

VCTFK 끝단에서 발생하는 트래킹의 진전특성

(A Characteristic of Tracking Progress Happened at the End of the VCTFK)

지승욱* · 김시국 · 옥경재 · 이춘하 · 이광식**

(Seung-Wook Jee · Shi-Kuk Kim · Kyung-Gea Ok · Chun-Ha Lee · Kwang-Sik Lee)

요 약

본 논문은 배전선으로 널리 사용되고 있는 비닐캡타이어 타원형코드(Polyvinyl chloride insulated cabtyre oval cord, VCTFK)의 끝단에서 발생하는 트래킹의 진전특성에 대하여 언급하고 있다. 트래킹은 VCTFK의 끝단에 전해액을 적하함으로써 발생시켰다.

VCTFK 끝단에서 발생하는 트래킹 진전과정 및 그 특징은 다음과 같다. 방전으로 인해 VCTFK 끝단에서 탄화가 시작되었고 침식도 일어났다. 도체에서 가까운 절연층이 먼저 침식되었으며, 피복층은 그 이후에 침식되었다. 침식이 진행된 이후, VCTFK 끝단의 표면에서 탄화물의 적층이 시작되었다. 적층 단계에서 아크를 동반했으며, 트래킹 파괴로 이어졌다.

Abstract

This paper describes the characteristic of tracking progress happened at the end of the polyvinyl chloride insulated cabtyre oval cord(VCTFK) that is widely used for distribution cord. Tracking is occurred owing to the drop of electrolyte at the end of the VCTFK.

The tracking progress and its characteristic happened at the end of the VCTFK are as follow; Carbonization and electrical erosion are happened at the end of the VCTFK. Electrical erosion is begun at the insulation layer near conductors. After that, it is also happened at the sheath layer. Accumulation of carbonized insulation and sheath materials at the end of the VCTFK is begun after progress of electrical erosion. When the accumulation is progressed arc discharge is appeared and finally it goes to tracking breakdown.

Key Words : Tracking Progress, Electric Erosion, Tracking Breakdown, Polyvinyl Chloride Sheathed Flat Cord

* 주저자 : 영남대학교 전기공학과
** 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수
Tel : 053-810-2486, Fax : 053-810-4767
E-mail : kslee@yu.ac.kr
접수일자 : 2010년 4월 2일
1차심사 : 2010년 4월 6일
심사완료 : 2010년 4월 28일

1. 서 론

우리나라에서 발생하는 전기화재를 사고설비별로 구분할 경우 전기배선 및 배선기구에서 발화하는 화재가 매년 30[%]를 넘고 있다. 이를 다시 세부적으로 분석하면 옥내배선, 전기기기용 코드, 콘센트 등의 순서로 많이 발생하는 것으로 알려져 있다[1].

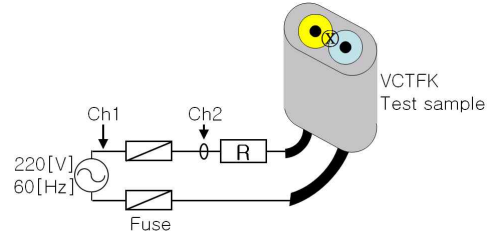
특히 전기배선의 경우 단락에 의한 화재가 60[%] 이상을 차지하고 있기 때문에, 전기배선에서 화재발생가능성에 대한 다양한 연구가 필요하다[1-2].

트래킹과괴는 전기배선에서 발생하는 전기사고의 원인 중 하나로 알려져 있으며 진전과정 또한 비교적 잘 알려져 있다[3-7]. 하지만 대부분의 실험이 IEC(International Electrotechnical Commission)나 ASTM(American Society for Testing and Materials) 규격에서 정하고 있는 모양에 따라 가공된 시료(test sample)를 사용하여 수행되었을 뿐 코드나 케이블처럼 전기재료에서 직접 트래킹을 실험한 연구는 흔하지 않다[8-9].

