한국화재소방학회 논문지, 제23권 제3호, 2009년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 23, No. 3, 2009

표준편차와 확률분포를 이용한 모의전기설비에서 사고징후 검출

Detection of Indication of Electric Accident in Simulated Electric Equipments Using Standard Deviation and Probability Distribution

지승욱* · 옥경재 · 김시국 · 이춘하†

Seung-Wook Jee* · Kyung-Gea Ok · Shi-Kuk Kim · Chun-Ha Lee†

*영남대학교 전기공학과, 호서대학교 소방방재과
(2009. 2. 2. 접수/2009. 6. 19. 채택)

요 약

본 논문은 전기설비에서 사고 발생 징후를 검출하기 위한 방법을 기술하고 있다. 실험을 위해 전기설비의 부하는 백열전구로 구성하였고, 사고는 전기설비의 일부에 KS C IEC(Korea Standard C International Electrostatic Commission) 60112에 따른 내트래킹 시험장치를 연결하여 모의되었다. 모의사고는 정상상태에서 방전진전과 탄화형성 과정을 거쳐 트래킹파괴에 이르게 된다. 전기설비로부터 사고 징후 검출을 위해 전류 모니터를 이용하여 전기설비 전체의 전류를 측정하고 이를 분석하였다. 그 결과, 전류 파형의 특정 영역에서 사고의 진행 정도가 클수록 전류 펄스의 크기가 커지고, 발생 빈도도 증가하였다. 특히 전류 파형에 대한 표준편차와 확률분포는 부하의 수와 무관하게 사고단계별로 뚜렷한 차이를 보였다.

ABSTRACT

This paper describes a detecting method for indication of an electric accident in electric equipments. For that, loads of electric equipment is consisted of incandescent lamps. And the electric accident is simulated a tracking test apparatus according to KS C IEC (Korea Standard C International Electrostatic Commission) 60112 at some part of the simulation of the electric equipment. Simulated electric accident is occurred from static states through discharge in progress, carbon formation to tracking breakdown. The total current of electric equipments is measured and analyzed for detecting of indication of the electric accident using a current monitor. For the result, as an electric accident processed, as a current pulse is bigger and a ratio of appearance also increases at certain part of current waveforms. And standard deviation and probability distribution for certain part of current waveforms show remarkably different pattern in each step of electric accident which is irrespective of amount of load.

Keywords : Tracking breakdown, Indication of electric accident, Standard deviation, Probability distribution

1. 서 론

최근 10년간 전기화재 원인별 발생현황을 보면 전체 발생 건수의 79%가 단락, 9%가 과부하, 7%가 누전 및 절연불량에 의해 발생되고 있음을 알 수 있다.[1)]

이 중 절대 다수를 차지하는 단락의 경우, 국부적으로 에너지가 큰 단락불꽃에 의한 발화보다는 연속적으로 발생되는 단락불꽃에 의한 경우와 이미 온도가 상승되어 탄화(흑연화)가 진행하고 있는 피복류에서 착화할 위험이 더 크다고 알려져 있다.

누전의 경우도 누전전류가 집중되는 곳에서 직접 발화로 이어지기도 하지만 시간이 흐를수록 전선피복이나 주위의 가연물이 변질되어 들러붙거나 흑연화 하여 이곳을 흐르는 전류에 의해 발화되는 경우도 많은 것으로 알려져 있다.[2-4)]

즉 많은 경우에 있어서 전기화재가 발생되기 위해 흑연화과정과 긴 시간을 필요로 한다고 볼 수 있다.

트래킹으로 대표되는 흑연화 과정에는 방전현상이 수반되며, 방전현상은 전기설비에서 전류펄스의 형태로 나타난다.[5-8)]

따라서 이들 전류펄스를 사고의 징후로 볼 수 있으며, 전기설비에서 사고로 이어지기 전에 이들 사고 징

† E-mail: leecha@hoseo.edu

후를 감지한다면 사고를 예방하는 것도 가능해 진다.

본 논문에서는 모의 전기설비에서 사고를 모의한 후 여기서 취득한 전류파형에 대하여 표준편차와 확률분포 등을 구함으로써 부하의 수에 관계없이 조기에 사고를 감지하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해, 백열전구를 이용하여 전기설비를 모의하였고, 설비 내에서 트래킹을 발생시킴으로써 사고를 모의하였다.

