

## Standby Mode에서 출화된 콘센트의 화염 패턴 및 전기적 특성에 관한 연구

### A Study on the Flame Pattern and the Electrical Properties of Electric Outlet Fired at Standby Mode

최충석<sup>†</sup> · 송길목 · 김형래 · 김향곤 · 김동욱 · 김동우

Chung-Seog Choi<sup>†</sup> · Kil-Mok Shong · Hyung-Rae Kim · Hyang-Kon Kim  
Dong-Ook Kim · Dong-Woo Kim

전기안전시험연구원(한국전기안전공사 부설)  
(2002. 01. 21. 접수/2002. 02. 28. 채택)

#### 요 약

Standby mode에서 출화된 콘센트의 화염 패턴 및 전기적 특성에 대해서 분석하였다. 탄화 패턴을 분석한 결과 불꽃은 약 50~70 cm 정도 방사되었다. 가연물에 착화된 후 약 150 sec 경과하였을 때 온도가 약 300°C까지 상승했으며, 화염은 ceiling jet을 형성하며 급속도로 확산되었다. 트래킹은 극간의 최단 거리를 형성하며 이루어졌으며 저항 값은 약 100~300 Ω을 나타냈다. 칼받이를 금속 현미경으로 분석한 결과 정상 부분은 비정질 구조를 나타냈으나, 트래킹에 의해 손상된 부분은 수지상 조직(dendrite structure)과 보이드(void)가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 용융된 칼받이를 SEM 및 EDX로 분석한 결과 정상 부분과 용융된 부분의 구조와 조성 변화에 차이가 있다.

#### ABSTRACT

In this paper, we analyzed the flame patterns and the electrical characteristics of the electric outlet which was fired at standby mode. The carbonized patterns indicated that the flame had spread about 50 cm to 70 cm. After the combustibles on wall started to burn, the temperature went up to about 300°C in 150 sec. The flame formed ceiling jet and spread quickly. The tracking was generated at the shortest distance between two electrodes and the resistance was about 100 Ω to 300 Ω. As the result of analysis using metallurgical microscope, the normal part of a blade holder showed amorphous structure, but the melted part of a blade holder damaged by tracking showed dendrite structure and void evenly. When the blade holder of damaged outlet was analyzed by SEM and EDX, we found that the structure and components of the normal part were different from those of melted part.

**Keywords :** Standby mode, Carbonized patterns, Ceiling jet, Tracking, Dendrite structure

#### 1. 서 론

전기기기 사용의 편의성과 이동성을 갖도록 개발된 기기가 콘센트이다. 콘센트는 칼을 안전하게 연결되도록 하는 칼받이와 그것을 전기적으로 절연하고 지지하는 수지로 구성되어 있다. 여기에 사용되는 절연 재료는 대부분 열경화성 수지로 유기 고분자(organic

polymer)이다. 이 절연재료의 표면이 오염되어 열화(劣化)되면 누설 전류가 흐르게 되며 열이 발생한다. 발생한 열은 줄 열(Joule's heat)이며, 절연 재료의 표면에 있는 수분, 염분, 기름 등을 국부적으로 건조시켜 건조대(dry band)를 형성시키는 과정이 반복된다. 이때 미소 발광 방전(scintillation discharge)이 발생하고 줄 열에 의해 절연물은 조금씩 열화(劣化)되어 결국에는 탄화물로 바뀌게 된다.

전계(electric field)가 집중되어 탄화 생성물이 점점

<sup>†</sup>E-mail: ccseog@netian.com

많아지면 결국 단락(electric short)되어 절연 파괴로 이어지는데 이것을 트래킹 현상(tracking phenomenon)이라 한다. 트래킹 현상을 일으키는 요소는 수분, 염분, 먼지, 도전성 분말, 산성비 등이 있다. 또한, 트래킹 현상은 인가 전압의 크기, 전극의 형상, 절연 재료의 표면 상태, 누설 전류의 크기, 방전의 상태 등에 따라 차이가 있다.<sup>1,3)</sup>

누전전류에 의한 절연 재료의 소손은 무기 절연 재료보다 유기 절연 재료에서 발생하는 것이 대부분이다. 유기 절연 재료는 탄소 분자로 구성되어 있어서 열에 약하며 내구성 등이 나쁘다. 유기 절연 재료인 수지가 전기적으로 열화(劣化)되어 기능이 저하되는 대표적 현상이 트래킹(tracking)이다.