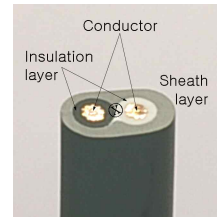
이에 본 논문은 옥외 및 이동용 전기배선으로 많이 쓰이고 있는 비닐캡타이어 타원형코드(이하, VCTFK)에 대하여 트래킹 진전 특성을 구하였다. 트래킹은 VCTFK의 끝단에서 발생시켰으며, 실험결과로부터 VCTFK 끝단에서 발생하는 트래킹의 진전특성을 관찰하였다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1 (a)는 1.25[mm]×2 VCTFK의 끝단에서 발생하는 트래킹 진전 특성을 구명하기 위한 실험 회로도이다. 전원은 교류 220[V], 60[Hz]이고, 저항 R은 무유도성, 퓨즈(Fuse)는 250[V] 0.5[A]이다. 오실로스코프(Oscilloscope, Tektronix, TDS 2022B)로 전압파형과 전류파형을 측정하기 위해 Ch1에는 전압프로브(100:1 probe, LeCroy, PPE 2[kV])를 Ch2에는 전류프로브(Current probe Tektronix, TCPA300 Amplifiers & TCP300)를 각각 연결하였다.



(a) Experimental setup diagram



(b) Outside view of the test sample

그림 1. 실험장치 배치도
Fig. 1. Experimental setup

시료(test sample)는 그림 1 (b)와 같이 VCTFK를 축방향에 수직으로 잘라 그 단면을 에탄올로 세척한 후, 실리카겔(silica gel)로 48시간 건조시켜 사용하였다. 전해액은 0.2[%] NH₄Cl 용액이고, 그림 1의 ⊗지점에 1분 간격으로 20[mm]씩 적하되도록 하였다.

퓨즈가 단선되는 때를 트래킹 파괴 시점으로 간주하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 1의 ⊗ 부분에 전해액이 적하되면 VCTFK의 두 도체 사이에 브리지가 형성된다. 이 브리지를 통해 흐르는 전류의 줄열에 의해 두 도체 사이에는 전계강도가 강한 건조대가 형성된다. 건조대에서 발생하는 방전에 의해 VCTFK의 절연체는 탄화되기 시작한다. 그림 2는 트래킹 파괴가 일어날 때까지 시료 외형의 변화를 보여준다.

그림 2에서 (a)는 적하 초기에 시료의 절연층(그림 1 (b)의 Insulation layer)이 먼저 탄화와 함께 침식되는 것을 보여준다. 절연층의 침식이 어느 정도 진행되고 나면 (b)와 같이 절연층 외곽에 위치한 피복층(그림 1 (b)의 Sheath layer)도 탄화와 함께 침식되었다.

VCTFK 끝단에서 발생하는 트래킹의 진전특성

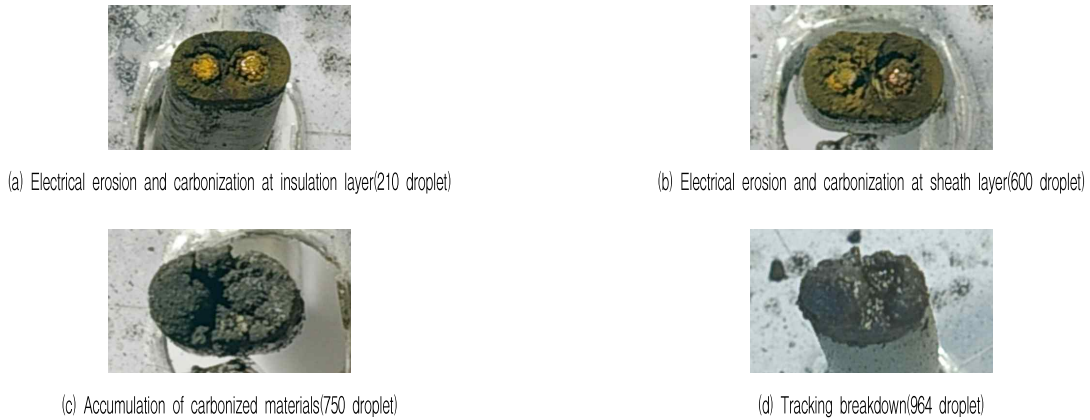


그림 2. 탄화단계별 외형사진
Fig. 2. Outward of VCTFK in progressing of carbonization

절연층과 피복층의 침식이 아래쪽으로 진행된 후, (c)와 같이 시료표면에 탄화물의 적층이 나타났다. 이때부터 트래킹은 보다 빨리 진행되었다. (d)는 트래킹 파괴가 일어난 후의 모습이다.