2. 관련 이론

2.1 트래킹

트래킹이란 고체 절연 재료 표면에서 전기적 응력과 전해질 오염의 결합 효과로 인해 고체 절연 재료 또는 그 표면에 생성되는 전류 통로의 점진적 형성 현상으로 그 진전과정은 다음과 같다.[9)]

절연재료 표면의 습윤이나 오손 때문에 재료표면에 흐르는 누설전류는 줄열(Joule's heat)을 발생시켜 전해액을 증발시킴으로써 건조대를 형성시킨다.

건조대에 전계가 집중되면 방전이 개시되고, 전류 파형에 펄스가 나타난다.

방전이 계속되면서 방전 열에 의해 탄화가 시작되면, 전류 파형에 전류펄스가 더욱 많이 나타나고, 시료 표면에서는 미소발광방전(scintillation)도 일어난다.

탄화가 진전하여 양 전극 사이에 도전로가 형성된 것이 트래킹 파괴이다. 누설전류도 급격히 증가하게 된다.[5,10-12)]

3. 실험 장치 및 방법

모의 전등부하 설비(이하 전기설비)는 Figure 1(a)와 같이 단상 2선식으로 구성하였다.

전원은 교류 220V, 60Hz로 하였으며, 부하는 220V, 100W 백열전구 4개(각각 L1, L2, L3, L4)를 사용하였다.

Figure 1(a)에서 Electric Accident는 전기사고를 모의한 것으로 Figure 1(b)와 같이 KS C IEC(Korea Standard C International Electrostatic Commission) 60112의 내트래킹 장비의 전극으로 구성되어 있다.

무유도 가변저항 R은 사고로 인한 단락 전극 간 전류가, KS C IEC 60112의 권고안인, 1.0 ± 0.1A를 넘지 않도록 하기 위한 것이다.

시험시료(test sample)는 IV(600V Grade polyvinyl chloride insulated wires)를 30 × 30 × 3mm 규격으로 잘라서 사용하였다. 시험용액은 23 ± 1°C에서 탈이온수에 무수 염화 암모늄(NH_4Cl)을 0.1wt% 용해시켜 사용하

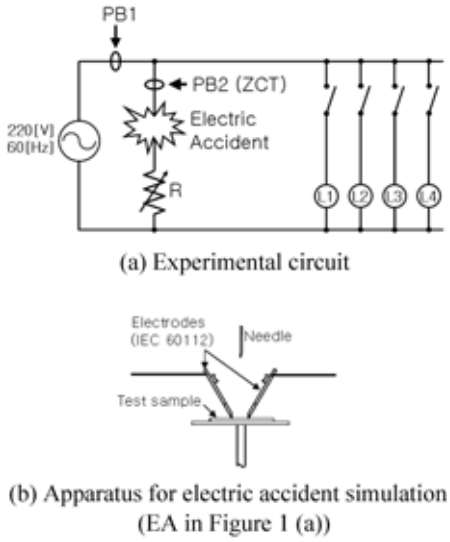

Figure 1. Experimental setup diagram.

였으며, KS C IEC 60112에 따라 시험용액을 30초 마다 1회씩 트래킹이 일어날 때까지 Figure 1(b)의 Needle을 통해 양 전극 사이의 시료표면에 적하하였다.

LeCroy사의 Waverunner LT372(4GS/s) DSO(digital storage oscilloscope)를 이용하여 전류파형을 측정하였다. Figure 1(a)에서 PB1은 전기설비 전체의 전류로, 전류 모니터(Pearson electronics, Current monitor model 2877)를 사용하여 측정하였다. 특히, 300Hz 이하에서 3dB 감쇄되는 특성을 가지는 전류 모니터의 경우 저항성 부하에 대하여 전압값이 정 · 부 최대치 부근에서 전류값이 0A에 가깝다. 또한, 절연파괴로 인한 전류펄스는 전압값의 정부 최대치 부근에서 발생하기 때문에 저항성 전기설비에서 선간에 발생되는 절연파괴로 인한 전류펄스의 관찰에 적합하다.[12)]

PB2는 모의 사고인 트래킹의 진행 상태를 파악하기 위한 것으로 ZCT(Zero Current Transformer, 2차측 1[kΩ]에서 최소 17mV/25mA)가 사용되었다.

