

## 수변전설비에서 접점 불량에 따른 열 및 전기 분포 해석

김기준<sup>a</sup>

인천대학교 메카트로닉스공학과

### The Analysis of Temperature and Electric Field due to Contact Failure in Power Substation

Ki-Joon Kim<sup>a</sup>

Department of Mechatronics Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

(Received April 3, 2016; Revised April 8, 2016; Accepted April 11, 2016)

**Abstract:** Although there are existing Residual Current Protective Device (RCD) including detect electric leakage and elements such as short circuit and surge, the occurrence of incidents caused by electric faults, including fire, are still constant. The purpose of this study is to analyze the causes of accidents through the electric field distribution in the interpretation of the fault contact breaker. Simulation results by the arc fault has shown the convergence of temperature and electric field to the defect. Through their simulation results, the main cause of erosion phenomena in circuit breaker bar is the electric arc by concentration of electric field not due to dissolve by temperature.

**Keywords:** Power substation, RCD, Circuit breaker, Simulation, Electric field

#### 1. 서 론

전기는 우리의 생활에서 없어서는 안 되는 편리한 에너지로서 공해가 없고, 우리 삶의 질을 높여주는 문명의 이기이며, 고도 산업사회의 발달과 인류의 생활수준 향상에 맹 크게 기여하고 있다. 또한 선진국형 산업구조로 변모하면서 기술력과 동시에 생산시설의 급속한 발달이 이루어지고 있으며, 국민생활 수준이 향상되어 가면서 전기에너지에 대한 수요가 급증하고 있는 추세이다 [1-4].

이와 더불어 한국전기공사의 전기화재 재해통계를 보면 전기화재 사고는 1995년에 26,065건에서 2014년도에는 무려 42,135건으로 1.6배가 증가되었다 [5]. 특히 전기화재의 발생은 전압의 크기에 따라 화재가 발생하는 것이 아니라 전류의 크기에 따라 전기화재가 발생하기 때문에 산업시설이나 대단위 집합 단지 내에서의 전기화재에 대한 위험은 많이 노출이 되어지고 있다 [1,6,8].

전기화재 발화 요인별 통계에 따르면 과전류/과부하 사고를 제외하고는 대부분 아크 및 스파크에 의해 발생하는 것을 알 수 있으며 [2,9]. 최근에는 디지털 사용의 증가로 전원변환장치에 의한 아크도 많이 보고되어지고 있다.

현재 국내에서는 전기화재의 예방에 있어서 단락사고와 누전사고를 방지하기 위해서는 배선용 차단기, 누

a. Corresponding author; [kijoon@inu.ac.kr](mailto:kijoon@inu.ac.kr)

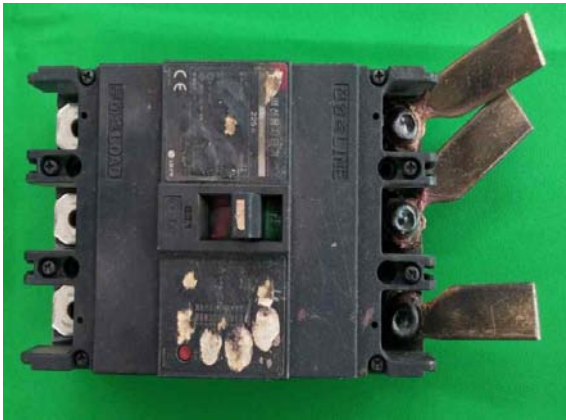


Fig. 1. Breaker on arc aging.

전차단기, 과전류차단기 등을 사용하도록 전기설비기준 기술에서 정하고 있으나, 아크는 순간순간 발생하기 때문에 이와 같은 장치로는 확인할 수 없기 때문에 계속적으로 아크에 의한 전기 화재사고의 비중이 높은 것으로 알려지고 있다 [10].

그림 1은 배선용 차단기에서 발생하는 아크에 의해서 바가 녹은 모습을 볼 수 있으며, 이러한 현상이 계속 진전되면 바가 절단되거나 아크가 외부의 인화물질에 붙어 화재가 발생하게 된다.

