

방사선조사에 의한 XLPE 배전 케이블의 노화특성

이우선* · 손경춘* · 박정기** · 김상용*** · 서용진[§] · 이경섭[§]
*조선대학교, **한국전력공사, ***아남반도체, [§]대불대학교, ^{§§}동신대학교

Aging Properties of XLPE Distribution Cables due to Irradiation of Radiation Rays

Woo-Sun Lee* · Kyeong-Choon Son* · Jung-Gy Park** · Sang-Youg Kim** · Young-Jin Seo[§] · Kyung-Sub Lee^{§§}
* Chosun Univ., ** KEPCO, ***ANAM Semiconductor, [§]Daebul Univ., ^{§§}Dongsin Univ.

Abstract - Aging properties of distribution cables due to irradiation of radiation rays was investigated.

Samples of XLPE are fabricated as hot press, then radiation rays irradiated 0~100Mrad and measured aging properties in the voltage range of 0~10 KV. Voltage-current characteristics of hysteresis curves and the relationship between forward and reverse current due to irradiation of radiation rays are discussed.

[3]. 원전용 전선과 케이블의 절연 및 피복재료는 종류의 많음과 또한 배합내용이 다양하기 때문에 종래의 자료로부터 전선과 케이블의 열화 또는 수명을 추정하기가 극히 어려운 것으로 되고 있다[4].

따라서 본 연구에서는 첫째 방사선 중에 많이 사용되고 있는 배전 케이블 절연체인 XLPE을 핫 프레스에 의해서 샘플시료를 제작하고, 둘째 제작된 시료에 0~100Mrad의 방사선을 조사하였으며, 셋째 실험특성 측정장치를 이용하여 0~10KV의 범위에서 방사선 조사에 한 배전케이블의 전압 전류를 측정하는 방법으로 노화 특성을 측정하였다.

1. 서 론

최근 확대 시공되고 있는 지중 배전선로는 22.9kV 급으로 접지는 다중접지로서 CN-CV 케이블을 사용하고 있다. 지중 배전 케이블에 본격적으로 적용한 후 배전 케이블의 절연파괴 사고가 급증하기 시작하여 안정된 전력공급에 많은 문제점을 나타내고 있다. 지중배전용 전력케이블은 가교 폴리에틸렌(XLPE)으로 절연되고 있고 반도체층을 사용하고 있으며 외피는 염화비닐수지(PVC)를 사용하고 있다. 이러한 구조는 생산공정이 간단하여 경제적이거나 주 절연층이 전압, 수분 또는 기타요인에 의하여 열화되어 절연파괴되는 단점이 있다.

원자력 발전소에는 대량의 전선·케이블이 사용되고 있고 이들 전선·케이블은 전력용, 제어용 및 계장용으로 크게 분류되고 용도에 따라 형상이나 크기, 구조가 각각 다르다. 전선의 사용량은 발전소의 대형화, 제어계장의 고도화에 따라서 증가되고 있는데, 최근 원자력 발전소에 사용되는 전선의 총 연장은 약 2,000km에 이르는 것으로 알려져 있다[1-2]. 원자력발전소의 격납용기 내에서 안전계통에 사용되는 전기기기 및 케이블류에 대해서는 40년으로 되어있는 발전소 수명말기에 냉각재 손실사고가 발생하더라도 그 기능을 충분히 발휘할 수 있는 엄격한 요구조건을 만족시켜야 된다

2. 실험 및 실험결과

본 연구에서 사용한 샘플의 제작과정은 전력케이블 제작회사에서 사용하고 있는 전력케이블용 XLPE pellet를 국내의 한 케이블 제작회사로부터 구입하여 gkt 프레스에 의하여 제작하였다. XLPE 최적의 혼합을 위해서 믹서(mixer)를 사용하였는데 130℃에서 시료를 녹인 후 10분동안 100rpm의 저속으로 연속 회전하여서 XLPE에 불순물 혼정 시료가 잘 혼합되도록 하였다. 2mm 두께의 시료 샘플을 제작하기 위해서 먼저 동판을 구입한 다음 펀치(punch)로 직경 300mm 두께 2mm의 구멍을 뚫어서 200mm 간격으로 6개를 배치한 다음 샘플 제작을 위한 마스크 제작을 완료하였다. 핫 프레스(Hot press)에 XLPE 시료를 배치하고 마스크(mask)를 이용하여 200℃에서 20분의 온도를 인가하여 샘플(sample)을 제작하고 80℃에서 30분의 어닐링(annealing)한 다음 시료제작을 완성하였다.

