22kV CV케이블에 있어서 절연열화현상의 고찰

강 무 성* , 김 동 식, 정 성 룡, 박 대 희
원광대학교 전기공학부

A Study on Insulation Degradation Phenomena in 22kV CV Power Cable

Kang Moo-Seong, Kim Dong-Shik, Jung Seong-Yong, Park Dae-Hee,
WonKwang University Dept. of Electrical

Abstract

In this study, the insulation selected in degradated-power cable has been observed and aging process about the insulation has been investigated. Most Insulation aging process initiates in the interface of semiconducting layer and the type of the process is the fractal form that was observed between the the semiconducting layer and insulation layer. It is possible to estimate degree of the degration of cable with breakdown test and obtained data have been used to get parameters in order to use Weibull distribution. With this method it is considered to be possible to estimate situation of degration and life prediction.

1. 서 론

최근에 전력케이블의 사고는 대부분 절연체의 열화에 의해서 사고를 일으키고 있는 이미 잘 알려져 있다. 특히 CV케이블에 있어서 열화시작은 절연파괴로 연결이 되어져, 사전에 열화현상을 감지하고 진단하는 방법에 대하여 많은 관심을 가지고 있다. 따라서 운전중에 절연파괴사고를 미연에 방지하고, 혹은 잔존수명을 추정하는 절연열화진단시험방법이 제안되어 지고 있으나, 사용조건이 다양하고, 열화기구가 복잡하고, 열화검출방법이 간단하지 않기 때문에 정확하게 진단하는 것이 곤란한 경우가 많다. 케이블의 사고율은 22kv급이 154kV보다는 높은 것으로 나타나있다. 이와같은 케이블의 사고가 국내에서도 빈번하게 발생이 되고 있어 이에 대한 조사가 요구되고 있으며, 케이블의 열화진단에 요구되고 있다. 본 연구는 포설되어져 절연사고를 일으킨 22kV CV케이블을 수거한후 현미경을 통하여 관찰한 사진을 소개하며, 케이블 시료를 절연파괴 시켜 통계적으로 열화진단의 평가하고져 수행한 결과를 소개한다.

2. 열화케이블의 절연체 관찰

케이블 절연체의 열화는 절연체중의 void내에서 발생하는 부분방전에 의해서 시작되는 것으로 보고되고 있다. 이 열화의 흔적은 트리이며, 절연체의 표면돌기 혹은 이물, 작은 void 등에 국부적으로 전계가 집중이 되어 많은 발생이 되고 있다. 그러나 본 연구에서 열화 케이블의 관찰에서는 전혀 다른 열화형태를 발견하고 보고한다. 사진 1는 22kV CV케이블의 외부 반도전층을 탈피후 절연체 표면의 상태이다.

본 사진은 절연체 표면에 곰팡이와 같이 흰 반점들이 발생된 것을 발견 할 수 있었으며, 이와같은 흰반점들을 염색시켜 절연체를 slicing하여 관찰한 결과 사진 2와 같은 외부표면으로부터 도체 방향으로 진전되어 가는 형태를 확인 할 수있었다. 이 사진은 지금까지의 선단에서 트리진전과는 달리 도체방향쪽을 향하여 해초모양으로 흘러가는 형태를 나타내는 특이한 모양을 나타내고 있다. 자세하게 사진을 고찰하면 절연체의 표면에서 시작되는 진전 면적은 작으나 도체방향으로 진전되면서 면적이 증가되는 것을 확인 할 수있었다. 이와같은 진전모양은 외부로 부터의 전하의 주입 혹은 전자가 서서히 증

식되어 여러방향으로 확장되는 것으로 사료된다. 이 같은 전하 증식의 모양 및 방향은 절연체의 결정구조혹은 가교도의 크기에 깊은 의존성이 있는 것으로 사료된다.

이와같은 사진 2와 같은 형태의 열화진전은 최종적으로 절연파괴를 일으키는데, 가장 선단이 되고 있는 A점에서 일으킬 것으로 추정되어 진다. 이와같은 검토를 통하여 그림 1와 같은 곰팡이 모양의 흰 반점들은 하나의 열화형태로 절연체내의 작은 진전로의 집단이 흰색의 반점으로 나타나는 것으로 추정된다.