Table 1. Characteristic of Current Monitor

Current Monitor Model 2877	
Sensitivity	1V/A +1/-0%
Maximun Rms Current	2.5A
Useable Rise Time	2ns
Low Frequency 3dB Point	300Hz (Approximate)
High Frequency 3dB Point	200MHz (Approximate)
Operating Temperature	0 to 65°C

실험은 부하의 개수를 1부터 4까지 늘려가면서 각각의 경우에 대하여 모의사고를 진전시켜 가면서 측정한 PB1 파형으로부터 전기사고의 진행 정도를 관찰하였다.

4. 실험 결과

Figure 2는 Figure 1에서 L1 부하만을 연결한 후, 모의사고를 진행하면서 DSO로 관측한 결과이다.

Figure 3은 Figure 1에서 L1과 L2를, Figure 4는 L1, L2 및 L3을 Figure 5는 L1, L2, L3 및 L4를 부하로 사용한 상태에서 모의사고의 진행 상태를 관측한 전류파형을 나타낸 것이다.

Figure 2(a)의 'A'와 'B'는 전압값이 정부 최대치 부근으로 교류방전의 발생이 용이하다고 알려진 지역이다.[12)]

Figure 2부터 5의 모든 PB1과 PB2는 샘플링 타임

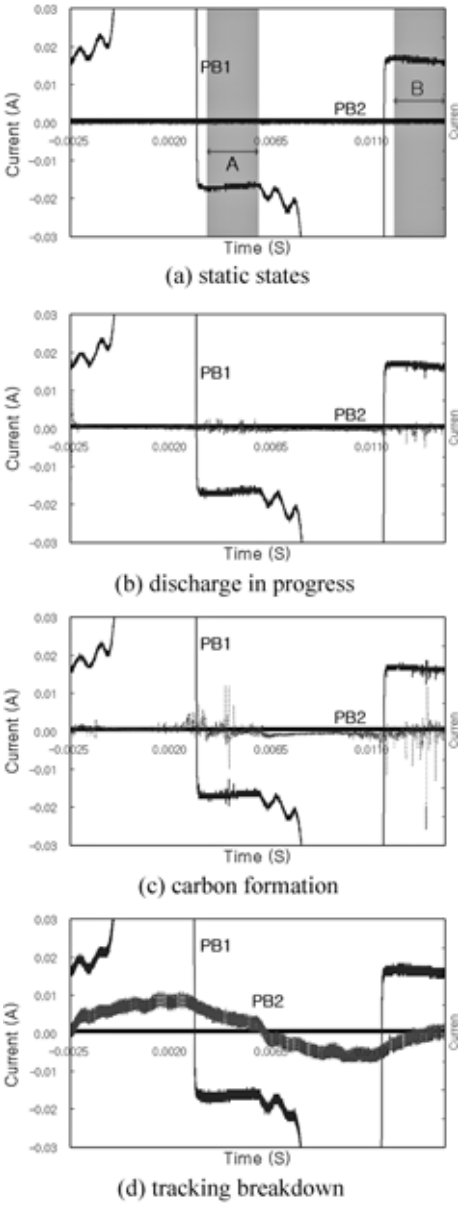

Figure 2. Current waveforms (Load = L1).

