

## 絶緣用 高分子材料의 Tracking現象과 防止對策에 관한 研究

전 영 준, 서 동 철, 유 재 일, 김 진 우, 정 우 교<sup>a)</sup>, 박 대 희<sup>b)</sup>  
평인산위(주), a) 생산기술원, b) 원광대학

### A Study on Countermeasures and Tracking Phenomena of Polymer

Young -Jun Jeon, Dong-Chul Seo, Jae-Il Yoo, Jin-Woo Kim, Woo-Kyo Jung<sup>a)</sup>,  
Dae-Hee Park<sup>b)</sup>

Pyung-Il Ind. Co., a)KAITTECH, b)Wonkwang University

#### Abstract

Electrical property of polymeric insulating plays a key role in the trend of making power apparatus high voltage, and reliability and safety of apparatus in the long term depend on it. There is a recent trend of applying polymeric material to insulating material for outdoor, and particularly it is expected that it may be used partly as a pin insulator. Using as an alternate of insulating material for outdoor, however, it has still many problems to be solved in the field of material such as resistances of environment and tracking.

It has been given attention to that the silicon rubbers and the epoxy have recently been used, but the the reliability in the viewpoint of material property becomes an issue.

The polymeric materials such as EPDM, Epoxy and PVC have also been used as an insulating materials for outdoor.

In this point of view, we studied each tracking phenomenon with test material such as rubber for pin, PVC for powercable used as an insulating material for outdoor, and Epoxy etc.

The characteristics of anti tracking shows EPDM>Epoxy>PVC in order in the results. We also know that there is an close relationship between properties of tracking and thermogravimetry.

#### 1. 서 론

전력기기의 절연체로서 고분자재료가 폭넓게 사용되어 지고 있으며, 이들의 절연체재료의 사용조건은 점점 가혹하

게 되어 지고 있는 실정에 있다. 사용환경의 가혹화는 많은 습기나, 부식성의 가스등에 의해서 절연표면이 오염되어져 표면절연특성이 저하는 전력기기의 신뢰성에 중요한 문제로 되고 있다. 고체절연방식에 있어서 관통방향의 절연특성이 우수하여도 표면에 있어서 연면방향의 절연특성의 저하는 궁극적으로 전력기기의 절연시스템을 파괴시킨 옥내용의 플라스틱에자등에서 많은 사고를 일으키고 있다.

고분자절연체료를 옥내외에서 사용할 때, 사용중의 환경 즉 오존, 습윤, 풍우, 태양광선 및 온도의 변화등의 영향에 의해 미소연면방전이 발생하고, 그 결과 Tracking파괴를 일으키는 것이다. 이 Tracking현상은 직접·간접적으로 전기적인 화재를 일으키는 원인이 되고 있다.<sup>1)</sup> 따라서 고분자 절연체재료의 난연화는 이와같은 화재사고의 방지와 전력을 안정적으로 공급하기 위하여 요구되어지고 있다.<sup>2)3)</sup> 이것에 대응하기 위하여, 각종의 규격이 개정되어지고 있으며, 원자력발전소용 절연체재료에서는 이미 적용이 되고 있다.

이 Tracking파괴는 절연체재료 표면상의 전위차가 있는 부분에 탄화도전로를 형성하여, 절연성을 잃는 현상으로 정의 할 수 있다. Tracking파괴의 직접적인 원인으로 되는 것은 미소의 방전의 열에 의한 것으로 보고되고 있으며, Tracking파괴를 검토하는데 예는 방전의 거동과 그의 탄화열화에 미치는 영향에 대하여 밝히는 것이 중요한 문제이다.<sup>4)</sup>

본 연구에서의 시험방법은 전력기기용의 절연체재료라는 관점에서 가능하면 고전압에서 Tracking현상을 평가하고져 IEC 587를 적용하였다.<sup>5)</sup>

본 연구는 전력케이블용 PVC, 플라스틱에자용 고무와 에폭시등의 3가지의 시료로서, 각 시료의 열분해의 특성과 Tracking파괴시간등을 평가하고, 방지대책등에 대하여 보고한다.