본 논문에서는 부스바 접속부분에서의 침적현상이 전계의 집중 및 열 특성을 조사하기 위해 시뮬레이션을 통해 전계강도 및 열 분포를 조사하였다. 시뮬레이션은 상용전원 선로를 기준으로 하였으므로 교류 전압은 220[V] 100 [A]가 공급되는 것을 기준으로 침식의 유무에 따른 전계의 집중현상과 열 집중도를 조사하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 모델링

배전반에서 아크에 의한 부식의 대부분은 배전차단기의 접점 부분에서 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 시뮬레이션은 배전차단기의 바를 형상화하기 위해 시중에 판매되는 1,200AF용 배전용차단기의 사이즈를 적용하였다.

그림 2는 시중에서 생산되고 있는 배전용 차단기의 형상을 나타내고 있다.

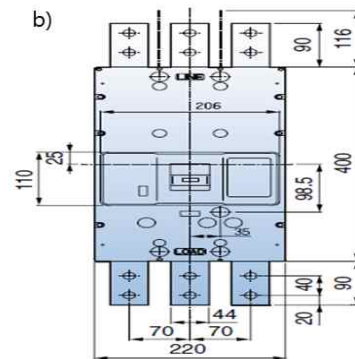
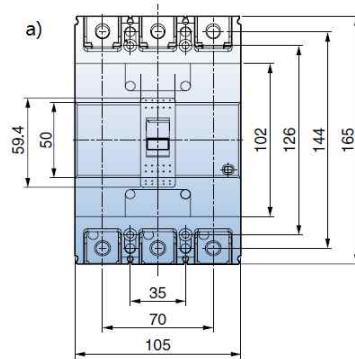


Fig. 2. Dimension of circuit breaker. a) 250AF and b) 1,200AF.

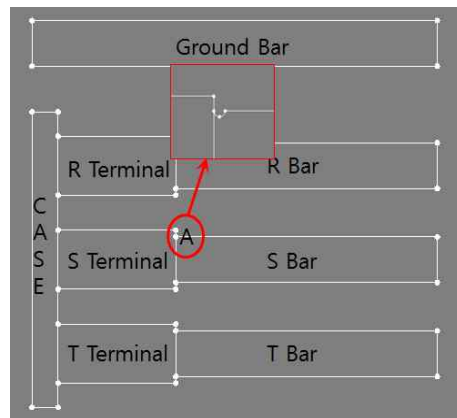


Fig. 3. Shape of simulation.

그림 3은 시뮬레이션을 위한 모델링 이미지를 나타낸 것으로 단자 아래쪽에 연결바를 설치한 경우이다. 그림에서 A부분에서 아크에 의한 열화 현상이 주로 발

**Table 1.** Aging size of shape.

Classification	Aging size
	[mm]
S-0	Φ 0
S-1	Φ 2
S-2	Φ 4
S-3	Φ 6

생하기 때문에 시뮬레이션에서 A부분에 아크에 의한 손상을 임의적으로 제작한 것으로 표 1에서 열화 크기에 대해서 나타내고 있다.

열화의 종류는 아크에 의해 바가 녹는 현상이 발생하므로 녹은 영역의 크기를 1 π, 4 π, 9 π[mm<sup>2</sup>]으로 변화시켰다.

### 2.2 시뮬레이션 물성 및 조건

시뮬레이션 조건은 AC 220을 배전판을 기준으로 설계하였으며, 각 바에는 3상 전원을 공급하기 때문에 위상을 120도 차이를 주어 공급하도록 하였다. 접지는 위상을 “0”으로 하였으며 접지전압인 0 V를 인가하였다. CASE는 비유전율을 4.4로 설정하였다. 열 특성 조사를 위해 바와 터미널은 모두 물질을 구리로 설정하였으며, 구리의 열팽창계수는 17[ppm], 열전도는 397[V/mK]로 설정하였다.

표 2는 물질에 대한 설정값을 나타내고 있다.