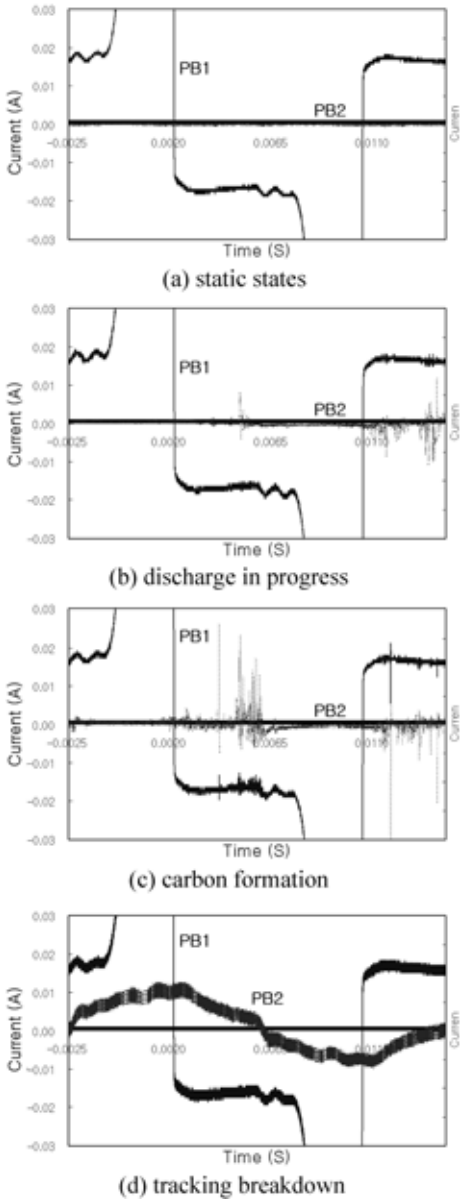

Figure 3. Current waveforms (Load = L1 + L2).

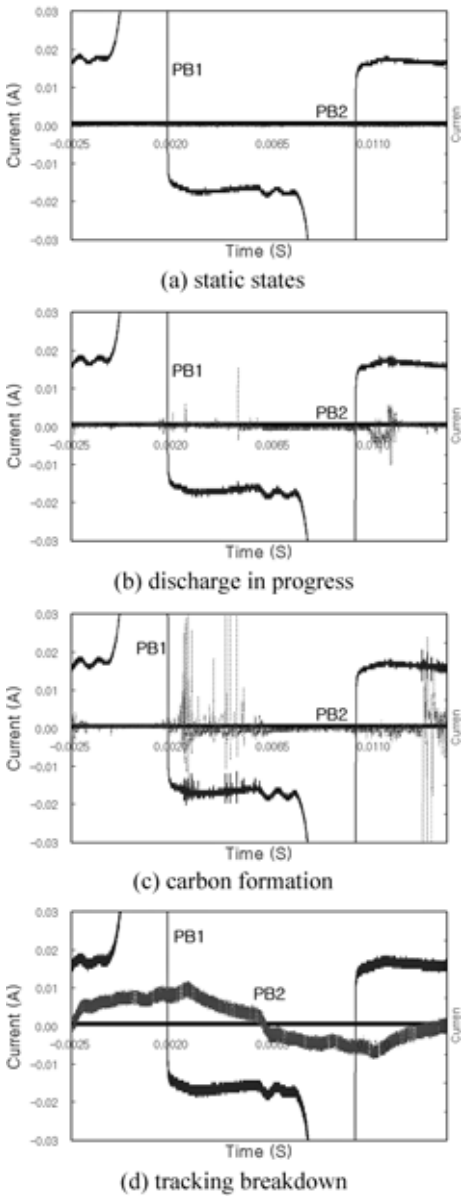

Figure 4. Current waveforms (Load = L1 + L2 + L3).

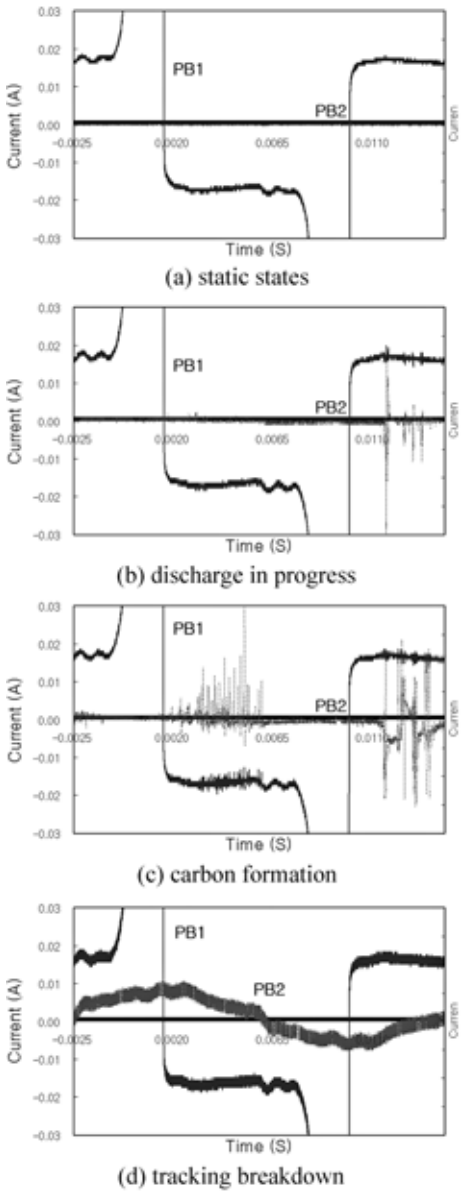

Figure 5. Current waveforms (Load = L1 + L2 + L3 + L4).