## 2. 시험방법

이 시험방법은 오손액과 경사되어진 평판시험편을 이용하여, 내Tracking성과 내침식성의 측정을 일정Tracking전압의 방법과 계단식Tracking전압의 방법으로 구분된다. 시험종료의 기준은 2가지로 판정되어진다. 한가지는 시험시료를 통하여 고압회로에 흐르는 전류가 60mA를 넘을때 끝나고, 다른 한가지는 시험시료의 표면상에 하부전극에서 25mm의 위치에 Track가 도달하는 때에 끝마치는 방법이 있다. 본 실험에서는 후자의 방법으로 판정 하였다. 시험시료의 준비는 가능하면 시료에 따라 표면상태를 동일하게 하기위하여 Sand Paper #220으로 연마하고, 에타놀로 세척하였다. 시료는 50mm X 120mm의 크기이며, 두께는 약 3mm정도의 것을 이용하였다.

이 실험장치의 출력전압은 6kV까지 가변이 가능하며, 정격전류는 0.1A이다. 각 시료에 인가하는 전압은 2.5kV, 3.5kV, 4.5kV로 하고, 이때에 오손액의 유량은 각각 0.60(ml/min)로 하였고, 직렬저항기의 저항치는 33(k $\Omega$ )으로 하였다. 전압인가 전극은 스텐레스로 두께가 5mm이고, 전극간의 거리는 5cm이다.

위와 같은 시험을 통하여 일정전압하에서의 Tracking과 파괴후의 파괴시간, Tracking파괴의 인가전압의 의존성등을 각각 평가하고, 각 시료중에 PVC의 열중량분석을 평가하고, 그의 현상을 고찰하며 방지대책을 제안한다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 Tracking진전시간

그림 1은 PVC, Epoxy, EPDM의 각 시료에 대한 Tracking파괴 진전시간의 결과이다. Tracking진전시간은 4.5kV의 전압을 인가한 후에 시료표면의 하부전극에서 상부전극으로 2.5cm정도 Track이 진전된 시간을 나타냈다. 본 결과로부터 각각의 Track진전시간은 PVC의 경우는 25초, Epoxy는 80초, EPDM은 210초를 나타내고 있다. 내열성이 우수한 EPDM의 경우는 Tracking진전시간이 가장 길다는 것을 알 수 있었으며, PVC에 비하여 흑화 및 하부전극으로부터 시작되는 Track의 폭이 현저하게 좁게 나타났다. Track가 발생되어진 PVC의 표면상태는 하부전극의 선단으로부터 폭 넓게 흑화현상을 나타내고 용융흔적이 많음을 알 수 있었으며, 이와같은 PVC는 Resin의 열적인 특성과 첨가제에 따라서 크게 의존되는 것으로 사료된다.

Epoxy 및 EPDM의 표면상태는 PVC와 같이 Track의 Path가 넓지 않고 거의 직선적으로 진전된 것을 알 수 있었고, PVC와 같이 용융의 상태는 보이지 않았다. 이와같은 표면의 Tracking의 진전Path는 표면상태 및 재료의 열적인 특성에 크게 의존되는 것으로 사료된다.

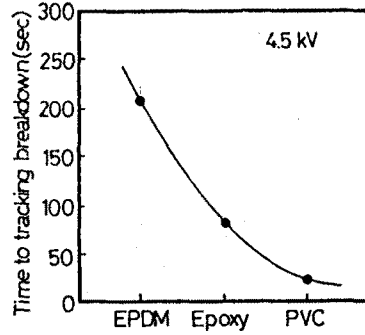


그림 1. 재료별 Tracking진전시간

### 3.2 Tracking진전시간의 인가전압의 의존성

본 실험은 PVC의 Tracking파괴진전의 인가전압과 표면 거칠기 방향의 시간의존성을 고찰하였다. 이때 인가전압은 2.5, 3.5, 4.5kV로 하고, 시료의 표면상태는 Sand Paper로 상부전극과 하부전극의 방향으로 연마한 경우와 수직 방향으로 연마한 경우로 하였다.

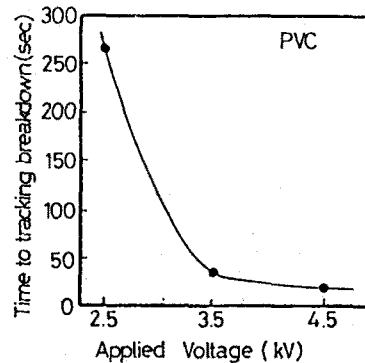


그림 2. 상하전극방향으로 연마후의 Tracking진전 시간의 인가전압의존성

그림 2는 표면상태를 상부전극과 하부전극의 방향으로 연마한 경우에 인가전압에 따른 Tracking진전시간을 나타낸 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 인가전압이 높아짐에 따라서 파괴시간이 현저하게 저하되는 것을 알 수 있었으며, 이때의 파괴후의 표면상태는 진전시간이 길어질수록 하부전극으로부터 흑화진전의 폭이 상부전극방향으로 넓어지며, 침식깊이가 깊어지고 있음을 알 수 있었다. 이와같은 결과는 전압의 인가시간이 길어짐에 따라서 열화가 더욱 가속되어 지고, 시료의 표면용융이 현저하게 진행됨을 알 수 있었다. 즉 인가되어지는 전압이 낮아도 시간이 길어짐에 따라서 표면의 흑화 현상이 하부의 부전극으로부터 크게 진전되고 있음을 나타낸다.