특성측정실험 장치의 개략도를 그림 1에 나타낸다. 제작된 직경 300mm 두께 2mm샘플에 직경 200mm의 카본블랙(carbon black)이 들어있는 반도체 재료를

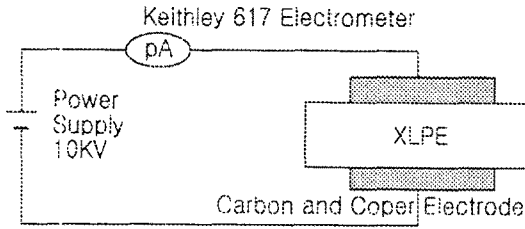
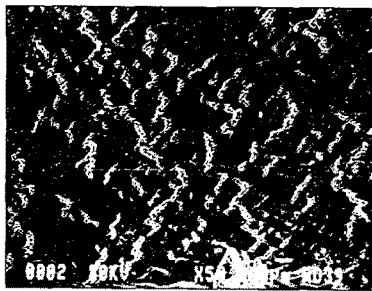


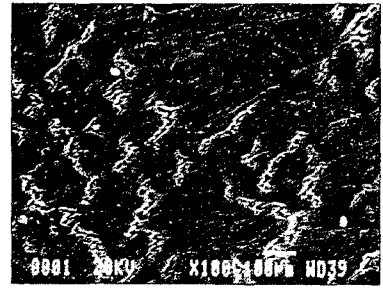
Fig. 1 Experimental set-up.

사용하여 Keithly 617 일렉트로메터 (electrometer)를 직렬로 연결하여 10 kV, 1sec/0.5kV의 전압을 인가하여 각 특성을 측정하였다. 고압케이블의 절연체와 도체사이에 부분방전 억제와 전계완화를 위해서 카본블랙이 들어 있는 반도체층을 사용하였다. 제작된 샘플은 순서적으로 5개씩 번호를 붙여서 한국원자력 연구소에서 방사선 조사 실험을 진행하였는데 코발트 60 동위원소를 사용하였다. 원전수명은 약40년이고 비교적 방사선을 많이 받는 원자로 주변 제어케이블은 40년동안 50~100Mrad의 방사선을 받는다. 본 연구를 위하여 방사선 조사를 실시하였는데 시간당 132,000 큐리 (curie) 감마선이고 반감기가 5.2년이고 시간당 1.2Mrad인 Co.60 감마선을 약 20일간 조사하여 50~100Mrad의 방사선을 XLPE 시료에 실온에서 조사하였다.

그림2(a)는 XLPE에 50Mrad의 방사선을 조사했을 때의 사진이고 (b)는 100Mrad의 방사선을 조사했을 때의 XLPE 표면의 SEM 사진을 나타낸다. 50Mrad 방사선이 조사되었을 경우보다 100Mrad 조사되었을 때 XLPE 표면의 격자분포 간격이 길어짐을 볼 수 있으며 마치 시료의 표면이 얼을 받은 모양과 같이 연신됨을 볼 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 2 SEM photograph (a) 50Mrad surface, (b) 100Mrad surface.

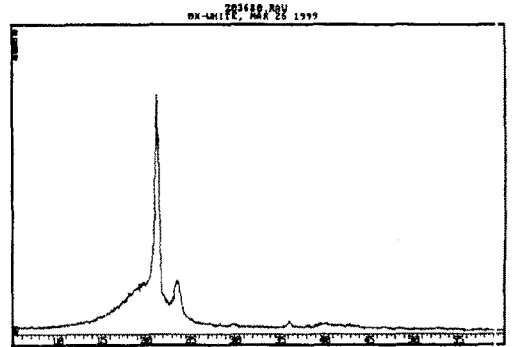


Fig. 3 XRD Analyse, XLPE sample

그림3은 제작한 XLPE의 XRD사진으로 20도 부근에서 강한 피크를 보였다.