0.1×10^{-5}sec로 1/60초 동안 16667개의 데이터를 DSO로부터 받아서 만들어졌다.

Figure 2에서 (a)는 정상상태에서 관측된 파형이다. 즉, Figure 1(a)의 두 선로 사이에 부하전류를 제외하고는 절연이 유지되고 있기 때문에 PB2에 누설전류도 나타나지 않으며, 전기설비 전체 전류인 PB1에도 부하전류만이 나타나고 있다.

내트래킹 장비의 양 전극 사이에 전해액이 적하되면 브리지가 형성되고, 이 브리지를 통과하는 전류의 줄열(Joule heat)에 의해 건조대가 형성된다. 이 건조대에 전계가 집중되면서 방전이 일어나는데, 이때 관측된 파형이 (b)이다. 방전으로 인한 전류펄스가 PB2에 나타나고 있다. 또한 PB1을 통해서도 전류 펄스들을 확인할 수 있다.

(c)는 방전열로 인해 시험시료 표면에 탄화가 형성되면서 이것이 성장할 때의 파형이다. 탄화로 인

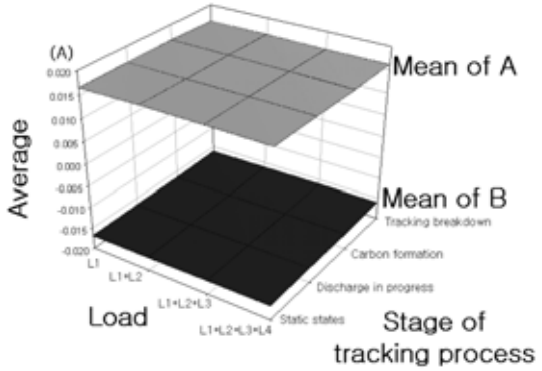

Figure 6. Average for part 'A' and 'B' of PB1 from Figure 2 to 5.

해 방전도 더욱 활성화되고 있으며, PB2에도 (b)보다 더욱 크고 많은 전류펄스들이 나타나고 있다. PB1에도 (b)때보다 더욱 크고 많은 전류펄스들이 나타나고 있다.

(d)는 탄화가 더욱 성장하여 탄화도전로가 양 전극 사이를 연결하면서 트래킹 파괴로 진행될 때 측정한 전류파형이다. PB1과 PB2에 방전으로 인한 전류펄스는 보이지 않지만 두껍게 관측되었다.

부하의 수를 늘리고 동일한 방법으로 실험한 결과인 Figure 3, 4, 5에서도 동일한 결과를 얻었다.

Figure 2부터 5에서, (d) 파형이 두껍게 관측된 것은 트래킹 파괴로 만들어진 탄화도전로가 완전한 저항성을 가지지 못해 고주파의 전도노이즈를 발생시키기 때문인 것으로 판단된다.

Figure 6은 Figure 2부터 5중에서, 전기설비의 전체 전류인 PB1 파형에 대하여 Figure 2(a)에 표시한 'A'와 'B' 영역에 해당하는 각각 2,600개의 데이터에 대한 평균을 구한 것이다.

A 영역의 평균은 −0.0161~−0.0169, B 영역의 평균은 0.0161~0.0167 사이의 값들로 분포되었고, 부하의 수나 트래킹 진전단계와 관계없이 평균이 일정한 값을 유지하는 것을 볼 수 있다.

Figure 7의 (a)와 (b)는 각각 Figure 2부터 5에 있는 PB1 파형에 대한 A 영역의 표준편차와 B 영역의 표준편차를 보여준다.

A 영역과 B영역 모두 정상상태에서는 부하의 수에 관계없이 0.00044~0.00047의 표준편차 값을 가진다. 방전이 진전 중 일 때의 표준편차는 0.00050~0.00057이며, 탄화가 시작되면 0.00052~0.00068, 트래킹 파괴에서는 0.00095~0.00100으로 증가하였다.

