

## 원전용 절연케이블의 방사선 열화

이우선\*, 정찬문\*, 김상용\*\*, 서용진\*\*\*, 임장섭\*\*\*\*

조선대학교\*, 아남반도체\*\*, 대불대학교\*\*\*, 목포해양대학교\*\*\*\*

### Radiation Stress Properties of Insulation Cable

Woo-Sun Lee\*, Chan-Moon Jung\*, Sang-young Kim\*\*, Yong-Jin Seo\*\*\*, Jang-sub Lim\*\*\*\*

#### Abstract

Experimental study for radiation stress properties of EPDM cable for nuclear power plant was investigated. Samples of EPDM are fabricated as hot press, then radiation rays irradiated 0~100Mrad and measured radiation properties in the voltage range of 0~10 KV. Voltage-current and capacitance characteristics of linear and log curves and the relationship of current due to irradiation of radiation rays are discussed.

**Key Words** : EPDM, Voltage-current, temperature distribution, irradiation of radiation rays

#### 1. 서 론

EPDM 케이블은 원자력발전소의 방사선이 노출되는 부분의 전기적, 기계적인 계측장치와 방사선이 노출되지 않는 부분의 전기적, 기계적인 장치를 상호 연결해주는 케이블로서 케이블 및 EPDM는 방사선이 노출되는 곳에서 사용하는 전선이므로 내방사선 효과가 좋아야 한다. 방사선에 노출되는 곳에 사용되는 전선인 EPDM 케이블의 생산량이 증가되고 있는데 원자력 발전소 전력케이블 및 EPDM에 사용되는 절연체는 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer) 이 사용되고 있다[1-3]. 이와 관련하여 지금까지 원전 절연케이블의 방사선 안정도 연구와 방사선이 원전 절연재료의 수명에 미치는 효과 등이 연구되었으며, 원전 케이블에 노화진단을 위한 방안으로 에이징(Aging)의 산화방지제 첨가효과 진단 과정을 분석하고 그 특성과 감마선 열화 실험 방법을 파악하여 방사선 에이징(Aging)의 산화방지제 첨가효과가 분석되었다[4-5]. EPDM 케이블의 절연용 충전제와 첨가가 방사선 열화에 미치는 영향이 분석되어 에이징의 상관 관계가 분석되었으며 EPDM 절연 케이블에 사용되는 내외부 반도체층의 재료 물성과

필요성능에 대해서 검토되었다[6-8].우리 나라의 원자력발전소에서 EPDM 케이블이 사용되고 있으나 방사선 중에서 사용되고 있으므로 노화 현상의 진행이 빠르고 방사선 열화로 수명이 훨씬 단축되고 있으며 우리 나라의 원자력발전소는 계속 증가되고 있어서 방사선에 노출되는 곳에 사용되는 전선인 EPDM 케이블의 사용도 계속적으로 증가될 전망이다. 따라서 본 연구에서는 방사선 중에 많이 사용되고 있는 배전 케이블 절연체인 EPDM을 사용하여 핫프레스에 의해서 케이블 샘플시료를 제작하고 방사선을 조사하여 방사선 조사에 의한 케이블의 전기적 특성을 연구하였다.

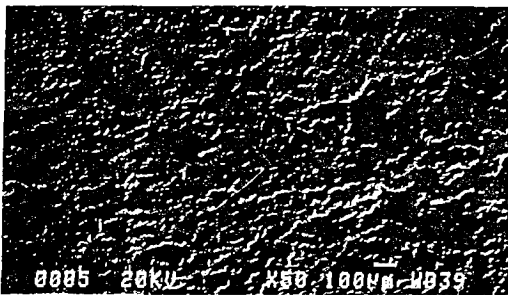
#### 2. 실험

본 연구에서 사용한 샘플의 제작과정은 전력케이블 제작회사에서 사용하고 있는 전력케이블용 EPDM 직경 3mm 원형의 시료를 국내의 한 케이블 제작회사로부터 구입하였다. 시료의 혼합을 위해서 시료를 초음파세척기에서 깨끗이 세척한 다음 180℃에서 시료를 녹인 후 10분 동안 30rpm의 저속으로 시료가 잘 혼합되도록 혼정 하였다. 0.1mm~2mm 두께의

