염수에 의해 열화된 절연커버 및 옥외용 가교폴리에틸렌 절연전선의 표면구조변화

최충석, 길형준, 김향곤, 한운기
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

A Change of Surface Structure with Insulation Cover and Outdoor Cross-linked Polyethylene Insulated Wire Degraded by Salt Water

Chung-Seog Choi, Hyoung-Jun Gil, Hyang-Kon Kim, Woon-Ki Han
Electrical Safety Research Institute attached to Korea Electrical Safety Corporation

Abstract - In this paper, in order to analyze the characteristics of degradation by salt water with insulation cover and OC wire(outdoor cross-linked polyethylene insulated wire) used in power receiving system, an experimental apparatus has been designed and fabricated. An insulation cover and OC wire were installed in an experimental apparatus, and degraded in each case of 2%, 5%, 10% salinity during 12 weeks. An optical microscope was used to observe a changing process of sample surface, and an electrical safety was analyzed by measuring dielectric breakdown voltages of samples. As salinity increased, so ununiformity of sample surface increased. The breakdown wasn't produced to 50kV about samples regardless of salinity, testing period.

1. 서 론

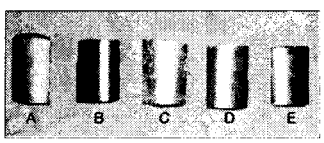
현재 전기에너지는 사회 구조의 혈관이라 할 수 있으며 다양한 분야에서 전기에너지의 사용이 급증하고 있는 실정이다. 전기는 각종 보호 장치의 개발 및 보급에 따라 안전하고 편리하게 사용할 수 있지만, 부주의한 취급 또는 부적합 전기시설물을 사용할 경우 감전에 의하여 사망으로까지 이어질 수 있다는 문제점을 지니고 있다. 특히, 건설현장에서 공사기간 중 일시적인 전원공급을 위하여 사용되는 임시전력설비는 영구설비와 달리 최소한의 보호 장치만을 구비하여 운용되는 설비로서, 산만한 작업환경, 전기설비의 열화 등의 불안요인에 의해 타 설비에 비해 많은 감전 위해 요인을 나타내고 있다. 이 중 건설현장의 임시전력설비로서 사용되는 22.9kV 수전설비에 있어 빈번한 작업의 변화, 불량한 충전부 차폐 등의 불안요인으로 감전사고 발생 확률이 영구설비와 비교할 때 높다고 할 수 있으며, 이러한 수전설비의 노출 충전부로부터 인체 및 설비사고를 보호하기 위한 수단으로서 사용되는 절연처리재로서는 크게 변압기, 개폐기 등의 노출 단자대 보호를 위한 절연커버와 모선의 노출 부위를 절연하는 모선 절연처리재로 크게 분류할 수 있다. 절연커버는 변압기, 컷아웃스위치(COS), 계기용 변성기, 피뢰기 등 다양한 전력설비에 사용되고 있으나 제조사마다 각기 다른 재질과 구조로 되어 있다는 문제점이 있으며 옥외용 수전설비의 모선에는 옥외용 가교폴리에틸렌 절연전선(OC 전선 : Outdoor Cross-linked Polyethylene Insulated Wire)을 대부분 사용하고 있다. 이러한 절연커버 및 OC 전선은 사용 여건상 한번 설치하면 소손 및 파괴가 일어날 때까지 사용하기 때문에 염해, 분진 등 이물질이 항시 존재하는 공장지대, 해안가, 건설현장 등 열악한 환경에 장기간 노출되더라도 내아크성, 내후성 등에 우수한 특성을 갖도록 설계될 필요가 있다[1][2].

이에 본 논문에서는 감전보호 측면뿐만 아니라 설비보호 측면에서도 중요한 절연처리재 중 절연커버 및 OC 전선의 외부 환경에 대한 열화특성을 분석하기 위해 염수 및 절연내력시험을 실행하였으며 이를 바탕으로 절연처리재의 안전성을 평가하고자 하였으며 분석된 자료는 수전설비의 절연설계, 감전사고 방지, 설비사고 예방 등 다양한 측면에서 활용될 수 있을 것이다.