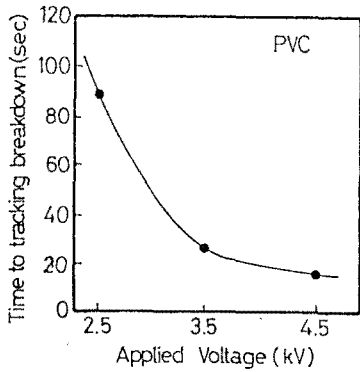


그림 3. 전극 수직방향으로 연마한후 Tracking진전시간의 인가전압의존성

그림 3은 표면상태를 상부전극과 하부전극의 수직방향으로 연마한 경우에 인가전압에 따른 Tracking진전시간을 나타낸 결과이다. 본 결과로부터 알 수 있는 Tracking진전시간은 인가전압이 높아짐에 따라서 저하하나, 그림 2에 비해서 Tracking진전시간은 작아짐을 알 수 있었다. 시료표면파괴의 상태는 그림 2의 결과에 비해서 흑화의 폭이 전체적으로 좁게 나타나고 있어 표면의 연마 상태에 Tracking파괴의 진전Path가 크게 변하는 것을 알 수 있었다. 그러나 일반적인 예측되어지는 Tracking진전시간은 상부와 하부전극 방향으로 연마한 경우와 수직방향으로 연마한 경우를 비교하면, 오히려 상부와 하부전극 방향으로 연마한 경우가 길어짐을 알 수 있었다.

이와같은 결과는 본 실험에서 표면의 상태보다는 오염액이 상부전극에서 하부전극으로 향하는 Path에 크게 의존되는 것으로 사료된다.

### 3.3 Tracking진전의 고찰

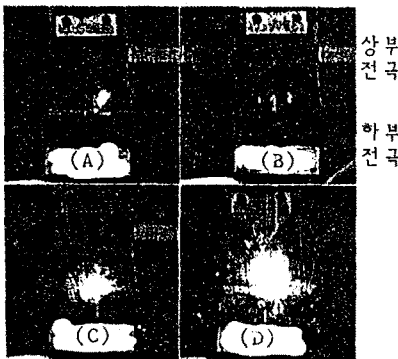


그림 4. Tracking진전과정

PVC에 있어서 Tracking진전의 과정은 그림 4 (a),(b),(c),(d)와 같다. 초기에 부전극의 선단에서 약간의 표면방전을 일으키다가, (a)에서는 불꽃방전으로 이진되는 것을 나타내고 있다.

또한 (b)에서는 (c)의 불꽃방전이 소멸되고, (c)에서는 다시 부전극의 선단에서 표면방전이 넓어지고 있는 현상을 나타내며, (d)에서는 양전극간에 전로 파괴를 나타내고 있다. 일반적으로 습기조건하에서 Tracking파괴에 이르는 과정은 절연재료의 습기나 오손→연면누설전류에 의한 액백의 증발과 분단→극부적인 방전의 발생→탄화도전로의 형성→탄화로의 진전→Tracking파괴로 된다. 이와 같은 표면파괴로 인하여 파괴된 부분의PVC의 중량감소가 예측된다.

### 3.4 열중량측정 및 분석

Tracking파괴에 이르는 것은 시료표면에 도전성의 탄화도전로가 형성되어지기 때문이다. 시료표면이 흑색화 열화하고, 중량감소를 일으키는 것은 방전에너지에 의한 열열화에 의한 것으로 생각된다. 이 도전성 분해생성물 및 염소함유량의 증가와 함께 중량감소의 변화에 관한 특성을 조사하기 위하여 열중량(TG)측정을 행하고, PVC의 열에 대한 안정성을 조사하였다.