그림 3은 그림 2에서 언급한 4개의 트래킹 진전단계별로 방전으로 인한 탄화와 침식의 정도를 알아보기 위하여 실험 중인 시료를 잘라 그 단면을 관찰한 것이다.

그림 3 (a)는 그림 2 (a)와 같이 외형적으로 절연층

만 탄화와 함께 침식이 진행 중인 시료에 대하여 그 단면의 모습을 보여준다. 내부도 외형과 동일하게 절연층만 탄화와 함께 침식이 진행되고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 3 (b)는 그림 2 (b)와 같이 외형상 피복층도 탄화와 함께 침식이 진행 중인 시료에 대하여 그 단면을 관찰한 결과이다. 피복층에서 탄화와 침식을 볼 수 있다. 그림 3 (c)는 그림 2 (c)와 같이 외형적으로 탄화물이 적층되기 시작하는 시료에 대하여 그 단면의 모

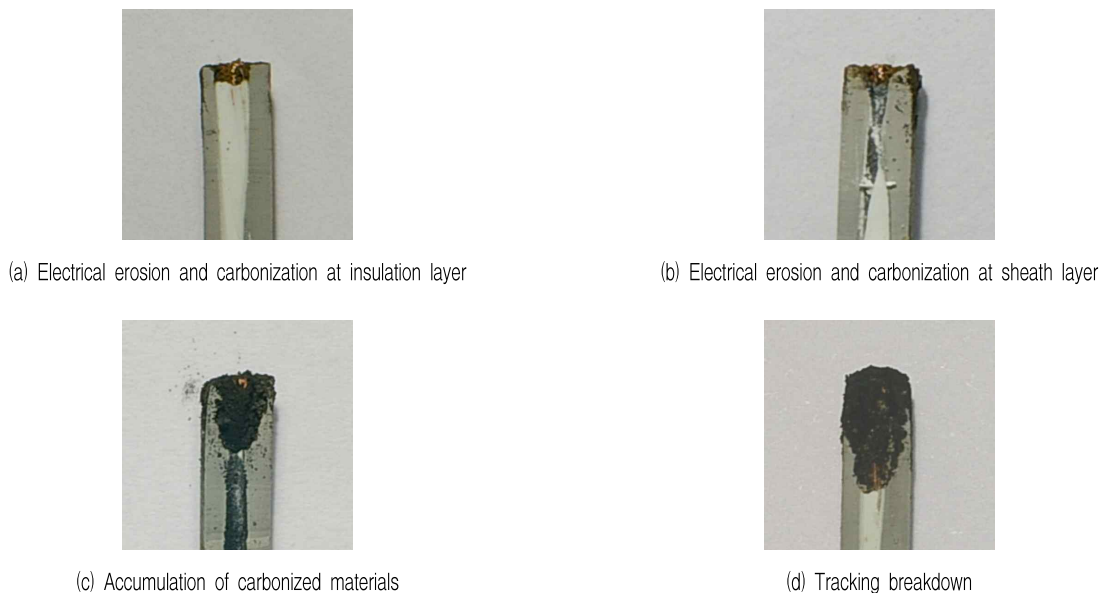


그림 3. 탄화단계별 VCTFK 단면사진
Fig. 3. Cross sections of VCTFK in progressing of carbonization

습을 보여준다. 내부를 보면 피복층도 탄화와 침식이 상당히 진행되었으며 상부에 탄화물이 적층된 모습도 볼 수 있다. 그림 3 (d)는 트래킹 파괴가 일어난 시료의 단면 모습이다. 상단의 경우 피복층 외부까지 탄화가 진행된 것을 볼 수 있으며 절연층의 경우 5[mm] 이상 탄화가 진행된 것을 볼 수 있다.

