC 220V를 AC 9V로 변경시킨 후 다이오드 D1, D2, D3, D4를 이용하여 전파 정류한 다음 커패시터 C2을 이용하여 평활하게 만들고, 커패시터 C3을 이용하여 AC 전압에서 들어오는 잡음을 제거하였다. 안정적인 AC to DC 컨버터(converter)를 만들기 위하여 7805 IC를 이용 하였으며, 커패시터 C4, C5을 이용하여 더욱 안정적인 5V를 만들어 VCC 전원을 공급하였다.

2.3 DC 아크사고 감지시스템 마이컴 Programming

감지시스템에서 입력된 신호를 이용하여 DC아크사고를 감지하며, 이 신호를 마이컴을 이용하여 주의와 경보 두 가지로 검출한다.

```

if(interruptCounterA>500){
  if(a==0){
    a++;
    interruptCounterA=0;
  }
  else{
    if(b==0){
      digitalWrite(LED2,HIGH);
      interruptCounterA=0;
    }
    else{
      interruptCounterA=0;
      a=0;
      b=0;
    }
  }
}
}
}

```

그림 6 마이컴 프로그램 중 DC 아크 주의 부분
Fig. 6 DC arc caution microcomputer program

그림 6은 DC 아크 주의경보를 검출하는 프로그래밍이며, DC 아크 주의경보는 100ms에 동작하는 인터럽트 타이머를 사용한다.

태양전지 모듈의 DC 아크 신호가 500회 이상 100ms 단위로 두 번 연속 감지되면 아크 주의 LED 동작하여 실시간 DC 아크의 검출을 할 수 있도록 하였다.

그림 7은 DC 아크 경보를 검출하는 프로그래밍이며, DC 아크 경보는 태양전지 모듈의 DC 아크 신호를 0.1초마다 적산하는 방식을 적용하였다.

기준값은 0으로 시작하여 0.1초마다 아크 신호를 저장한다. 저장된 값은 다음 신호의 값과 합한 후 2로 나누어 순차적으로 적산한다. 마이컴에 적산된 값은 발생한 DC 아크의 최대 수를 넘지 않으며, 최대 아크의 적산된 값이 250회 이상일 경우 DC 아크사고로 판단 이를 LED로 경보하게 된다.

지속적인 적산 모니터링으로 보다 정밀하게 DC아크사고를 검출할 수 있다.

```

void check(){
  sum = ref+interruptCounterB;
  result = sum/2;
  ref = result;

  b=1;

  if(result>250){
    digitalWrite(LED1,HIGH);
    interruptCounterB = 0;
  }
  else{
    interruptCounterB = 0;
  }
}

```

그림 7 마이컴 프로그램 중 DC 아크 경보 부분
Fig. 7 DC arc alarm microcomputer program

3. 결 론

330W 태양전지 모듈(TSM-330PD14) 5장을 직렬 연결한 태양광 발전설비의 DC LINE에 UL1699에 의한 트래킹 발생장치를 통하여 인위적으로 아크를 발생하여 모듈의 DC 아크사고 감지회로에 시험하였다.

그 결과 250회 이상의 ARC발생 시 아크주의 LED 점등되어 아크의 발생에 주의경보를 검출 하였으며, 500회 이상 ARC발생 시 아크경보 LED점등되어 안정적인 동작을 보였다.

대부분의 태양광 발전소에는 발전량 및 인버터의 상태를 원격에서 확인하기 위해 IoT를 통한 발전모니터링 시스템이 시설되어 있다. 이 회로에 사용된 마이컴 ESP8266 NodeMCU는 자체 WIFI 통신이 가능한 마이컴으로서, 이 시스템과 접속하여 ARC 주의/경보 발생 시 신속하게 관리자 또는 비상 상황을 대응 할 수 있는 기관에 통보되어 사고를 미연에 방지 할 수 있도록 설계 연구할 계획이다.

- 본 연구는 중소벤처기업부에서 지원하는 2018년도 산학연협력 기술개발사업(No. S2658312)의 연구수행으로 인한 결과물임.
- 또한, 이 논문은 2019년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017H1D8A1028271).

참 고 문 헌

[1] 에너지경제연구원, 에너지통계월보
[2] 소방청 국가화재정보센터, 발화원별 화재통계