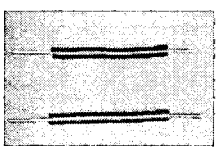
2. 측정장치 및 방법

2.1 염수에 의한 열화실험

비가 오거나 안개가 낄 때 절연커버의 표면에서 나타나는 아크는 열을 수반하고 있는데 특히 표면에 먼지나 염분 등으로 오염이 되었을 때에 절연커버 및 절연전선의 표면을 손상시켜 표면의 열화를 촉진시키고 절연파괴 상태를 초래하게 된다. 특히 해안지역 및 공장지대에 설치된 수배전반 설비에 부착된 절연커버 및 OC 전선에 염분 및 분진이 장기간에 걸쳐 누적되기도 하고, 폭풍우에 의해 급속도로 진전되기도 하며, 우천에 의해 자연세정으로 염분량이 감소되기도 한다[3]. 따라서 절연커버 및 OC 전선의 표면에 부착된 염수에 의한 절연커버 및 OC 전선의 열화특성을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 각기 다른 재질로 되어 있는 절연커버를 절단기를 이용하여 50×50[mm]로 절단하였고 OC 전선(5mm)은 25[mm]의 전선 양 끝단에서 5[mm]까지 피복을 벗겨내었다. 또한 본 실험을 위해 그림 2와 같이 염수 열화 실험장치를 구성하였다.



(a) 절연커버의 기준 시료



(b) OC 전선의 기준 시료

그림 1 기준 시료
Fig. 1 The example of samples

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 절연커버 시료(A~E)와 OC 전선을 각각 염도 2%, 5%, 10%인 시험함 안에 12주 동안 넣은 후 염도별 표면의 열화특성을 관찰 및 분석하였다. 염수 열화에 의해 영향 받은 시료의 표면에는 미소 크랙이 발생하는 경우 크랙 주변에 이물질이 퇴적되고 수분 존재시 이 부분에서 누설전류가 증가하여 방전이 발생하고 결과적으로 절연체에 손상이 발생할 가능성이 충분하여 그만큼 감전위험성을 증가시키는 결과를 초래한다. 따라서 염수에 의한 절연커버 및

OC전선의 영향을 알아보기 위해 금속현미경(Nikon Model Epipoht, Japan)으로 시료표면을 66배 확대하여 염도에 따른 표면변형 과정을 살펴보았다. 그림 3은 실험과정과 분석과정을 나타낸다.

그림 2 염수열화 실험장치
Fig. 2 The experimental apparatus of degradation by salt water

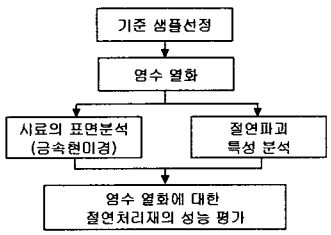


그림 3 실험 및 분석 과정
Fig. 3 The process of experiment and analysis

2.2 절연파괴실험

절연커버 및 OC 전선의 절연파괴 특성을 알아보기 위하여 그림 4와 같이 50×65×70[mm]의 시험함 내에 Stainless steel로 된 직경 11[mm]의 구 대 구 전극를 설치하고 두 전극 간에 시료를 삽입하여 실험을 실시하였다. 50×50[mm]인 블록형태의 시편을 공기 중에서 발생하는 연면방전을 방지하기 위하여 시험함 내에서 유중파괴실험을 하였으며, 매질로는 전기절연유를 사용하였다. 인가전압은 고전압 발생기를 사용하여 60Hz의 교류전압을 0.5kV/s의 승압속도로 최대 50kV까지 상승시키면서 절연파괴가 일어나는 파괴전압을 측정하였다. 여기서, 한 종류의 시편에 대하여 5번의 실험을 하여 그 평균치를 측정한 값으로 하였으며, 시편에 존재하는 결함으로 인해 발생하는 파괴는 실험치로 인정하지 않고 전극직하에서 파괴되는 것을 실험치로 하였다. 또한 시편의 온도 의존성을 고려하여 유중에 함침시킨 후로부터 10분 정도 후에 절연파괴 실험을 하였고 온도상승에 따른 절연유의 열화에 의한 영향을 줄이기 위해 때때로 교환하여 사용하였다.

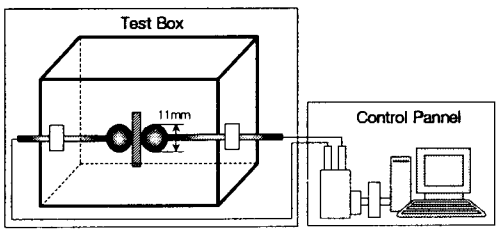
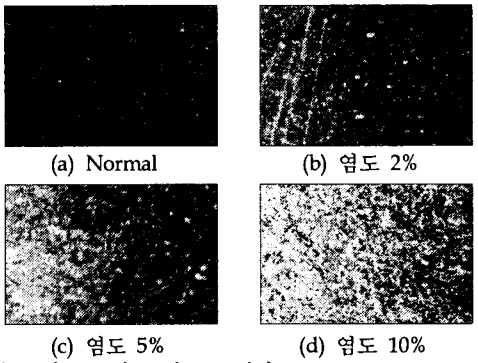


