

## 적외선 카메라를 이용한 폐쇄분전반 아크 검출에 관한 연구

오용철\*, 김탁용\*, 이영상\*, 오현석\*\*, 현득창\*\*\*, 박건호\*\*\*\*  
 (주)주암전기통신\*, 동서울대학교\*\*, 극동대학교\*\*\*, 청강문화산업대\*\*\*\*

### Study on the Arc Detection of Distribution Panel using IR Camera

Y.C. Oh\*, T.Y. Kim\*, Y.S. Lee\*, H.S. Oh\*\*, D.C. Hyun\*\*\*, G.H. Park\*\*\*\*  
 Juam Electric & Communication Co. Ltd.\*, Dong Seoul College\*\*, Far East University\*\*\*,  
 Chungkang College of Cultural Industries\*\*\*\*

**Abstract** - 전력사용량이 산업발전과 더불어 기하급수적으로 증가하고 있으며, 한정된 공간내에서 대용량의 전력설비를 설치하기 위해 폐쇄형 배전반이 운영되고 있다. 한국전기안전공사에서 발표한 통계자료에 의하면, 고압이상 전기설비 검사결과 절연내력이 불합격한 경우가 다수 발생하고 있으며, 이는 아크 플래시 사고의 원인이다. 특히 수배전반의 경우 부하설비 또는 외부의 영향을 확인할 수 있는 장치 및 보호설비가 설치되어 있으나 자체 안전장치가 마련되어 있지 않아 자체사고를 신속히 검출하고 판단할 수 있는 기술이 필요하다.

본 논문에서는 해상도가 낮은 저가의 열화상 센서에 고속 DSP를 사용하여 영상처리 기법인 이차원 보간 법으로 해상도를 올려서 사용하는 기술을 이용하여 아크에 의해 발생하는 열특성을 검출하고 검출된 데이터를 전송하여 전기화재사고를 미연에 방지할 수 있는 장치 개발을 위한 기초 특성조사를 실시하였다

#### 1. 서 론

전력사용량이 산업발전과 더불어 기하급수적으로 증가하고 있으며, 한정된 공간내에서 대용량의 전력설비를 설치하기 위해 폐쇄형 배전반이 운영되고 있다. 한국전기안전공사에서 발표한 통계자료에 의하면, 고압이상 전기설비 검사결과 절연내력 미달이 2005년에 20.1%, 2006년도에 14.1%로 설비사고의 중요한 원인(KESCO 검사불합격통계)이 되고 있어서 이에 대한 대책이 요구된다. 특히, 국내에서 발생하는 감전사고자 중 22.9kV에서 발생하는 감전사고는 140건으로 전체의 약 30% 이상에 이르며, 그중 50% 이상이 노출충전부 접촉에 의한 것으로 나타나 있다. 따라서 밀집형 전력설비 설치공간에서의 전기안전성 평가와 대책이 필요한 실정이다. 특히 아크 플래시 사고는 수배전반에서 발생하는 사고 중 가장 큰 사고로서, 지속 시간이 길어질 경우 수배전반 패널과 전력기기가 파손되어 장시간의 정전을 유발할 뿐만 아니라 사고 발생 순간 작업자가 아크에 노출될 경우, 심각한 인명피해를 유발할 수 있으며, 이러한 아크 플래시 사고의 발생 시 작업자의 안전이나, 수배전반의 내구성을 위한 여러 가지 조치들을 취하지만 이러한 규정은 잘 지키지 않아 큰 피해를 초래하는 경우가 흔하게 발생 하고 있다. 수배전반은 고장, 사고 시 정전으로 인한 피해가 크므로 여러 가지 안전대책을 마련해야 한다. 수배전반의 내부에서 아크폭발 사고가 조작자 실수, 노후로 인한 절연파괴, 동물 및 곤충의 침입 등의 이유로 종종 발생하고 있다. 미국의 경우 아크플래시 사고가 1년에 2,000건 이상이 보고되고 있고, 국내에서도 전기사고의 약 25%이상이 아크 플래시 사고로 발생하고 있는 추세이다. 수배전반의 경우 부하설비 또는 외부의 영향을 확인할 수 있는 장치 및 보호설비가 설치되어 있으나 자체 안전장치가 마련되어 있지 않아 자체사고를 신속히 검출하고 판단할 수 있는 기술이 필요하다.

국내의 경우 수배전반을 제작하는 업체는 수십여개 업체이지만, 수배전반 자체의 아크 플래시에 대한 이상여부를 감지하는 업체는 전무한 실정이다. 반도체 공장, 철강 공장에서는 전기재해를 예방하기 위해 수배전반 부스바에 온도 센서를 내장하여 접촉 불량 등 이상여부를 감지하고 있다.