그림 2 및 3의 결과와 같이, 방전으로 인한 탄화 및 침식이 절연층에서 먼저 발생된 것은 220[V]의 낮은 인가전압으로 인해 건조대가 두 도체 사이의 공간이 아닌 도체 부근에 형성되고, 여기서 방전이 활발하게 발생하기 때문이다. 그림 4는 적하 후 도체 주변에 건조대가 형성된 후 이곳에서 방전이 일어나는 모습을 보여준다. 한편 이러한 분석은 N. Yoshimura가 보고한 인가전압이 낮을 경우(약 300[V] 이하) 건조대는 전극 주변에서 발생하는 것과는 일치한다[5,10-11].

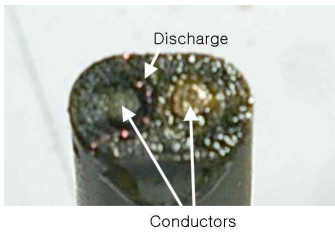


그림 4. 도체 쪽에 형성된 건조대(30 droplet)
Fig. 4. Day band that is formed near one of the conductors

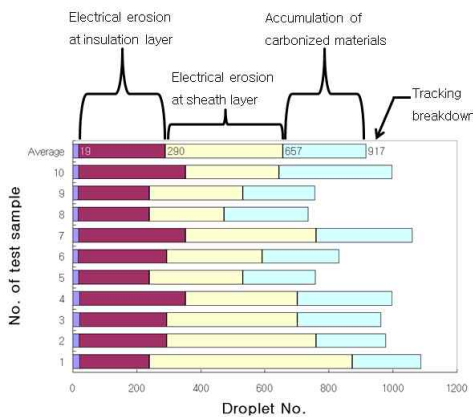
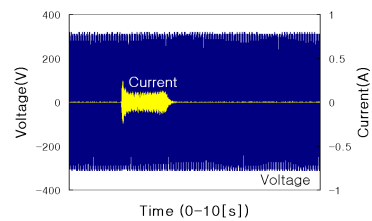


그림 5. 10개의 시료에 대한 트래킹 진전 상태와 적하수의 관계
Fig. 5. Relation between the tracking progress and the number of droplet for 10 test samples

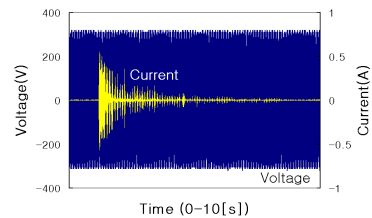
그림 5는 10개의 시료에 대하여 트래킹 실험을 수행하면서, 각각 절연층 침식개시, 피복층 침식개시, 적층개시, 트래킹파괴에 소요되는 적하수를 측정된 결과를 보여준다.

절연층 침식은 평균 19적하, 피복층 침식은 평균 290적하, 적층은 평균 657적하에서 개시되었으며, 트래킹 파괴까지는 평균 917적하가 소요되었다.

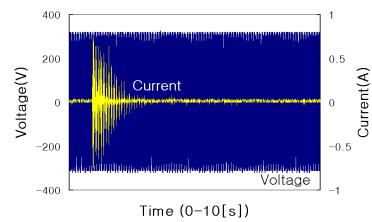
그림 6은 그림 1 (a)의 Ch1과 Ch2로부터 측정된 전압·전류파형으로 브리지가 형성되었을 때의 모습이다.



(a) Before accumulation of carbonized materials (190 droplet)



(b) Before accumulation of carbonized materials (750 droplet)



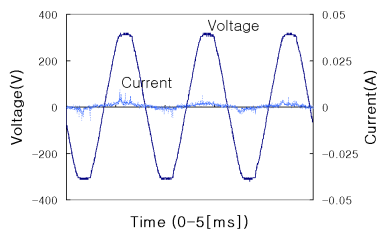
(c) After accumulation of carbonized materials (791 droplet)

그림 6. 브리지 형성 시 전압·전류파형
Fig. 6. Voltage and current waveforms when a bridge between 2 conductors is formed