그림 4 절연파괴 실험장치
Fig. 4 The experimental apparatus of dielectric breakdown

3. 결과 및 고찰

3.1 염수에 의한 열화특성

그림 5에서 실험에 사용된 절연커버인 시료 A를 염도 2%, 5%, 10%인 시험함 안에 12주 동안 열화시킨 후 표면에 나타난 외형변화를 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 염도 2%, 5%까지는 시료표면에 특별한 외형변화는 발생하지 않았지만, 염도 10%에서는 시료표면과 염수와의 화학적 작용에 의해 불규칙한 크기의 입자들이 형성되었고, 그로 인한 시료표면의 불균일화로 표면 섬락거리가 짧아질 우려가 높다.

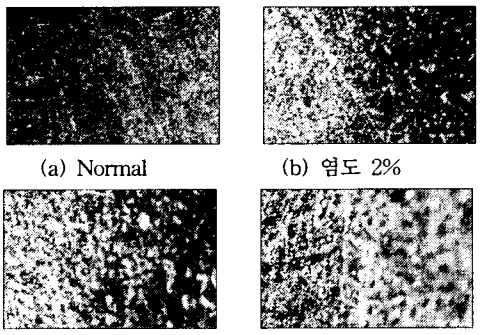


(a) Normal (b) 염도 2%

(c) 염도 5% (d) 염도 10%

그림 5 시료 A의 표면구조 변화
Fig. 5 A change of surface structure with sample A

그림 6에서는 실험에 사용된 절연커버인 시료 B를 염도 2%, 5%, 10%인 시험함 안에 12주 동안 열화시킨 후 표면에 나타난 외형변화를 보이고 있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 염도 2%에서 열화된 시료부터 표면에 미세한 외형변화가 발생하였고, 염도가 5%, 10%로 증가할수록 시료표면의 불균일화는 더욱더 심화되었음을 알 수 있다.



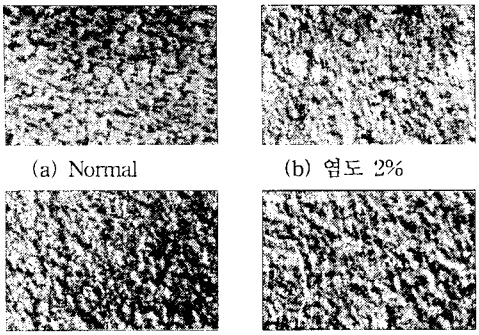
(a) Normal (b) 염도 2%

(c) 염도 5% (d) 염도 10%

그림 6 시료 B의 표면구조 변화
Fig. 6 A change of surface structure with sample B

그림 7에서 절연커버 시료 C의 염도별(2%, 5%, 10%)에 따른 표면변화를 나타냈다. 시료 C는 정상시료의 표면에서 다른 시료에 비해 표면이 불규칙한 형태를 보이고 있다. 염도 2%에서 12주 강제 열화시킨 시료는 정상상태보다 표면의 비균일화가 전체적으로 확산되었고, 10%에서 열화된 시료는 미세한 크랙이 존재하여 다른 시료보다 열화정도가 심화되었음을 알 수 있다.

그림 8에서는 실험에 사용된 절연커버 시료 D의 염도별에 따른 표면특성변화를 나타냈다. 시료 모두 강제열화를 시작한지 8주까지는 표면에 미세한 변화만 나타났을 뿐 뚜렷할 만한 특성은 나타나지 않았다. 그러나 강제열화한지 12주된 시료에 대해서는 그림 8에서 보는 바와 같이 시료 표면에 결이 형성되었고 염도가 높을수록 결의 수 및 강도가 심화되었음을 알 수 있다.