국외에서는 지멘스사의 다이내믹 Arc-Flash 감지장치를 이용하여 안전 정격감지 센서모듈과 함께 사용되는 경우, 작업자가 전압이 가해진 기기에 일정한 거리 이내로 접근하면, 자동 감지하여 Arc-Flash 에너지를 감소시키기 위해 차단기의 트립 시간을 자동으로 감소시키는 장치가 있으며, ABB 및 VAMP사에서 개발된 제품은 최소값으로 정정된 순시차단 기능을 자동으로 사용하며 Arc-Flash 광파이버 센서를 이용하여 차단기를 수 사이클

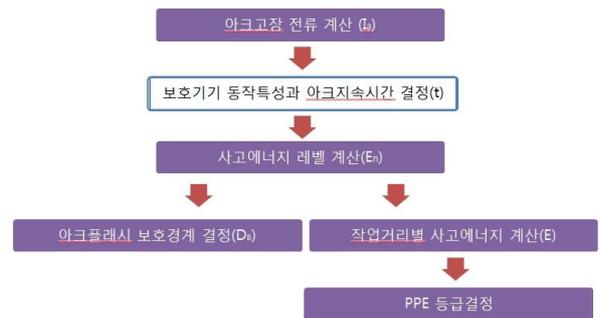
이내에 차단하는 방법이나 Arc-Flash 광파이버 센서는 과전류 및 Arc 시 발생하는 자외선, 가시광선을 감지하여 트립신호를 내보내므로 단순히 빛에 의한 오동작을 방지하는 기술이 개발되어 지고 있다. 그러나 실제 아크 검출 장치의 가격은 매우 고가로 상시 점검을 위한 장치로는 개발이 미흡한 상황이다.

본 논문에서는 해상도가 낮은 저가의 열화상 센서에 고속 DSP를 사용하여 영상처리 기법인 이차원 보간 법으로 해상도를 올려서 사용하는 기술을 이용하여 아크에 의해 발생하는 열특성을 검출하고 검출된 데이터를 전송하여 전기화재사고를 미연에 방지할 수 있는 장치 개발을 위한 기초 특성조사를 실시하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 아크 에너지 분석

사고에너지를 계산하기 위해서는 대칭분 3상 단락전류 계산이 선행되어야 한다. 단선결선도와 상용단락전류 계산프로그램등을 이용하여 구할 수 있다. 어느 고장 지점의 3상 단락전류는 전력계통 운용모드에 따라 최대 단락전류와 최소 단락전류의 차이가 분명하기 때문에 이것을 구분하여 계산한다.



<그림 1> 아크플래시 위험분석 절차

아크고장전류의 계산은 1,000V 이하 시스템 전압이 사용되는 경우 아래 식(1)을 적용했다.

$$\log I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf}) \quad (1)$$

1,000V 이상 시스템 전압이 사용되는 경우 식 (2)를 적용한다.

$$\log I_a = 0.00402 + 0.983 \log I_{bf} \quad (2)$$

$I_a$  : 아크고장 전류(kA)  
 $V$  : 시스템 전압(kV)  
 $K$  : -0.153(open 형태), -0.097(box 형태)  
 $I_{bf}$  : 대칭분 3상 단락전류(RMS)(kA)  
 $G$  : 도체사이의 간격(mm)

아크 고장전류를 계산한 후 계산값의 85%에 해당하는 아크 고장전류도 사고 에너지를 구하는데 적용한다. 왜냐하면 보호기기의 반환시 특성에 의해 사고전류가 작으면 동작시간이 지연되어 사고 에너지의 크기가 증가하기 때문이다. 따라서 두 가지 조

건을 검토하여 더 위험한 조건일 때 개인 안전보호구(PPE)의 등급을 결정해야 한다.

사고에너지 계산은 우선 정규화된 사고 에너지를 산출하였다. 식 (3)은 아크 지속시간 0.2초, 아크발생점에서 작업자 간격 610mm에 대해 정규화된 데이터를 이용하여 구해진 수식이다.

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \log I_a + 0.0011 G \quad (3)$$

$E_n$  : 시간과 거리에 대해 정규화된 사고 에너지(J/cm<sup>2</sup>)  
 $K_1$  : - 0.792(개방형태), -0.555(박스형태)  
 $K_2$  : -0.113(직접접지계통), 0(비접지계통, 고저항 접지계통)