그림 5는 PVC의 열분해곡선이다. EPDM의 경우는 약 500℃, Epoxy의 경우는 420℃부근에서 각각 급격하게 중량의 감소현상을 나타낸다. 그림 5의 PVC는 앞의 시료와는 달리 제 1단계의 감량영역을 거쳐서 중간의 평활한 영역을 나타내고, 또한 제 2단계의 감량영역을 거쳐서 550℃

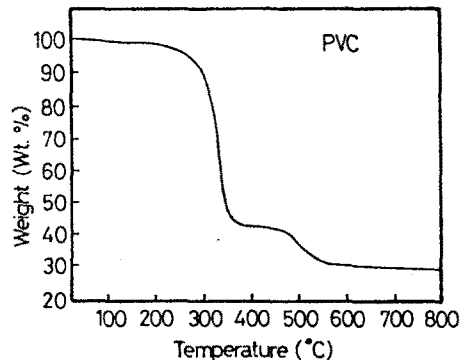


그림 5. PVC의 열분해곡선

이상의 고온영역에서는 평활한 영역을 나타낸다. PVC의 열분해는 열분해곡선에 있어서 제 1단계의 감량은 HCl의 이탈에 의한 것으로, 그 결과 폴리엔구조가 생긴다. 제 2단계의 감량에서는 C=C의 2중결합에 의한 것으로 사료된다.

그림에서 중간의 평활한 영역의 중량잔존율이 염소함유량과 함께 감소하고 있는 것으로, 제 1단계의 감량의 주원인이 탈염산에 의한 것으로 생각된다.

PVC와 같이 염소함유량이 많을수록 탈염산이 많으며, 중간의 평활한 영역은 제 1단계의 감량에의 형성되어진 폴리엔구조의 환화가 거대한 분자로 되어진다.

이 때문에 염소함유량이 많은 시료일수록 이 평활부가 명확하게 나타난다. Tracking파괴후의 시료표면의 열화가 어느 정도까지 진전 되었는가를 보면, 시료의 표면상의 온도가 최고 400℃까지 상승한다고 보고되고 있다. Billing씨는 공역2중결합이 20개이상이면 흑색을 나타낸다고 보고하고 있다.<sup>6)</sup> 이들의 보고와 앞의 열중량분석으로 부터 고찰하여 보면, 염소함유량이 많을수록 탈염산및 폴리엔구조가 생기기 쉬운것, 염소함유량이 많은 시료, 특히 PVC에 있어서 흑색화 현상이 일어나기 쉬운원인에 있다고 볼수 있다. 이와같은 검토를 통하여 Tracking파괴의 진전방지는 재료적인 측면과 구조적인 측면에서 고찰이 가능하다고 본다.

표면의 상태에 따라서 Tracking진전시간에 영향이 있음을 실험을 통하여, 확인 하였으며, 다른 하나의 측면은 재료적인 측면에서 결합에너지가 큰 재료의 선택과 방전열을 흡수하는 첨가제의 충진도 바람직한 대책으로 사료된다.

#### 4. 결 론

절연성 고분자재료의 Tracking시험을 통하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1) 고분자 절연재료의 내Tracking성은 EPDM > Epoxy > PVC의 순으로 우수함을 시험을 통하여 확인하였다.

2) PVC의 Tracking진전시간은 인가전압이 높아짐에 따라 현저하게 저하하고, 파괴후의 표면상태는 EPDM, Epoxy에 비하여 하부의 부전극으로부터 현저하게 넓게 용융되어지는 상태를 나타냈으며, 진전시간이 길어짐으로 Tracking파괴 침식의 깊이가 깊어진다.

3) 각 시료의 내Tracking특성은 열중량특성의 결과와 깊은 관련성을 나타내고 있으며, 결합에너지가 큰 고분자재료일수록 우수하다.

4) Tracking진전의 대책은 재료적인 측면과 구조적인 측면으로 나누어 볼수 있으며, 후자의 경우 방전열을 흡수하는 첨가제의 충진도 바람직하며, 향후에 본 연구도 추진 계획에 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) M.Saito et al: " An Evaluation Method of Electrical Fire Hazard Caused by Tracking Breakdown" 14th I/IEC Conf., P137(Oct.,1979)
- 2) 河村: "配電用cable의 電氣的着化現象と その防止對策"日本電氣學會誌,98,1121(1978,12)
- 3) 高橋: " 最近の建築電氣設備とビルの防火・防犯對策" 上同,98,72(1978,1)
- 4) 西田 他: "有機絶緣材料表面の Tracking過程で 發生する 放電の 光Pulse計測" 上同,104,41(1984,1)
- 5) IEC Publ.587, First Ed(1977)
- 6) M.J.Billings et al: "Tracking in Polymeric Insulation" IEEE Trans., EI-2,131 (1967)

본 연구는 1994년도 한국전력공사의 연구비지원에 의해 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임