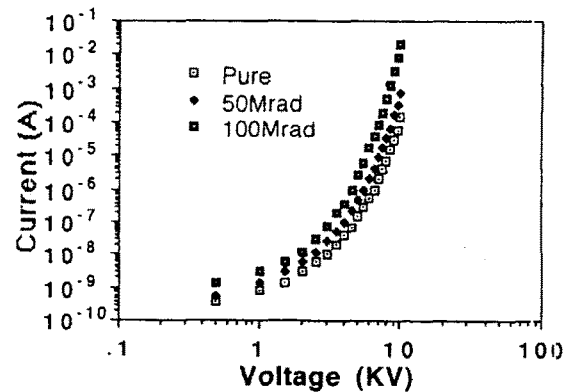


Fig. 4 XLPE leakage current by gamma ray irradiation

그림4는 전압 0~10kV 일 때 XLPE 시료에 50Mrad, 100Mrad의 방사선을 조사하였을 경우 전압상승에 따른 누설전류 변화 상태를 나타낸다. 전압이 증가함에 따라서 전류는 점진적으로 상승함을 보였으며 방사선을 조사하지 않는 시료보다 50Mrad 조사하였을 때 누설전류는 더 크게 되었고 100Mrad을 조사하였을 때는 50Mrad 조사하였을 때보다도 2배정도 많은 누설전류가 흐르게 되어서 격자결합이 2배정도 증가됨을 보여서 방사선량이 많을수록 XLPE 결합을 더 크게 됨을 나타내었다.

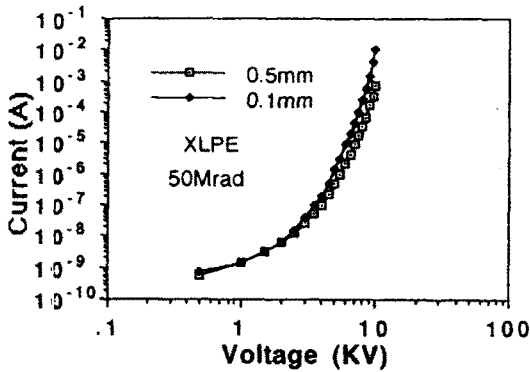


Fig. 5 Voltage current variation due to sample thickness.

그림5는 전압 0~10kV일 때 시료의 두께가 0.1mm, 0.5mm인 경우 전압 증가에 따른 전류의 변화모양을 방사선 50Mrad이 조사되었을 때 누설전류 대 전압의 비교특성을 나타내었다.

XLPE 두께가 적을수록 전류의 변화는 더 증가되었고, 10kV의 고압에 접근할수록 전류의 편차는 더 증가됨을 보였다. 따라서 동일 방사선양에서 저압에서 보다 고압으로 되면 전류의 변화는 더욱 크게 변화였다.

3. 결 론

원자력 발전소에서 사용되고 있는 XLPE 절연케이블이 방사선중에 노출되는 경우 그 노화특성을 알아보기 위해서 그 시료를 제조하고 방사선조사 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) SEM 사진 분석결과 방사선 조사량이 많아지면 XLPE 표면의 격자간격 배치가 길어졌고 조사량이 적은 경우 더욱 연신 되었고 표면이 폴리싱(polishing)됨을 보였다.

- 2) 방사선조사에 따른 XRD 분석상의 피크치는 방사선을 조사하지 않았을 경우보다 약간 크게 나타났으며 결정상의 구조 변화는 없었다.
- 3) XLPE의 전압상승에 따른 누설전류의 변화특성에서는 방사선조사량과 전압이 증가할수록 누설전류가 더 많이 흐르게 되었다.
- 4) 방사선 조사량이 일정하고 시료의 두께가 증가되었을 경우 시료의 두께가 적을수록 누설전류는 더 많이 흘렀고 고압에 접근할수록 이 전류의 편차는 더욱 크게 증가함을 보였다.

(참 고 문 헌)

- [1] A·B·Reyholds, "Effect of an antioxidants on aging of nuclear plant cable insulation", EPRI NP-7140 Project 2614-26, 1991 January
- [2] R·F·Gazdzinski, "Aging management guideline for electrical cable and termination", EPRI SAND-0344, U·C-523, 1996, September
- [3] EPRI, "Natural versus artificial aging of Nuclear Power Plant Components", EPRI TR-100245, project 1707-13, 1992 January
- [4] 고려원전, "격납용기내 전선케이블 노후와 평가기술 개발", 원전수명관리연구 최종보고서 5.10권 케이블 수명평가, 1998
- [5] W. Yeh and P. Budenstein, "Electrical conduction at low fields of composites sparsely filled with aluminium particles. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 1, pp. 84-96, 1995.