즉, Figure 7로부터 표준편차는 부하의 수와는 무관

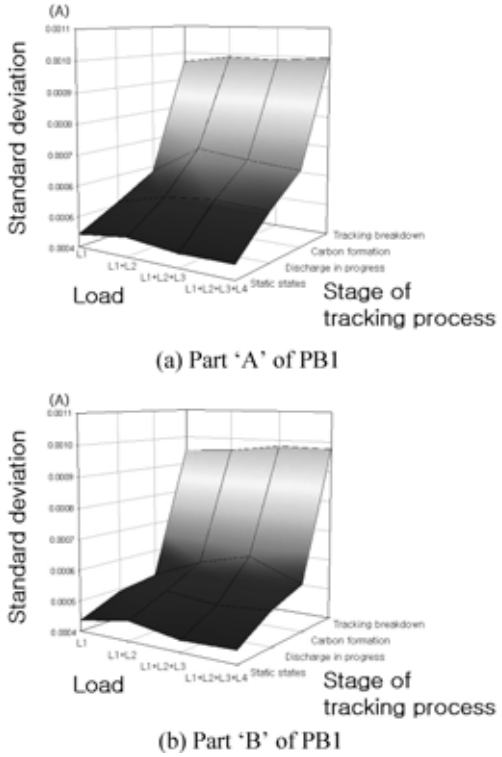

Figure 7. Standard deviation for part 'A' and 'B' of PB1 from Figure 2 to 5.

하지만 트래킹으로 진전되어 갈수록 커지는 것을 볼 수 있다.

Table 2는 Figure 2부터 5까지에서 각각 A와 B 부분의 데이터에 대하여 평균 m이 0이 되도록 옵셋(offset)을 제거한 후, 확률분포를 구하였다. 이때 계급구간은 부하가 1개 이면서 정상상태인 Figure 2(a)의 'A' 부분의 표준편차값 σ를 이용하여 [−∞, −9σ], [−9σ, −6σ], [−6σ, −3σ], [−3σ, 0], [0, 3σ], [3σ, 6σ], [6σ, 9σ], [9σ, ∞]로 하였다.

구간 [−3σ, 3σ]에 속할 확률은 정상상태에서 99.8%를 넘는 반면에 사고로 진전되어 갈수록 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다. 반면에 사고로 진전되어 갈수록 평균에서 보다 먼 구간까지 데이터가 분포하고 있으며, 이 구간에서의 확률분포 값도 점차 커지고 있다.

사고인 트래킹 파괴가 일어나게 되면 데이터들의 분포 구간은 좁혀지지만, [−6σ, −3σ], [3σ, 6σ]에 속하는 확률이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다.

또한, 이러한 현상은 부하의 수에 관계없이 일정하게 나타나고 있다.

Table 2. Probability Distribution

Category		−∞ ~ −9σ	−9σ ~ −6σ	−6σ ~ −3σ	−3σ ~ 0	0 ~ 3σ	3σ ~ 6σ	6σ ~ 9σ	9σ ~∞
Figure 2	(a)	0.0	0.0	0.0	54.4	45.5	0.1	0.0	0.0
	(b)	0.0	0.0	0.2	50.7	48.9	0.2	0.0	0.0
	(c)	0.0	0.1	0.7	40.4	58.3	0.4	0.1	0.0
	(d)	0.0	0.0	3.6	44.9	44.9	6.6	0.0	0.0
Figure 3	(a)	0.0	0.0	0.0	54.6	45.2	0.2	0.0	0.0
	(b)	0.0	0.0	0.3	44.5	54.9	0.3	0.0	0.0
	(c)	0.0	0.1	0.6	46.9	50.3	1.7	0.3	0.1
	(d)	0.0	0.0	3.5	42.7	34.4	19.4	0.0	0.0
Figure 4	(a)	0.0	0.0	0.0	56.3	43.7	0.0	0.0	0.0
	(b)	0.0	0.0	0.0	45.7	53.5	0.8	0.0	0.0
	(c)	0.1	0.3	1.3	42.2	54.9	0.9	0.2	0.1
	(d)	0.0	0.0	4.5	41.6	44.6	9.3	0.0	0.0
Figure 5	(a)	0.0	0.0	0.1	55.5	44.4	0.0	0.0	0.0
	(b)	0.0	0.0	0.2	46.3	52.9	0.6	0.0	0.0
	(c)	0.0	0.1	0.9	45.8	51.6	1.5	0.1	0.0
	(d)	0.0	0.0	4.8	47.7	38.5	9.0	0.0	0.0