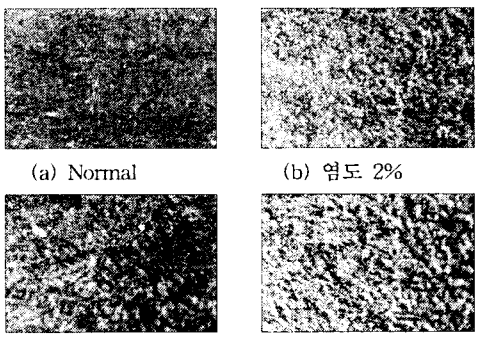


(a) Normal (b) 염도 2%

(c) 염도 5% (d) 염도 10%

그림 7 시료 C의 표면구조 변화

Fig. 7 A change of surface structure with sample C

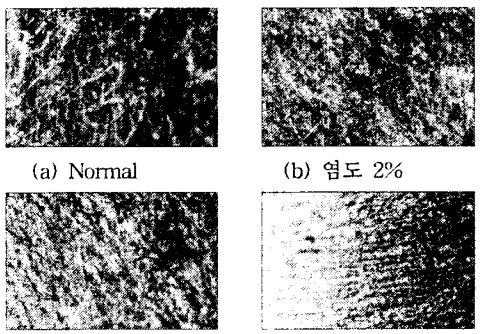


(a) Normal (b) 염도 2%

(c) 염도 5% (d) 염도 10%

그림 8 시료 D의 표면구조 변화

Fig. 8 A change of surface structure with sample D



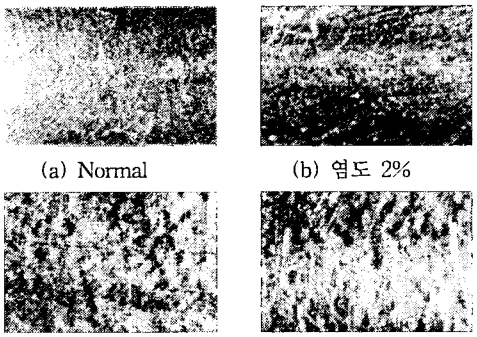
(a) Normal (b) 염도 2%

(c) 염도 5% (d) 염도 10%

그림 9 시료 E의 표면구조 변화

Fig. 9 A change of surface structure with sample E

그림 9에서는 실험에 사용된 절연커버 시료 E의 염도별에 따른 표면특성변화를 나타냈다. 염도 2%에서 12주 동안 강제 열화시킨 후 시료표면을 분석한 결과 초기 상태에서 존재하지 않던 미세한 크랙이 염수와의 화학적 작용에 의하여 시료표면에 부분적으로 형성되었다. 염도 5%에서 12주 동안 강제 열화시킨 시료는 표면의 거친 정도(roughness degree)가 표면 전체로 확산되었고 염도 10%에서 12주 동안 강제 열화시킨 시료의 표면은 거친 정도가 매우 심화되었음을 알 수 있다. 또한, 그림 10에서는 실험에 사용된 OC 전선의 염도별에 따른 표면특성변화를 나타냈다. 절연커버와 달리 OC 전선은 염도 10%에서 12주 동안 강제 열화시킨 후에도 시료 표면에 뚜렷할 만한 변화는 발생하지 않아 염수에 의한 표면 변화가 적음을 알 수 있다.



(a) Normal (b) 염도 2%

(c) 염도 5% (d) 염도 10%

그림 10 OC 전선의 표면구조 변화

Fig. 10 A change of surface structure with OC wire

3.2 절연파괴특성

염수 열화에 의해 어느 정도 열화가 진행된 시료를 대상으로 하여 감전보호측면에서 중요한 성능인자인 절연파괴 특성이 어떻게 변화하는 지를 알아보고자 하였다. 절연파괴 실험결과 염수 농도, 시험기간별에 상관없이 절연커버 5종 및 OC 전선 모두 50kV에서도 절연파괴가 발생하지 않았다. 실험의 여건상 최대값을 50[kV]로 한정하였고, 염수 열화에 따른 절연파괴전압 변동 특성을 분석하기에는 한계가 있지만 실제 사용 환경인 대지전압 13.2[kV]를 고려해 볼 때 염수 열화에 대한 절연파괴의 영향은 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

절연커버와 OC 전선의 염수 열화 및 절연파괴실험을 수행한바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 절연커버인 경우 염수에 의해서 어느 정도 표면 변화가 발생하였지만 OC 전선의 경우에는 절연커버에 비해 큰 변화를 보이지는 않았다.

(2) 열화된 시료의 절연파괴실험 결과 모든 시료에서 50[kV]에서도 절연파괴가 발생하지 않았다.

(3) 염수에 의해서 절연커버 외부표면의 불균일화로 연면방전 또는 트래킹을 촉진시킬 우려가 있으므로 근본적으로 이러한 외부표면의 염수열화가 진행되더라도 방전이 일어나지 않도록 노출충전부와 절연커버간의 이격거리 유지 및 제품개선에 대한 개선이 요구된다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] Chung Seog Choi, et al., "The Statistical Analysis and Investigation of Field Condition about Electrical Shock Accidents and Risk Factors in Temporary Power Installations", International Journal of Safety, Vol. 2, No. 2, pp.22~28, 2003.

[2] 길형준, 한운기, 김향곤, 최충석, "건설현장의 수전설비 및 배·분전반의 현장실태 분석", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.335~340, 2004.

[3] Chung Seog Choi, et al., "The Fire Characteristics of MOF Insulation Cover Used in 22.9kV Class Temporary Power Installations", Asia Oceania Symposium on Fire Science and Technology, pp.711~716, 2004.