식 (3)을 통해 구해진 사고에너지( $E_n$ )를 이용하여 실제작업거리에서의 사고에너지( $E$ ) 구한다

$$E = 4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (4)$$

$C_f$  : 1.0 (1 kV 이상의 전압), 1.5(1 kV 이하 전압)  
 $X$  : 거리 지수

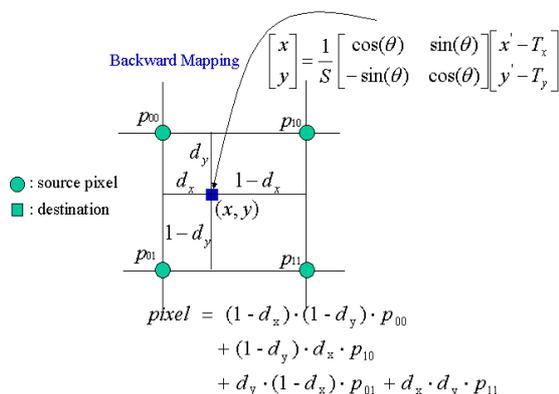
〈표 2〉 전압 및 기기형태에 따른 적용계수

시스템 전압 (kV)	장치 형태	도체 간 간격 (mm)	거리 $x$ 인수
0.208 ~ 1	open air	10~40	2.000
	switchgear	32	1.473
	MCC and panels	25	1.641
	cable	13	2.000
>1~5	open air	102	2.000
	switchgear	13~102	0.973
	cable	13	2.000
>5~15	open air	13~153	2.000
	switchgear	153	0.973
	cable	13	2.000

## 2.2 시스템

### 2.2.1 이미지보간법

임베디드 CPU에 적용하기 위한 2차원 보간법은 성능이 검증이 되는 것은 물론이고 구현 방법도 CPU에 부하를 최소로 하는 알고리즘을 사용해야 한다. 그래서 구현된 감시 시스템에서는 곱선형 보간법(Bilinear Interpolation)을 사용하였다. 곱선형 보간법은 영상처리에서 가장 보편적으로 사용되는 보간기법이다. 곱선형 보간법에서 생성되는 픽셀은 네 개의 가장 가까운 픽셀들에 가중치(weight)를 곱한 값들의 합이며, 가중치들은 선형적인 방법으로 결정된다.



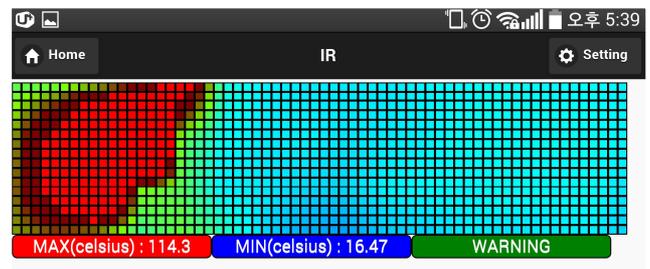
〈그림 2〉 곱선형 보간법

각각의 가중치는 각각의 존재하는 픽셀로부터 거리에 반비례한다. 즉, 주변 픽셀들의 평균 값을 계산하여 확대된 영상에서 할당 받지 못한 빈 픽셀에 대입 시키는 방법을 사용하였다. 이는 4개의 주어진 값들 사이의 새로운 값을 만들어내는 방법이다. 두 방향의 선형 보간법과 관련되어 있으면 새롭게 생성된 픽셀의 값이 네 개의 가장 가까운 픽셀들에 가중치를 곱한 값이 된다. 곱선형 보간법은 Nearest Neighbor Interpolation 보다 더 매끄러운 영상이 생성된다.

### 2.2.2 안드로이드 스마트 어플 개발

jQuery Mobile은 모바일 웹 애플리케이션 개발을 위한 자바스크립트 프레임워크이다. 요즘 모바일 애플리케이션을 개발하는 방식은 크게 네이티브 방식, 웹 기반 방식 그리고 2개의 중간 방식인 하이브리드 방식이 사용된다.

웹 앱으로 개발하면 개발하기가 매우 편하지만 네이티브 앱에서 사용하는 기능보다 많이 떨어진다. 하지만, jQuery Mobile같은 프레임워크를 사용함으로써, 웹 앱의 부족함 점을 많이 보완할 수 있고 또한 웹 앱은 한 번 개발을 하면 모든 스마트폰에서 사용할 수 있는 장점이 있다.



〈그림 3〉 앱구현 화면

## 3. 결 론

적외선 카메라를 이용한 폐쇄분전반 아크 특성을 위한 기술개발 결과 열특성에 대하여 실제 열화상 카메라와 비교하여 최고온도는 1℃의 오차율이 나타났으며, 앱을 통한 데이터 전송은 실시간으로 전송되는 것을 확인할 수 있었다. 본 개발을 통해 폐쇄분전반과 스마트폰과의 연동이 매우 용이하였으며, cost 저감의 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이기상, “적외선카메라를 이용한 초고압 변압기의 온도특성 분석”, 조선대학교 대학원박사학위 논문, pp.1-6, 2002
- [2] Kunikazu Lzumi, “Application of Polymeric Outdoor Insulation in Japan”, IEEE Trans.DEI, Vol. 6, No. 5, pp.595-604, 1999
- [3] 이우선, 정관문, “변압기 온도변화특성 모니터링”, 한국전기전자재료학회 제4회 영호남학술대회 논문집, pp.69-72, 2002