5. 결 론

본 연구는 전기설비에서 재해의 발생 징후를 검출하기 위한 기초연구로서 백열전구를 부하로 하는 전기설비를 모의한 후, 트래킹 발생장치를 이용하여 모의 전기설비 내에서 사고를 모의하였다.

전기설비에서 사고 징후를 검출하기 위해 전류모니터를 이용하여 전기설비의 전체전류를 검출하여 분석한 결과는 아래와 같다.

(1) 사고 징후인 전류펄스의 크기는 부하전류에 비하면 매우 작지만 전류모니터의 특성상 저항성 전기설비의 전체 전류로부터 전류펄스를 관찰하는 것이 가능하였다.

(2) 부하의 수에 관계없이 사고로 이행되어 갈수록 (1)에서 관찰한 전류 파형에 보다 크고 많은 전류펄스가 관측되었다.

(3) (1)에서 관측된 전류파형에 대하여 특정 영역의 평균을 구한 결과 부하의 수나 사고의 진전과는 무관하였다. 반면에 표준편차는 부하의 수와는 무관하지만 사고가 진전될수록 크게 나타났다.

(4) (3)에서 검출된 전류파형에 대하여 평균이 0이되도록 옵셋을 제거한 후, 정상상태 때의 표준편차를 이용하여 만든 계급구간에 대한 확률분포를 구하였다. 사고로 진전되어 갈수록 평균값 0으로부터 보다 멀리까지 보다 많은 수의 데이터들이 분포하고 있었다. 이러한 분포의 특징은 부하의 수와 관계없이 사고의 진전정도에 따라 일정한 패턴을 보였다.

이상의 결과들은 전기설비에서 재해발생 가능성 즉, 사고 징후를 검출하는데 이용이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 한국전기안전공사, “2005년도 전기재해통계보고서”, 전기재해통계정보시스템(http://www.kesco.net)(2006).
2. 최충석, 김현우, 이경섭, 이춘하, 임양수, 정재희, “전기화재공학”, 동화기술, pp.203-265(2004).
3. 이춘하, 이광식, 심광열, 지승욱, “전기안전관리의 길잡이”, 태영문화사, pp.58-78(2007).
4. 박외철, 유재환, 이수경, 이춘하, 전중함, 김영수, “최신 소방설비”, 동화기술, pp.33-85(1999).
5. 최병화, “유기절연재료표면의 Tracking 파괴에 관한 연구”, 영남대학교 석사학위논문(1985).
6. N. Yoshimura, M. Nishida and F. Noto, “Influence of the Electrolyte on Tracking Breakdown of Organic Insulating Materials”, IEEE Trans. Elect. Insulation, Vol.EI-16, No.6, pp.510-520(1981.12).
7. 西田眞, 吉村昇, 能登文敏, “霧でれに有機絶縁材料表面のトラッキング破壞”, 일본전기학회논문지A, pp.121-127(昭54-A16).
8. 전춘생, “방전·고전압공학”, 동명사, pp.77-114(1993).
9. KS C IEC 60112, “고체 절연 재료의 내트래킹 및 비교트래킹 지수 측정 방법”(2005).
10. 옥경재, 이춘하, “오염된 절연재료의 트래킹 특성에 관한 연구”, 한국소방학회논문지, Vol.21, No.3, pp. 97-103(2007).
11. 吉村昇,西田眞,能登文敏, “有機絶縁材料表面のトラッキング 破壞における炭火開始過程(IEC 112 方法の場合)”, 일본전기학회논문지 A, pp.429-436(昭56-A54).
12. 지승욱, 옥경재, 김시국, 이춘하, 이광식, “전류 모니터를 이용한 백열등 부하 전기설비에서 사고 징후 검출에 관한 연구”, 조명전기설비학회논문지, Vol.23, No.1, pp.109-115(2009).