

방사선 및 열처리에 의한 에틸렌프로필렌 고무의 전기적 특성에 관한 연구

A Study on the Electrical Properties of Ethylene Propylene
Rubber by Thermal Treatment and Irradiation

이 성 일*
Lee Sung Ill

Abstract

In order to investigate the effect of irradiation by ^{60}Co - γ rays as well as the thermal treatment on the dielectric deterioration in ethylene propylene rubber, insulating material for electric cables used in atomic power plants, charging discharging current, residual built-up voltage and dielectric properties are measured and discussed in this study.

Variance in the characteristic of relative dielectric constant as a function of temperature was observed in relatively high dose of irradiation. Since glass transition temperature appeared at tens of degree Celsius below zero, the characteristic is attributed to orientation polarization. Dielectric loss is generally increased, with increasing dose of irradiation in the characteristic of dielectric loss as a function of temperature. No change in dielectric loss by thermal treatment was observed. Dielectric resistance decreases with increasing dose of irradiation in the characteristic of charging current as a function of temperature. It can be considered that dielectric resistance seems to be recovered by thermal treatment. The characteristic of discharging current as a function of time in the specimen less irradiated becomes similar to that of the unirradiated, when thermally treated. A peak is shown in the residual built-up voltage as a function of time, and the corresponding time of the peak is shortened as increasing dose of irradiation. It is also observed that the corresponding time of the peak is lengthened by thermal treatment.

*충주대학교 안전공학과 안전과학연구소

1. 서 론

원자력 발전소의 원자력 격납용기 내에 설치되어 있는 전선·케이블류는 끊임없이 방사선에 조사되어 열화(deterioration)한다. 장기간 원자로를 사용하여 냉각제 누액사고와 같은 중대한 사고가 일어난 경우에도 안전성이 높은 신뢰성이 요구된다. 또, 전선·케이블류의 신뢰성을 향상시키기 위해서 보수관리상 절연재료의 열화의 정도를 비파괴적으로 진단하는 것이 필요하다.

전선·케이블류에 사용하는 절연재료의 열화는 기계적 특성의 저하가 문제로 된다. 그러나 기계적 특성은 열화를 비파괴적으로 진단하는 것은 불가능하지만 전기적 특성은 열화를 비파괴적으로 진단하는 것이 가능하다. 따라서, 기계적 특성과 전기적 특성과의 상관성이 얻어지면 전기적 특성을 조사함으로써 절연재료의 열화의 정도를 진단하는 것이 가능하게 된다.

본 연구에서는 원자력 발전소에서 사용되고 있는 에틸렌과 프로필렌의 비율이 1 : 1인 에틸렌프로필렌 고무에 공기중 실온에서 Co-60의 γ 선을 시료는 0, 2.4, 4.8, 9.5, 19.4, 38.1 Mrad/hour의 선량율로 조사한 시료를 사용했다. 무충진 에틸렌프로필렌 고무의 열화시키지 않은 시료와 80[$^{\circ}$ C]에서 3시간동안 열화시킨 시료의 시간의 경과에 따른 충전전류, 방전전류 및 잔류전압을 측정하여 그 특성을 검토하였으며, 또한 두 종류의 시료를 1kHz에서 유전율과 유전손실을 측정하여 그 기본 특성을 검토하였다.^{4~6)}

2. 시료 및 측정

2.1 시 료

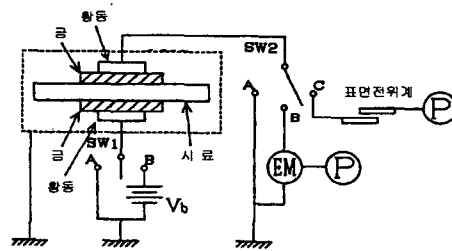
에틸렌과 프로필렌의 비율이 1 : 1인 에틸렌프로필렌 고무 시트(125×95 mm, 두께 0.6 mm)³⁾를 공기중 실온에서 Co-60의 γ 선을 0.033 Mrad/hour의 선량율로 시료에 조사했다. 시료는 0, 2.4, 4.8, 9.5, 19.4, 38.1 Mrad 조사한 것을 사용했다. 또한 충전전류, 방전전류, 잔류전압, 정전용량 및 유전정점을 측정한 후 시료를 플렌지 내에 설치하고 진공으로 했다. 그리고, 시료의 온도를 히터에서 상온으로부터 80 $^{\circ}$ C까지 올려 3시간 동안 열화시켰다. 각 시료의 표면을 알콜로 깨끗이 닦은 후 진공증착 장치에 시료의 표면과 이면의 똑같은 위치에 지름 60 mm의 크기로 금증착하였다.

2.2 측정회로와 방법

2.2.1 충전·방전전류 및 잔류전압의 측정

그림 1에 충전전류의 측정회로를 나타내었으며 시료를 플렌지 내에 설치하고 진공으로 한 후 SW1, SW2를 동시에 A측으로 하여 60분간 접지했다. 직류전원에서 -500V를 인가한 후 충전전류를 115분간 측정하였으며, 시간 등의 사정상 이 시간의 값을 누설전류값으로 했다.