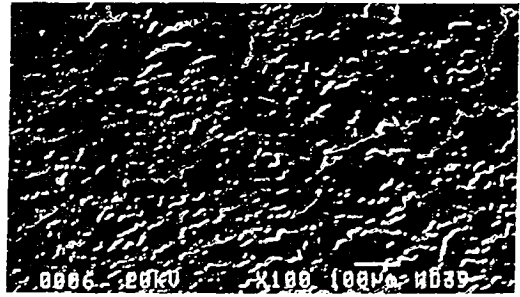
시료를 제작하기 위해서 먼저 동판을 구입한 다음 직경 30mm의 펀치로 구멍을 뚫어서 20mm 간격으로 6개를 배치한 다음 샘플제작을 위한 마스크 제작을 완료하였다. 핫 프레스에 혼정된 시료를 배치하고 마스크를 사용하여 180℃에서 20분간 온도를 인가하여 샘플을 제작하고 80℃에서 30분간 어닐링 한 다음 시료제작을 완성하였다. 핫프레스의 압력은 5,000 psi, 2kg~5kg 범위에서 하였고 펌핑머신(pumping machine)으로 압력을 계속적으로 인가하였으며 핫프레이트 양면에는 PET(polyethylene terephthalate)를 사용하여 EPDM의 영겨붙음을 방지하였다. 제작된 샘플은 순서적으로 5개씩 번호를 붙여서 한국원자력 연구소에서 방사선 조사 실험을 진행하였는데 코발트 60 동위원소를 사용하였다. 원전 수명은 약40년이고 비교적 방사선을 많이 받는 원자로 주변 EPDM케이블은 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 EPDM 시료에 실온에서 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림1(a)는 EPDM에 50Mrad의 방사선을 조사했을 때의 사진이고 (b)는 100Mrad의 방사선을 조사했을 때의 EPDM 표면의 SEM 사진을 나타낸다. 50Mrad 방사선이 조사되었을 경우보다 100Mrad 조사되었을 때 EPDM 표면의 격자분포가 길어짐을 볼 수 있으며 마치 시료의 표면이 열을 받은 모양과 같이 연신됨을 볼 수 있었다.



(a)



(b)

그림 1. EPDM 표면의 SEM 사진

(a)50Mrad, (b)100Mrad

Fig. 1 SEM photograph of EPDM surface (a)50Mrad, (b)100Mrad

그림2는 EPDM의 XRD 사진으로 10도, 20도, 30도 부근에서 피크를 보였다. EPDM 50Mrad 및 100Mrad의 방사선을 조사했을 때의 XRD결과도 이들 피크치와 동일한 각도에서 일어났으며 50Mrad 보다도 100Mrad 일 경우 피크치가 약간 더 크게 났을 뿐 XRD 분석 상에 다른 변화는 없었다.

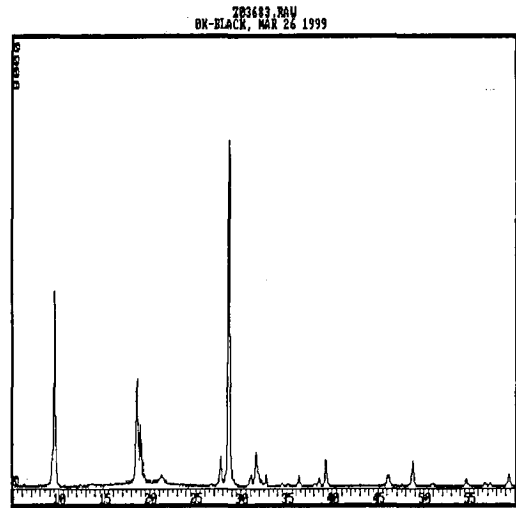


그림2. EPDM 샘플의 XRD 분석

Fig. 2 XRD Analysis of EPDM sample

전압증가에 따른 전류의 변화 추세는 선형적인 상승을 보였고 방사선을 조사하지 않았을 경우보다 50Mrad 조사하였을 때 누설전류는 더 적었으나

100Mrad 조사하였을 경우에 50Mrad 조사하였을 경우와 거의 같은 간격으로 누설전류의 증가를 보였다

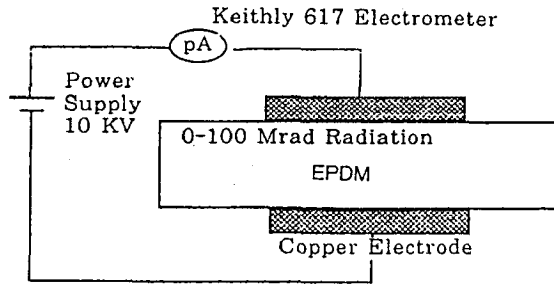


그림 3. 실험장비

Fig. 3. Experimental equipment

전압-전류 특성 실험장치도를 그림3에 나타낸다. 직경 30mm, 두께 0.2~2mm의 샘플에 카본 블랙(carbon black)이 들어 있는 반도체 재료 1mm 두께의 동 전극을 사용하여 Keithley 617 일렉트로메터(Electrometer)를 직렬로 연결하여 10kV, 1sec당 0.5kV의 전압을 인가하여 방사선 투과된 XLPE와 EPDM의 전압-전류 특성을 측정하였다.