L. Centurion 등은 수분에 따른 고체 유전체의 트래킹 형성에 대해 연구하였으며, N. Yoshimura 등은 유기 물질의 트래킹 방전에서 생성되는 발광(emission)에 대해서 발표하였다.<sup>4,5)</sup> 그러나 이들 연구는 고압 또는 특별 고압을 적용한 연구이고, 저압용 전기 설비 기계 기구에 사용된 유기 절연 재료의 사고 위험성에 대

한 연구는 미약한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘센트까지 전기가 공급되고 부하 측의 전원스위치가 온(on)의 상태 즉 standby mode에서 출화된 콘센트의 화염 패턴 및 전기적 특성을 분석하여 전기기기 사고 예방에 적용하고자 한다.

## 2. 실험방법

절연 재료의 트래킹 시험은 오염 상태에서 하는 습식 시험법과 가상의 모형을 제작하여 시험하는 건식 시험법 등이 있으며, IEC-587, ASTM D 2303 등에 언급되어 있다.<sup>6,7)</sup>

본 연구에서는 경사면에서 트래킹의 진행 특성을 해석하는데 적용되는 IEC-587을 참고하였으며, 둥근형 매입 2구 콘센트(2극, 15 A, 250 V, 측면 접지극부)를 적용하였다. standby mode에서의 전압은 교류 220 V이며, 전압 조정기(Daelim Electricity Co., Korea)를 이용하여 일정하게 유지시켰다.

일정한 조건에서 콘센트가 열화(劣化)되도록 오손액

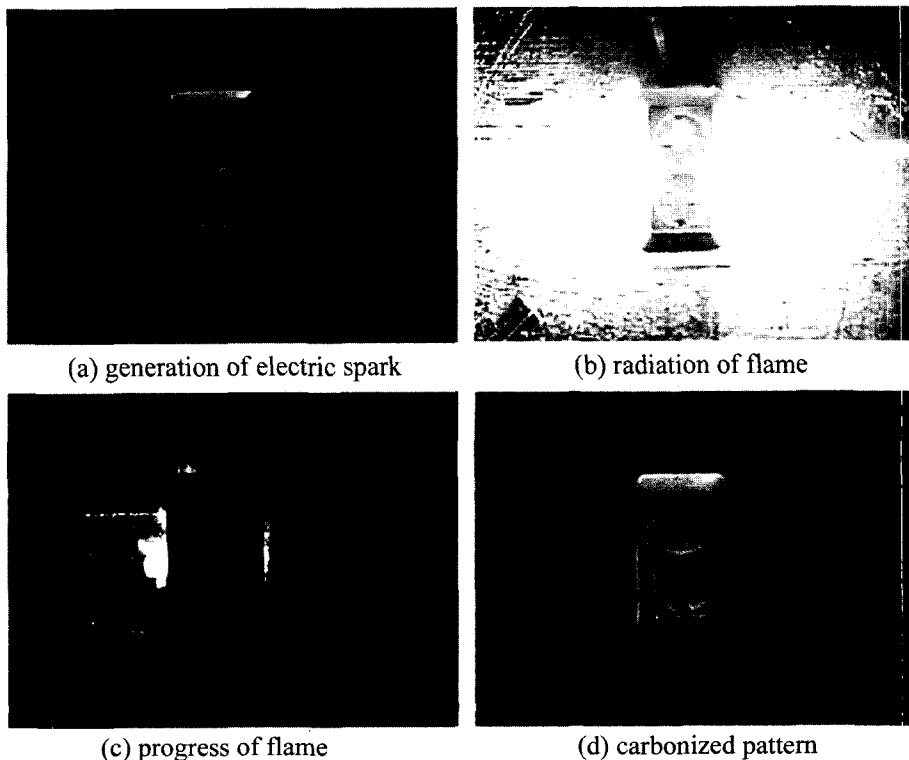


Fig. 1. The diffusion process of the flame from an electric outlet.

은 1% 염화나트륨(NaCl) 수용액을 사용하였다. 콘센트를 벽면에 매입한 상태에서 유량은 1.0 ml/min로 상부에서 하부로 자연 낙하되도록 하였다. 또한, 실험실의 주위온도는  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대 습도는  $50 \pm 5\%$ 로 유지하였다.