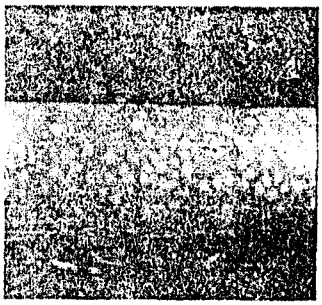

사진 1. 절연체 표면의 흰 반점들 상태

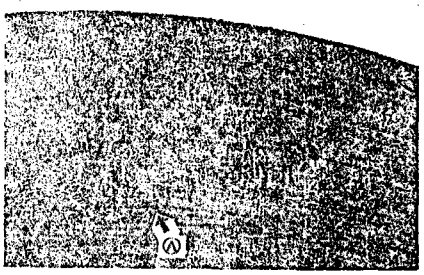

사진 2. 도체 방향으로 진전되는 형태

또한 그림 1과 같은 흰 반점들은 더욱 확장이 되어져 케이블의 절연체 표면 전체적으로 구름의 형태를 나타낸 경우도 발견이 되었으며, 이와같은 열화의 형태는 향후에도 계속적인 연구와 열화진단방법의 검토가 요구된다.

사진 3은 CV케이블의 절연체내의 외부에서 내부로 진전되는 트리의 진전과 bow-tie가 발생된 단면을 촬영한 것이다. 이 사진으로부터의 추정은 외부의 계면에서 트리의 진전이 시작되어 도체의 방향으로 진행되는 모양으로 사진 2와 비슷한 형태를 나타내고 있으나, 트리진전의 모양이 다름을 알 수있다. 이와같은 트리진전의 차이는 절연체의 결정구조와 전계혹은 흡습등의 영향에 의한 것으로 추정된다. 도체방향으로 갈수록 트리의 진전이 확실하게 나타나는 것은 도체에 가까울수록 절연체에 걸리는 전계가 높아짐으로 전자의 가속이 크게 되어 도체에 가까울수록 직선적으로 트리가 진전된다고 볼수 있다.

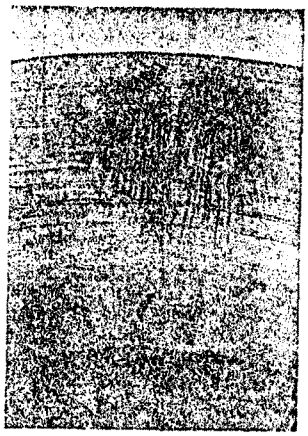

사진 3. 외부에서 내부로 진전되는 트리와bow-tie

또한 절연체내의 bow-tie는 내부 반도전층에 가까운 위치에서 많이 발생되고 있는 것을 확인 할수 있었으며, void에서 트리진전은 외부 반도전층에서의 트리진전과는 달리 진전로가 도체및 외부반도전층의 양방향으로 발생되는 것을 확인 할 수 있었다. 대부분의 bow-tie는 도체의 가까운 위치에서 발생되는 것을 확인 할 수있었고, 이와같은 원인은 도체쪽으로 가까울 수록 절연체 내부에 걸리는 전계가 높기 때문이며, 양방향의 진전은 전압극성의 교차에 의한 영향으로 사료된다.

3. 절연파괴강도의 평가방법

절연파괴전극은 외도/내도반도전층과 needle의 형태로 사용(전극간격:5㎜)하여 일정의 전압을 인가하여 절연파괴되는 시간을 각각 측정하였다. 시료

의 준비는 5개회사의 Virgin 22kV CN/CV 케이블의 시료로 측정에 사용하였다. 이와같이 준비된 시료의 파괴시간을 각각 나타낸 결과가 그림 1과 같다. 이 결과로부터 각 사별로 절연파괴강도와 파괴시간의 오차의 폭이 큼을 알 수 있으며 이와같은 오차의 폭(σ)은 각 회사별로 품질의 차이라고 사료된다. 예를 들면 절연파괴강도는 A사의 경우 약 5(kV/㎜)이나, D사의 경우는 8.5(kV/㎜)로 동일의 케이블의 시료라도 회사에 의한 폭이 크다는 것을 확인 할 수 있었다.