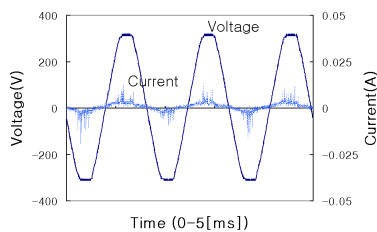
그림 6에서 (a)는 그림 2 (a)나 (b)와 같이 탄화물이 VCTFK의 두 도체 사이에 적층되기 전, (b)는 그림 2

VCTFK 끝단에서 발생하는 트래킹의 진전특성

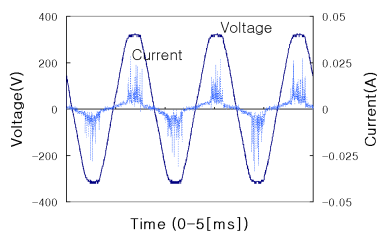
(c)와 같이 두 도체 사이에 탄화물의 적층이 시작되었을 때, (c)는 두 도체 사이에 탄화물의 적층이 상당히 진행되었을 때 측정된 전압·전류파형이다. 적층이 될수록 브리지 전류가 커지는 것을 알 수 있다. 그림 3에서 트래킹으로 진전되어 갈수록 두 도체 사이에 탄화물의 폭이 넓어지고 있다. 즉, 같은 양의 전해액이 적하되었을 때 적층 전의 경우 전해액만으로 브리지를 구성하지만, 적층 후의 경우 전해액과 탄화물이 함께 브리지를 구성하게 됨으로써 그 폭이 넓어지기 때문이다.



(a) Before accumulation of carbonized materials (37 droplet)



(b) Before accumulation of carbonized materials (750 droplet)



(c) After accumulation of carbonized materials (860 droplet)

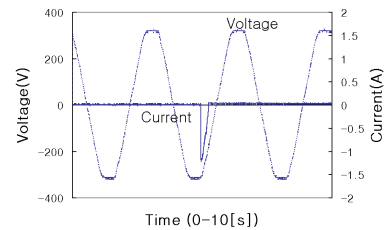
그림 7. 방전 시 전압·전류파형
Fig. 7. Voltage and current waveforms when discharge progresses

그림 7은 방전 시 전압·전류 파형을 보여준다. (a)는 시료표면에 적층이 일어나기 전에, (b)는 적층이 시작되었을 때, (c)는 적층이 상당히 진행된 후에, 측정된 파형이다.

적층 전에 비해 적층 후에 발생하는 방전은 출현 빈도가 많아지고 크기도 훨씬 커졌다. 또한 그림 7에서 (a)는 건조대가 형성되고 나서 십 수초 정도 방전이 유지되지만 적층 진행이 오래될수록 건조대 형성 후 방전의 지속시간도 길어졌다. (c)의 경우 다음 적하 때까지도 방전이 지속되었다. 즉 적층된 탄화물들이 방전을 촉진시키고, 오래 유지시킴으로써 탄화와 침식의 진행속도가 적층 이후 더욱 빨라지는 것이다.



(a) Photograph of outward of VCTFK



(b) Voltage and current waveforms

그림 8. 아크방전 시 시료 외형과 전압·전류파형
Fig. 8. Photograph of outward and voltage and current waveforms of VCTFK when arc discharge occurs(816 droplet)

적층 후 탄화가 진전되어 갈수록 두 도체 사이에서 그림 8과 같이 아크도 관측되었으며, 이후 트래킹 파괴로 이어졌다.

4. 결 론

본 논문은 VCTFK 끝단에서 발생될 수 있는 트래킹 현상에 대하여 그 진전 특징을 연구한 것이다.

이로부터 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, VCTFK 끝단에 전해액을 떨어뜨리게 되면, 방전으로 인해 탄화와 함께 절연층이 먼저 침식된 후 피복층도 침식이 진행된다. 이것은 VCTFK에 인가한 전압이 220[V]로 낮아서 건조대가 도체 주변에 주로 형성되기 때문이다. 따라서 절연층에 사용되는 재료의 내트래킹성을 강화함으로써 VCTFK의 내트래킹성을 강화할 수 있을 것으로 사료된다.