트래킹 진전에 따른 화염의 방사 특성은 실체 사진으로 나타냈으며, 생성된 탄화물의 표면 상태는 실체 현미경(Stereo Microscope, SV-11, Carlzeiss, Denmark)을 이용해 분석했다. 또한, 용융된 금속의 구조 분석은 금속 현미경(Metallurgical microscope, Epiphot, Nikon, Japan) 및 주사 전자 현미경(SEM; Scanning Electron Microscope, JSM-6400, Jeol, Japan)을 이용하였다.

그리고 트래킹에 의해 소손된 콘센트의 조성 변화 분석은 에너지 분산형 X선 분석기(EDX, Ultracool, Oxford, England)를 이용했으며, 열 중량 변화는 열 중량 분석기(TGA, SDT-2960, TA-Ins., USA)를 적용하였다.

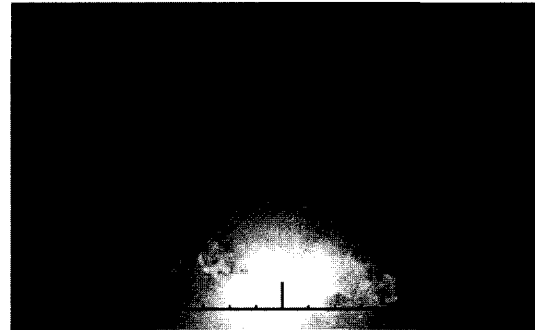
### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 콘센트의 절연 파괴에 따른 화염의 확산 정도를 나타낸 것이다. standby mode의 콘센트에 공급된 전압은 교류 220 V이며, 벽에 매입된 상태이다.

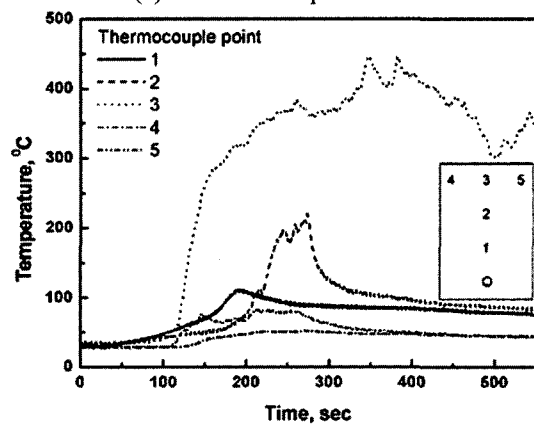
그림 (a)는 초기 불꽃의 발생을 나타낸 것이며, 그림 (b)는 불꽃이 성장하여 방사되는 형태를 나타낸 것이다. 불꽃은 벽과 콘센트의 틈 사이로 확산되었으며, 매우 강렬하게 진행됨을 알 수 있었다. 이와 같은 격렬한 방사는 약 2 sec 정도 지속되었으며, 주위에 가연물이 있는 경우 그림 (c)과 같이 콘센트의 절연물에 착화되어 점진적인 일반 화재로 확산됨을 알 수 있었다. 즉 전기적인 스파크가 인접한 가연성 물질에 착화시킴으로서 일반화재로 진전되는 것이다. 화염의 확산은 시간의 경과, 주위 온도 및 습도, 기류 등과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

그림 (d)는 화재가 진압된 후의 사진으로 탄화 패턴을 분석한 결과 불꽃은 약 50~70 cm 정도 방사됨을 알 수 있었다. 즉 이 범위에 가연성 분진, 가스, 섬유 등 인화성이 우수한 물질이 있는 경우 일반 화재로 확산될 가능성이 매우 높음을 알 수 있다.

그림 2는 화염의 확산 범위와 시간에 따른 벽의 온도 상승 분포를 나타낸 것이다. 그림 (a)는 화염의 확산 정도를 나타낸 것으로 눈금 한 칸의 길이는 10 cm이다. 중심부에서 최대 약 50~70 cm 정도 확산되었으며, 시간의 경과에 따라 상승 기류를 타고 상부로 확산되었다.



(a) diffusion scope of flame



(b) temperature distribution of the wall

Fig. 2. The diffusion scope of flame and temperature distribution of the wall with time.