4. Weibull통계를 이용한 절연파괴평가

절연열화를 평가하기 위하여 파괴강도와 파괴시간의 두 확률변수를 도입하고, Weibull분포를 적용한 수명성능에 관한 관계식 등을 이론적으로 검토하였으며, 절연체의 파괴강도와 파괴시간등을 실제로 구해 봄으로서 열화특성을 평가할 수 있다. 본 시험에 있어서 시료 및 측정방법은 일정의 전극간의 간격과 20kV하에서의 절연파괴시간을 측정하여, 절연파괴시간을 Weibull통계를 적용하였다. 표 1은 일정의 전압하에서의 절연파괴시간을 나타낸 결과이다. 아래의 파괴시간의 실측결과로 부터 시료의 특성분포인 형상계수 m(=1/b)과 척도모수to,위치의 파라미터 γ를 Weibull분포로부터 구할 수 있다.

이와 같이 얻어진 결과로부터 누적분포함수로 나타내면 그림 2과 같이된다.

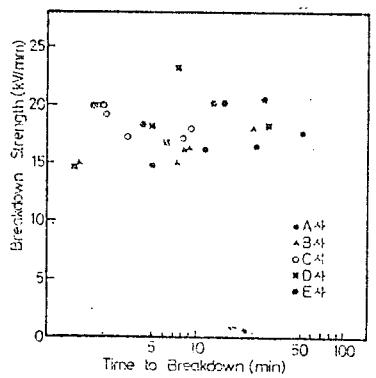

그림 1. 절연파괴강도와 파괴시간

번 호	극간거리 (㎜)	파괴시간 (min)	비 고
1	1.5	24.6	
2	1.5	10.43	
3	1.5	35.50	
4	1.5	11.39	
5	1.5	1.31	
6	1.5	4.2	
7	1.5	9.34	
8	1.5	2.36	

표 1. 절연파괴시간

절연파괴시간의 데이터를 Weibull분포에 맞추어서 취급하면, m, t_0, γ의 3가지 파라미터가 얻어진다. 실측데이터로부터 이들의 파라미터를 추정하는 가장 실용적인 방법은 Weibull확률지에 의해 비교적 간단히 되고 있으며 본 연구에서는 Program을 응용하여 m, t_0를 구하고져 한다. Weibull plot한 결과는 그림 3과 같다. 이와 같은 과정을 통하여 케이블 절연체의 절연파괴강도로 부터 형의 모수(m) 및 척도의 모수(t_0)는 각각 0.956, 13.2의 값이 얻어 졌다.

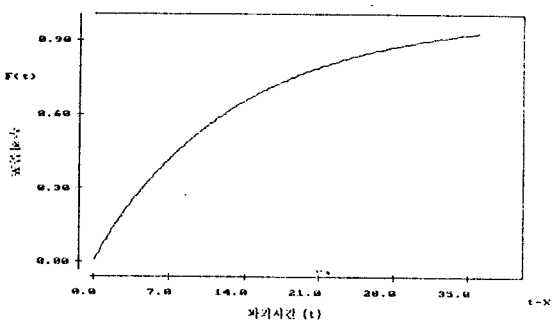

그림 2 절연파괴시간의 누적분포

5. 결 론

수거XLPE전력케이블의 관찰을 통하여 다음과 같이 몇가지로 요약할 수 있었다.

1) 절연체의 표면에 나타나는 외부반도전층밑의 흰 반점들은 열화의 초기이며, 미소한 트리진전로로 추측되며, 열화의 정도에 따라서 절연체 표면에 전반적으로 흰구름과 같은 모양을 나타난다.

2) 도체에 가까운 곳일수록 트리진전은 직선적인

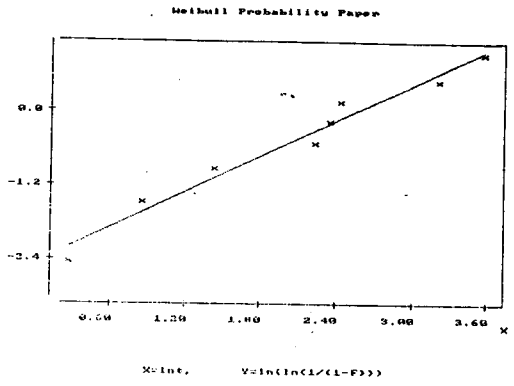

그림 3 Weibull plot

모양으로 진행되고, bow-tie의 발생이 많아진다. 이와같은 원인은 도체에 가까울수록 전계가 높아져 전자의 가속이 쉽기 때문으로 사료된다.