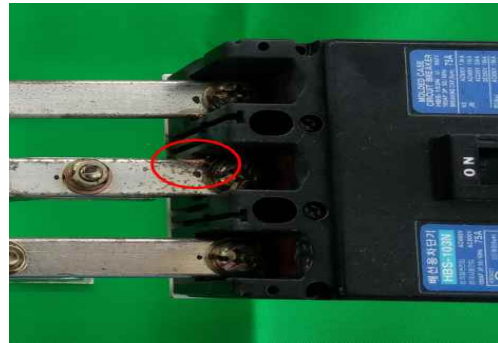
**Table 2.** Properties of material.

Name	Relative dielectric constant	Thermal conductivity	Material	Voltage
Bar	-	401	Cu	220
Terminal	-	401	Cu	220
Case	4.4	-	ABS	-

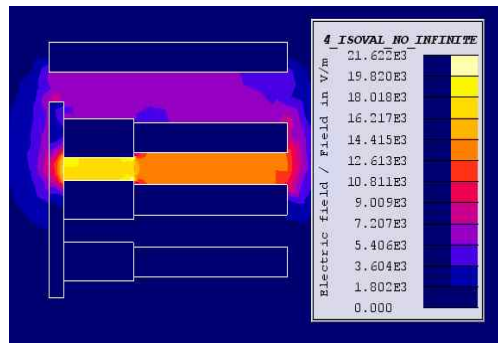
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전계분포

접점에서의 아크는 단자의 부식을 발생하게 되며, 이로 인해 침식현상이 나타난다.



**Fig. 4.** Breakers at aging.



**Fig. 5.** Breakers at steady state.

그림 4는 아크 발생으로 손상된 배전용차단기를 나타내고 있다.

그림 5는 정상상태에서의 배전차단기의 전계분포도를 나타낸 것이다. 대부분의 전계는 R상과 S상 사이에 많이 몰려있는 것을 확인할 수 있었으며, 바와 차단기의 접점 부분의 모서리 부분에서  $2.5673 \times 10^4$  [V/m]의 높은 전계가 집중되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6은 전계가 집중되는 영역에서 손상의 크기를 변화시킬 때의 전계 분포도를 나타낸 것으로 결함의 크기가 커질수록  $2.5673 \times 10^4$  [V/m]이었던  $\phi 2$  [mm] 결함에서 전계가  $2.5573 \times 10^4$  [V/m]로 줄어들었으며,  $\phi 6$  [mm]에서는  $2.0438 \times 10^4$  [V/m]로 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이에 반해 결함위치에서의 전계는 결함이 없을 때에는  $4.7716 \times 10^3$  [V/m]이었던 전계가  $\phi 2$  [mm] 결함 시료에서는 결함부분의 전계가  $5.1865 \times 10^3$  [V/m]로 증가하였으며,  $\phi 6$  [mm]에서는  $9.2615 \times 10^3$  [V/m]로 커짐을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 접점의 모서리에 집중되는 전계가 결함이 커짐으로 인해 결함부분에 전계가 확산되기 때문이라고 생각된다.