그림 (b)는 시간의 경과에 따른 벽의 온도 분포를 나타낸 것이다. 콘센트 중심을 0번으로 했으며 그림에 나타난 바와 같이 20 cm 간격으로 K-type 열전대를 설치하였다. 상승 기류에 의한 화염의 확산이 3번에서 가장 빠름을 확인할 수 있었고, 약 150 sec 경과하였을 때 온도가 약  $300^\circ\text{C}$ 까지 상승했음을 알 수 있다. 즉 매우 빠른 화염의 확산을 보여주고 있으며 시간의 경과에 따라 온도는 점점 증가하며, 천장을 타고 화염(ceiling jet)은 급속도로 확산되었다. 그리고 4번, 5번에 설치된 열전대의 온도에서도 알 수 있듯이 특별한 조건이 아니면 화염은 상승 기류에 매우 밀접함을 확인할 수 있었다.

그림 3은 트래킹에 의해 소손된 콘센트의 실체 사진 및 저항 변화를 나타낸 것이다. 그림 (a)는 소손된 콘센트 표면의 실체 사진으로 칼반의 일부가 용융되었으며, 절연물인 수지(resin)도 심하게 탄화되었음을 알 수 있다. 그림 (b)는 트래킹된 5개의 콘센트에 대해 동

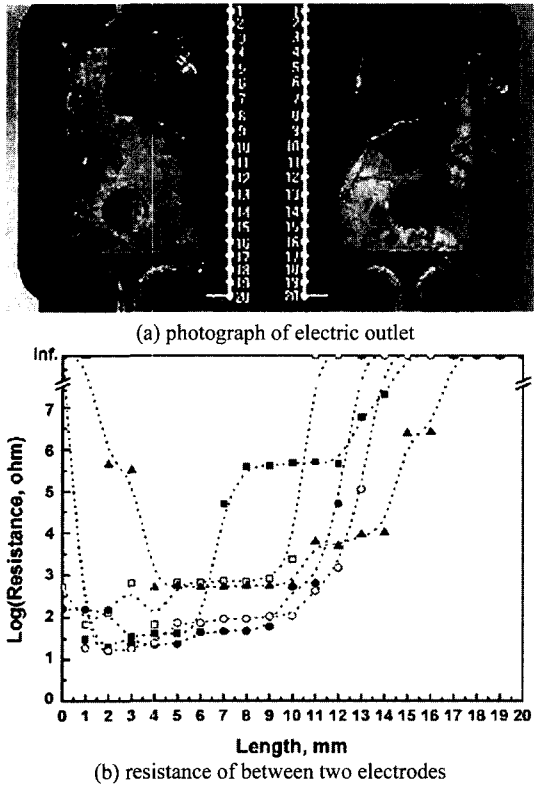


Fig. 3. The photograph and resistance variation of electric outlet(▲; sample 1, □; sample 2, ■; sample 3, ○; sample 4, ●; sample 5).



Fig. 4. The photograph for the blade holder of the damaged electric outlet.

일한 조건에서 절연 저항치를 측정 한 것이다. 저항의 변화를 보면 상부 기준의 약 4~6 mm 위치에서 가장 적은 저항 값 100~300 Ω을 나타냈다. 즉 트래킹의 초기에는 전극 사이의 전면을 통해서 이루어지다가 일정

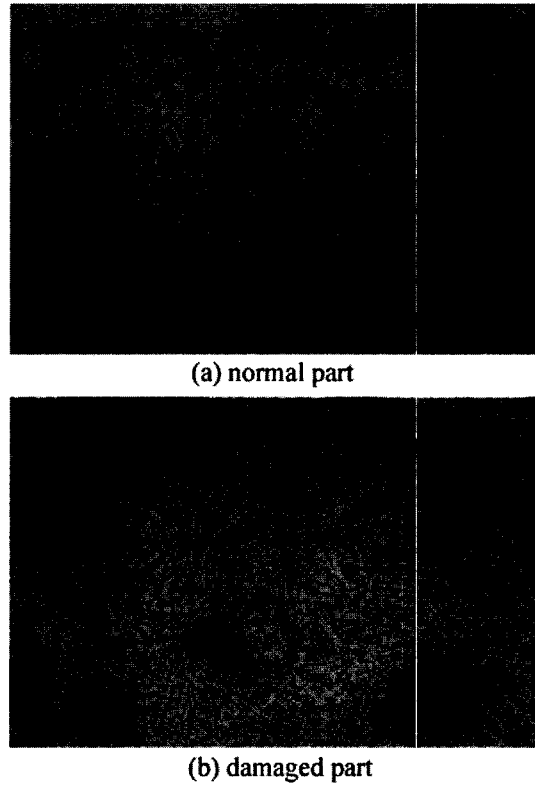


Fig. 5. The metallurgical photograph of damaged blade holder.