3) 내부반도전층으로 부터 트리는 대부분 전기적인 트리이며, 외부반도전층으로부터의 트리진전보다 절연파괴를 쉽게 일으키는 치명적인 열화현상이다.

4) 트리의 진전을 도체 방향으로 관찰하면, fractal의 모양을 나타내며, 도체쪽에 가까울 수록 그의 면적은 넓어지며, fractal의 핵이 존재하는 것으로 보인다.

5) 신뢰성 및 재현성 높은 결과는 많은 절연파괴 Data가 필요하고, 절연파괴시간의 결과를 활용하면 열화진단 및 수명평가도 가능할 것으로 사료된다.

6) Weibull분포를 이용하여 얻어지는 parameter(m, t_0, γ)는 절연체의 열화정도(m), 절연상태분포(t_0), 최저수명(γ)을 각각 상대적으로 평가하는데 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

1.) Metra, P., Occhini, E., and Portinari, G., High voltage cables with extruded insulation-statistical controls and reliability evaluation, IEEE Trans. Power Appr.Syst.,94(3), 967,1975.

2.) Devaux, A., Oudib, J. M., Rerolle, Y.,Jocteur, R., Noirclerc, A., and Osty, M.,Reliability and Development towards High Voltages of Synthetic Insulated Cables, CIGRE Paper 21-10, CIGRE, Paris, 1968.

3.) Kaneko, R., Haruta, K., Sugiyama, K.,Consideration on impulse breakdown stress in power cables by application of statiscal method, (in Japanese),Trnas.Inst. Elec. Eng.Jpn., 93-B(4),147 1973.

4.) Matsuba, H., Reliability Study of a System Consisting of a Cable and its Accessory, (in Japanese),Proc. 7th Symp. Electr.Insul. Mats., Institute of Electrical Engineers of Japan, Tokyo, 1974, 163

5.) Tanaka, T. and Okamoto, T., Modified Weibull distribution distributeted lowest volatage model unpublished.

6.) Matsuba, H. and Maruyama, Y., Deviation from the Weibull Distribution Function, (in Japanese), Proc. 7thSymp.Electr.Insul. Mats., Institute of Electrical Engineers of Japan, Tokyo, 1974, 163.

7.) A.Kelen : "Aging of Insulating Materials and Equipment Insulation in Service and Tests", IEEE Trans. Electr.Insul., EI-12, 55 (1977)

8.) 杉江 : 「熱劣化」, 電學誌, 95, 380 (昭50-5)

9.) 電學會絶緣材料微小放電劣化調査專門委員會 : 「部分放電劣化」, 電學技報, 第II部, No. 164 (昭 59)

10.) 田中 : 「高電界下での高分子の絶緣破壞前驅現象」, 靜電學誌, 9, 138 (昭 60-3)

11.) 岡本・田中 : 「ポリエチレン中トリ-發生に伴う非破壞性放電パルス」, 電學論A, 104, 613 (昭 59-11)

12.) IEC Pub. : "Test Procedures", No. 792-1 (1985)

13.) 電學會絶緣材料直流・インパルストリ-イング調査專門委員會 :「有機絶緣材料における水トリ-について(3)」, 電學技報,第I部, No.134 (昭57)

14.) I. Kuriyama, N. Hayakama, Y. Nakesa, J. Ogura, H. Yagyu & K. Kasai : "Effect of Dose Rate on Degradation Behavior of Insulati Insulating Polymer Materias" , IEEE Trans. Electr. Insul.,EI-14, 272 (1979)

15. 電學會絶緣システム複合ストレス劣化調査專門委員會 :「絶緣システル複合要因劣化に關する研究の現狀」, 電學技報,第II部, No.225 (昭61)

본 연구는 한전 기술개발 사업비에 의해서 수행되었음.