둘째, 실험에 사용된 VCTFK의 경우 10개의 시료에 대한 트래킹실험 결과 절연층 침식은 평균 19적하, 피복층 침식은 평균 290적하, 적층은 평균 657적하에서 개시되었으며, 트래킹 파괴는 평균 917적하가 소요되었다.

셋째, 탄화가 더욱 진행되어 시료표면에 탄화물이 적층되기 시작하면 탄화진전속도는 탄화물 적층 전보다 더욱 빨라졌다. 이는 탄화물의 적층이 많아질수록 탄화의 원인이 되는 방전의 크기는 커지고, 지속시간이 길어지며 출현빈도도 높아지기 때문이다.

넷째, 적층이 진행되면서 아크가 발생되었으며, 이후에 트래킹 파괴로 이어졌다.

다섯째, 이상, VCTFK 끝단에서 발생하는 트래킹 진전 특징을 규명함으로써 보다 안전하게 사용할 수 있는 전기배선을 제조하고 사용, 유지 및 관리하는데 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

[1] 한국전기안전공사, “2007년도 전기재해통계보고서”, 전기재해통계정보시스템(<http://www.kesco.net>), pp.7~28, 2008.

[2] 한국전기안전공사, “배선기구 탄화 및 발열에 의한 전기화재 위험성 연구”, 1996.

[3] 최병화, “有機絶緣材料의 Tracking 破壞에 관한 研究”, 석사학위논문, 영남대학교, 1985.

[4] T. Tanaka, K. Noto and J. Kitagawa, “A basic study on outdoor insulators of organic materials”, IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. E-13, pp. 184-193, 1978.

[5] N. Yoshimura, M. Nishida and F. Noto, “Influence of the electrolyte on tracking breakdown of organic insulating materials”, IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 16, pp. 510-520, 1981.

[6] 지승욱, 옥경재, 이춘하, 이광식, “브리지 특성이 트래킹에 미치는 영향에 관한 연구”, 조명·전기설비학회논문지, Vol.22, No.8, pp.82-88, 2008.

[7] Seung-Wook Jee, Chun-Ha Lee and Kwang-Sik Lee, “Signal analysis methods to distinguish tracking process using time-frequency analysis”, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 16, No. 1, pp.99-106, 2009.

[8] F. Noto and K. Kawamura, “Tracking and ignition phenomena of polyvinyl resin under wet polluted conditions”, IEEE Trans, Electr. Insul, Vol. E-13, No. 6, pp. 418-425, 1978.

[9] 이춘하, 김시국, 옥경재, 지승욱, “누전차단기 절연재료의 소손 특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회논문지, Vol.23, No.2, pp.62-66, 2009.

[10] 西田眞, 吉村昇, 能登文敏, “有機絶緣材料表面のトラッキング破壊における乾燥帯の形成過程”, 전기학회 논문지, A pp.593-600, 昭58-A72.

[11] 吉村昇, 西田眞, 能登文敏, “有機絶緣材料表面のトラッキング破壊における炭火開始過程(IEC 112 方法の場合)”, 전기학회 논문지, A pp.429-436, 昭56-A54.

◆ 저자소개 ◆



지승욱(池昇昱)

1971년 12월 27일생. 1995년 영남대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 졸업(박사). 현재 호서대학교 소방방재학과 출강.



김시국(金時國)

1981년 3월 24일생. 2007년 호서대 소방학과 졸업. 2007년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



옥경재(玉卿材)

1975년 9월 14일생. 1999년 호서대 소방학과 졸업. 2010년 동 대학원 졸업(박사). 현재 대림대학 설비계열 소방안전관리 전공 교수.



이춘하(李春夏)

1953년 10월 20일생. 1979년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(박사). 1985~1994년 한국기계연구원 실장. 2005~2006년 미국 Worcester 공과대학 객원교수, 2006~2008년 전국대학소방학과 교수협의회 회장. 현재 방폭기술 연구회 회장. 호서대 소방방재학과 교수.



이광식(李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전고전압연구회 간사장 역임. 영남대학교 산업대학원장 역임. 2006~2009년 본 학회 회장. 현재 영남대 공대 전기공학과 교수.