한 상태에 도달하면 전극 사이의 최단 거리를 통해서 트래킹이 진전되었음을 알 수 있다.

그림 4는 손상된 콘센트 칼받이의 실제 현미경 사진을 나타낸 것이다. 용융된 구리가 비산되어 표면을 덮고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 급격한 열량 변화에 따른 재결합이 있었던 것으로 판단되며 칼받이 고유의 결정구조가 없어졌다.

그림 5는 그림 4의 금속 현미경 사진을 나타낸 것이다. 그림 (a)는 정상 부분의 금속 조직으로 구리(copper)의 특징을 잘 보이고 있다. 그림 (b)는 트래킹에 의해 손상된 부분의 금속 현미경 사진이다. 비정질 구조가 없어지고 수지상 조직(dendrite structure)과 보이드(void)가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

그림 6은 용융된 칼받이의 SEM 및 EDX 분석 결과이다. 그림 (a)는 칼받이의 SEM 사진으로 정상 부분과 용융된 부분의 표면 구조가 큰 차이가 있다. 이와 같은 사실은 이미 발표한 연구에서도 확인되었으며,<sup>8)</sup> 용융과 재결합에 따른 손상의 정도가 심함을 알 수 있

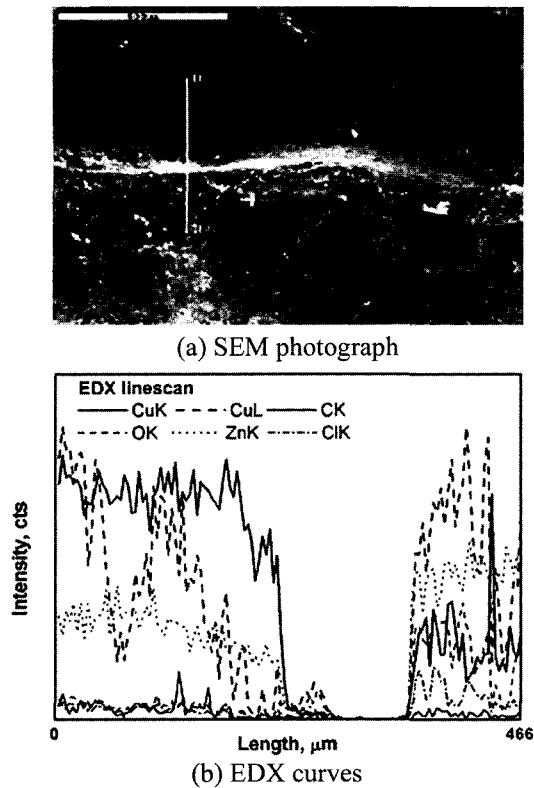


Fig. 6. The SEM photograph and the EDX curves of blade holder.

다. 그림 (b)는 그림 (a)에 나타난 것과 같이 용융된 경계면을 linescan하여 나타낸 EDX 곡선이다. 경계면을 중심으로 조성의 변화가 매우 심하게 일어났으며, 탄화 및 산화 반응도 있었음을 알 수 있다.<sup>9)</sup>

그림 7은 소손된 콘센트 절연물의 열 특성을 분석한 것이다. 그림 (a)는 TGA 곡선으로 정상 시료의 경우 248.8°C에서 급격한 열량 변화를 나타냈으며, 소손된 시료는 287.8°C에서 열량 변화가 나타나고 있으며 이것은 탄화에 의한 트래킹 진전에 따른 물성 변화에 의한 것이다.