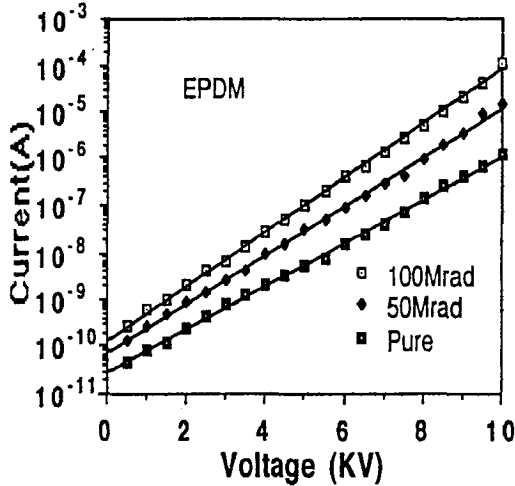


그림 4. 방사선 조사에 의한 EPDM의 전류변화

Fig. 4. EPDM current due to radiation ray

전압이 10kV까지 인가되었을 때 EPDM 시료에 50Mrad, 100Mrad의 방사선을 조사하였을 경우 전압 증가에 따른 전류의 변화를 그림 4에 나타낸다. 그림4에서 나타낸 바와 같이 전압증가에 따르는 누설

전류증가는 50Mrad, 100Mrad 방사선 조사량이 많아짐에 따라서 누설전류가 증가됨을 나타내었다. 방사선 증가에 따라서 EPDM의 격자결합이 증가된다는 것을 알 수 있고 EPDM의 내 방사선 효과가 크게 됨을 알 수 있다. EPDM 0.5kV에서보다 10kV에서 전류의 편차가 저전압에서 고전압에서 크게 됨을 보였다.

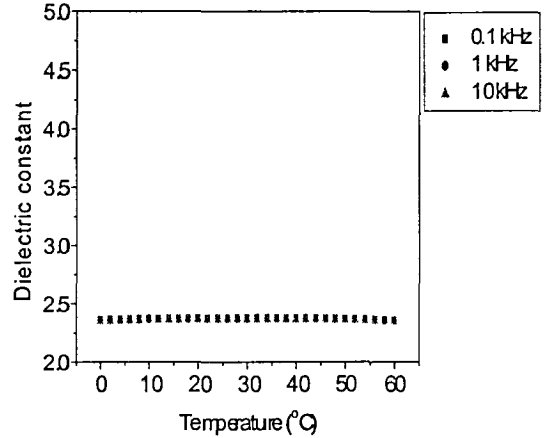


그림 5. 50Mrad에서 EPDM의 유전율특성

Fig. 5. Dielectric constant of EPDM of 50 Mrad

그림5는 온도증가에 따른 유전율특성으로 온도가 증가함에 따라서 유전율은 2.7로 거의 일정함을 보였다.

#### 4. 결론

EPDM 절연 케이블의 방사선 조사특성을 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 방사선조사에 따른 XRD 분석상의 피크치는 방사선을 조사하지 않았을 경우보다 약간 크게 나타났다.
- (2) 제작한 EPDM시료의 SEM 사진 분석결과 방사선 조사량이 많아지면 EPDM 표면의 격자배치가 길어졌고 조사량이 적은 경우 더욱 연신됨을 보였다.
- (3) 시료에 방사선 조사량을 더 늘릴 경우 전압상승에 다른 누설전류도 더 증가되었고 EPDM의 격자결합이 더 증가함을 보였다.
- (4) 온도증가에 따른 유전율특성은 온도가 증가함에 따라서 유전율은 2.7로 거의 일정함을 보였다.

[본 연구는 2002년도 기초전력공학 공동연구소 연구비 지원에 의해 연구되었음.]

## 참고 문헌

- [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] 고리원전, "격납용기내 전선케이블 노후와 평가기술 개발", 원전수명관리연구 최종보고서 5, 10권 케이블수명평가, 19982
- [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.