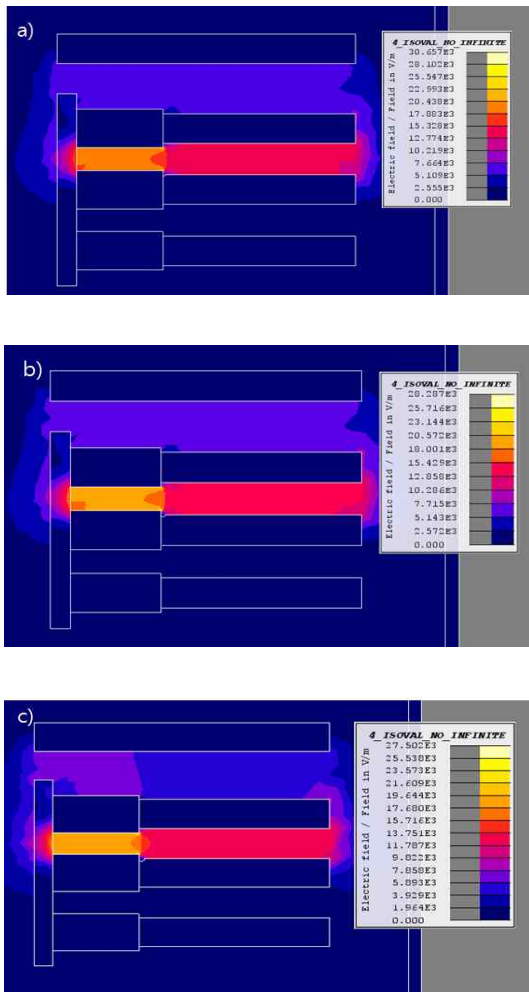


Fig. 6. Breakers by aging size, a) S-1, b) S-2, and c) S-3.



Fig. 7. Electric field detection position.

접점에서의 전계 변화를 보기 위해 그림 7의 붉은 선으로 나타낸 부분에서의 전계값을 도출해보았다.

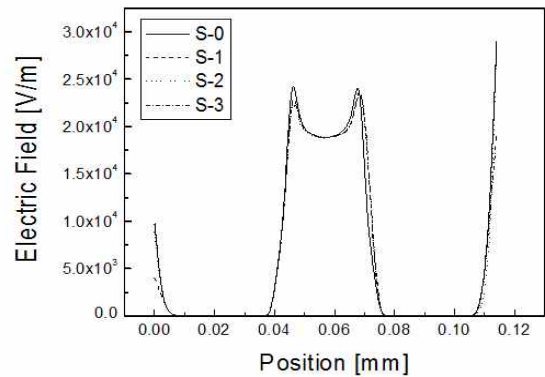


Fig. 8. Electric field at terminal.

그림 8에서 보는 바와 같이 접점의 전계의 세기는  $26.95 \times 10^3 [V/m]$ 에서  $25.59 \times 10^3 [V/m]$ 로 줄었으며, 결함으로 인해 전계의 피크 위치가 결함 쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 결함으로 인해 전계가 결함에 집중되기 때문이라고 생각된다.

### 3.2 열 분포

열 전도성은 해석을 위해 구리는 온도에 선형적으로 변화는 열 전도성을 가지는 것을 설정하였으며, CASE는 ABS재질의 고분자재질로 열 전도성은 존재하지 않으며, 단지 내부열에 의해  $50[^\circ C]$ 로 설정하였다. 바와 터미널 주변은 공기층에 둘러싸인 것으로 설정하였다. 주변의 공기 온도는  $20[^\circ C]$ 로 설정하였으며, 3상 전원이 공급되는 바에 열소스를 제공하였으며, 접지바에는 열에너지 소스를 “0”으로 설정하였다. 주변 열대류는 공기 속도에 의존하며 공기의 대류 및 복사에도 의존하게 된다. 본 실험에서는 열대류 특성이 아니라 결함에서의 열 집중도를 확인하기 위한 것으로 바의 경계면에 열 교환 매개변수를 삽입하여 열대류 부분에 대한 특성을 무시하게끔 시뮬레이션 했다.

그림 9는 차단기에서의 열 분포도를 나타낸 것으로 3상 단자와 바에서의 열 분포가 고르게 퍼져있는 것을 확인할 수 있었으며, 발생온도는 절대온도  $428[K]$ 를 나타내고 있었으며, 주변 공기 중의 온도는 설정된 주변 온도와 동일하게 나타났다. 그림 b)는  $\phi 6[mm]$ 인 결함 분포도를 나타낸 것으로 결함이 없는 형상과 동일한 온도 분포를 나타내었으며, 결함 부분에서의 온도 집중도는 발생하지 않았다. 이를 통해 전류에 의해 발생한 열은 모두 구리로 구성된 단자와 바에 집중되고 있으며, 결함은 온도의 집중현상에 관련이 없음을 확인할 수 있었다.