그림 (b)는 DSC 곡선으로 분석 결과 정상시료와 소손된 시료의 열량 변화를 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

standby mode에서 출화된 콘센트의 화염 패턴 및 전기적 특성을 실제 현미경, 금속 현미경, SEM, EDX, TGA, DSC 등으로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻

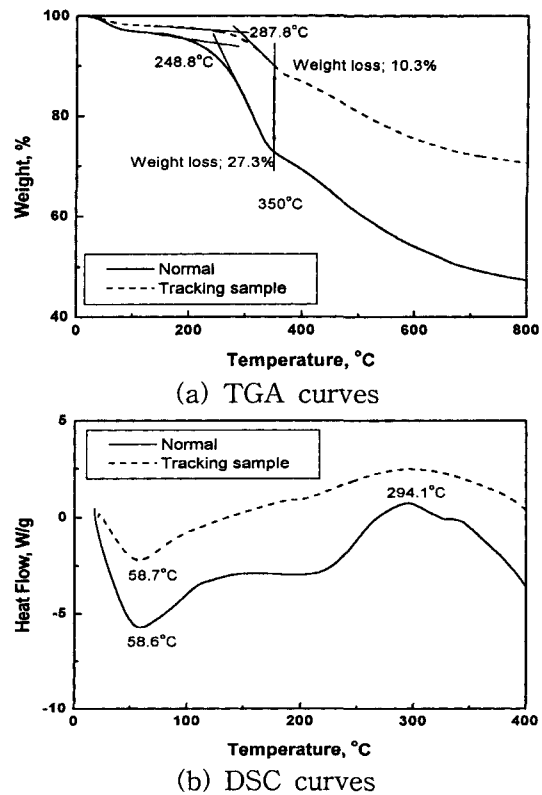


Fig. 7. The TGA and the DSC curves of outlet resin.

었다.

(1) 탄화 패턴을 분석한 결과 불꽃은 약 50~70 cm 정도 방사되었으며, 가연물에 착화된 후 약 150 sec 경과하였을 때 온도가 약 300°C까지 상승했으며, 시간의 경과에 따라 온도는 점점 증가하여 ceiling jet에 의해 화염은 급속도로 확산되었다.

(2) 트래킹은 극간의 최단 거리를 형성하며 이루어졌으며 저항 값은 약 100~300 Ω을 나타냈다.

(3) 칼반이를 금속 현미경으로 분석한 결과 정상 부분은 비정질 구조를 나타냈으나, 트래킹에 의해 소손된 부분은 수지상 조직(dendrite structure)과 보이드(void)가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

(4) 용융된 칼반이를 SEM 및 EDX로 분석한 결과 정상 부분과 용융된 부분의 구조와 조성 변화에 큰 차이가 있었다.

이상과 같은 분석 결과를 종합해 보면 전기기기를 운용하지 않는 상태에서도 설비의 열화(劣化)에 의한 출화가 가능하므로 전기기기 주변에는 가연성 물질이 있지 않도록 해야 할 것이며, 전기기기를 사용한 후에

는 전원을 차단하는 것이 전기재해 예방에 효과가 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 전력산업기반기금의 전력기술 인프라 조성사업, 전기안전 조사연구(1999년~2001년)에 의해 수행되었으며 관계기관에 감사의 말씀을 드립니다.

### 참고문헌

1. G. Karady *et al.*, "Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulators Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 10, No. 4(1995).
2. S. Kumagai and N. Yoshimura, "Tracking and Erosion of HTV Silicone Rubbers of Different Thickness", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No. 4, pp.673-678 (2001).
3. V. Ollier-Dureault and B. Gosse, "Photo-oxidation and Electrical Aging of Anhydride-cured Epoxy Resins", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 6, pp.935-943(1998).
4. L. Centurioni, G. Coletti, and A. Operto, "A Contribution to the Study of the Tracking Phenomenon in Solid Dielectric Materials Under Moist Condition", IEEE Trans. Elect. Insul., pp.147-152(1977).
5. N. Yoshimura, M. Nishida, and F. Noto, "Light Emission from Tracking Discharges on Organic Insulation", IEEE. Trans. Elect. Insul., EI-19 (1984).
6. IEC Publication 60587, Second Edition, "Test Method for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical Insulating Materials use Under Severe Ambient Conditions"(1984).
7. ASTM D 2303-90, "Standard Test Methods for Liquid-Contaminant, Inclined-Plane Tracking and Erosion of Insulating Materials".
8. 최충석, 이경섭, 이덕출, "열열화된 600V 2중 비닐절연 전선의 특성 변화 연구", 대한전기학회논문지, 49C권, 1호, pp.8-12(2000).
9. 최충석, 이덕출, "YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> 플라즈마 프름의 발광분광분석", 대한전기학회논문지, 44권, 9호, pp.1182-1186(1995).