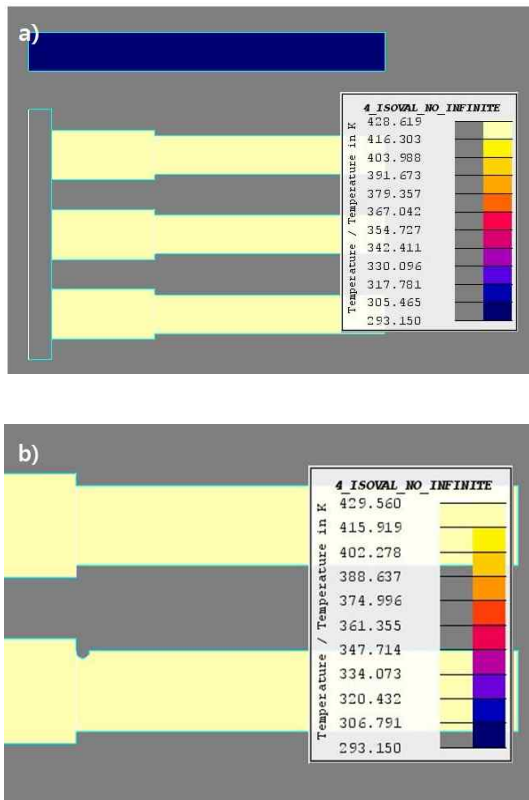


Fig. 9. Thermal distribution at the breaker. a) S-1 and b) S-3.

한 온도 분포를 나타내었으며, 결함부분에서의 온도 집중도는 발생하지 않았다. 이를 통해 전류에 의해 발생된 열은 모두 구리로 구성된 단자와 바에 집중되고 있으며, 결함은 온도의 집중현상에 관련이 없음을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

수변전 설비 접점 불량에 대한 전계 및 열 분포 시뮬레이션 해석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 차단기 바에서 전계의 집중현상을 확인할 수 있었다.
- (2) 차단기 바에서의 결함의 접점 모서리에서 집중되는 전계가 결함 위치로 이동함을 확인할 수 있었다.

- (3) 차단기에서 열 특성은 열 전도성이 우수한 구리에서 모든 열이 집중되었으며, 공기 중으로 열이 확산되는 현상이 나타났다.
- (4) 바에 침식에 의한 결함이 존재할 때 침식에서의 열 집중현상은 나타나지 않았으며, 열의 분포는 정상상태와 결함상태가 동일하게 나타났음을 확인할 수 있었다.

본 시뮬레이션을 통해서 차단기 연결 바에서의 결함은 전계의 집중현상만 유도하면 열의 집중은 유도하지 않음을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 차단기 바에서의 침식현상은 열에 의해 녹아지는 것이 아니라 전계의 집중현상으로 인한 전기아크에 의한 침식이 주원인인 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 인천대학교 2015년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### REFERENCES

- [1] M. S. Han, *Master's Thesis*, p. 1, Seoul National University of Science and Technology, Seoul (2005).
- [2] H. S. Kim, *Master's Thesis*, p. 1-14, Seoul National University of Science and Technology, Seoul (2010).
- [3] D. K. Hwang, *Master's Thesis*, p. 1-3, Chungbuk National University, Cheongju (2012).
- [4] J. S. Jung, *Ph. D. Thesis*, p. 3-4, Myongji University, Yongin (2011).
- [5] *Electrical Safety Portal System, Electrical Fire Statistics*, <http://www.esps.or.kr> (2015).
- [6] J. K. Choi, *Master's Thesis*, p. 1, Kangwon National University, Samcheok (2014).
- [7] S. Knechi, B. Gonzalez, and K. Sieber, *IEEE ISC. on TP*, 329 (1996).
- [8] W. H. Preece, *Proc. Royal Soc.*, **36**, 464 (1884).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsp1.1883.0133>]
- [9] P.H.F. Morshuis, *IEEE Trans. on DEI*, **12**, 905 (2005).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TDEI.2005.1522185>]
- [10] S. H. Jing, *Master's Thesis*, p. 8-23, University of Seoul, Seoul (2008).