충전전류를 측정한 후 SW1을 A측으로 하여 60분간 방전전류를 측정하였다. 또한, 충전전류를 측정한 후 SW2을 A측으로 하며, 영점 조정했다. 1시간 59분 30초 경과 후에 펜레코다의 속도를 7.5mm/min로 스타트시키며, 2시간 정각에 SW1을 A측으로 하여 시료를 30초간 접지했다. 시료의 접지가 30초가 되면 동시에 SW2를 C측으로 하여 회로를 개방한 후 60분간 잔류전압을 표면전위계로 측정하며, 기록계에 기록했다.



- 단, EM : 일렉트로미터
- P : 펜레코다
- V_b : 직류전원

그림 1. 충전전류,방전전류, 잔류 전압의 측정회로도

2.2.2 정전용량과 유전정점의 측정

그림 2에 정전용량 및 유전손실 측정회로를 나타내었다. 플렌지내를 진공으로 한 후 액체질소를 봉입하며, 시료의 온도를 -50℃까지 내린다. 시료의 온도가 상온까지 자연적으로 오르는 사이에 측정온도를 매 5℃로 하며, 각 온도에 대해서 측정주파수를 100Hz~100kHz까지 대수적으로 십수점 취하며, 각각의 측정점에 대해서 인가전압 1V에서 LCR미터로 정전용량(C)와 유전정점(tan δ)를 측정했다. 또한 시료의 온도를 상온으로부터 +80[℃]까지 히터를 사용하여 올리면서 LCR미터를 사용하여 측정하였다.

측정한 정전용량과 유전정점값을 식 (1)과 (2)에 대입하여 유전율 ϵ_r' 와 유전손실 ϵ_r'' 를 구했다.

$$\epsilon_r' = \frac{C \times d}{\epsilon_0 \pi r^2} = \frac{C \times 6.0 \times 10^{-4}}{8.855 \times 10^{-12} \times 3.14 \times 0.03^2} \quad (1)$$

$$\epsilon_r'' = \epsilon_r' \times \tan \delta \quad (2)$$

단, d 는 시료의 두께, ϵ_0 는 진공의 유전율 및 r 은 전극의 반경이다.

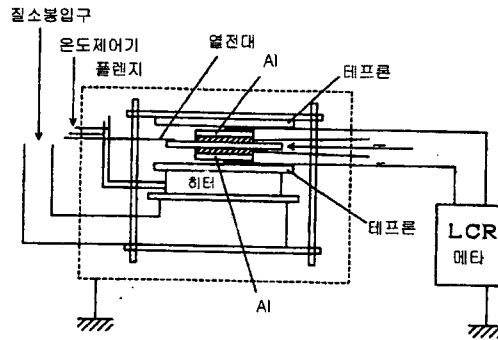


그림 2 유전특성의 측정회로도

3. 실험결과 및 검토

본 연구는 에틸렌프로필렌고무를 시료로 사용하여 충전전류 · 방전전류 · 잔류전압과 정전용량과 유전손실을 측정하여 방사선 조사효과 및 열처리 효과에 대해서 검토했다.

3.1 방사선 조사효과

(1) 충전전류

그림 3은 시간의 경과에 대한 충전전류 값을 나타낸 것이다. 방사선의 조사량이 증가함에 대하여 충전전류의 값은 증가하고 있다. 또, 방사선의 조사량이 증가함에 대하여 곡선의 기울기가 완만하게 되어 있는 것을 알 수 있다.

(2) 방전전류

그림 4는 시간의 경과에 대한 방전전류 값을 나타낸 것이다. 방사선 조사량이 0Mrad인 경우 직선에 가깝다. 또, 방사선 조사량이 적으면 아래로 산과 같은 곡선으로 되어 있지만 방사선 조사량이 많으면 위로 산과 같은 곡선으로 되어 있다. 또, 방사선 조사량이 증가함에 대하여 방전전류의 값은 높게 나타나지만 60분 정도에서는 30초 정도와 다른 값을 갖는 것을 알 수 있다.

(3) 잔류전압

그림 5는 시간의 경과에 대한 잔류전압을 나타낸 것이다. 잔류전압의 값은 피크의

영향이 없는 30초 정도에서는 방사선 조사량이 0Mrad를 제외하고 조사량이 많은 만큼 높아져 있다. 또, 피크가 보이지 않는 것에 대해서는 방사선 조사량이 많은 만큼 피크의 시간이 30초 쪽으로 이행해 있는 것을 알 수 있다.

(4) 유전특성

그림 6은 1kHz일 때의 온도에 따른 유전율을 나타낸 것이다. 유전율의 값은 0Mrad와 2.4Mrad를 제외하고 방사선 조사량이 많은 만큼 커져 있다.

그림 7은 1kHz일 때의 온도에 따른 유전손실을 나타낸 것이다. 유전손실의 값은 0Mrad를 제외하고 방사선 조사량이 많은 만큼 커져 있다.

또, 변화를 보이는 것은 $-30 \sim +20^{\circ}\text{C}$ 부근이며, 이 온도 이외에서는 유전손실이 0부근의 일정값이었다. 유전손실의 피크값은 방사선 조사량이 많은 만큼 고온측으로 이동하고 있으며, 방사선 조사량이 거의 반으로 되면 피크값도 거의 반정도로 되어 있다.

이상의 결과에 의해 에틸렌프로필렌 고무의 방사선(γ 선) 조사에 의한 효과를 검토하면 아래와 같이 된다.

그림 3의 충전전류-시간 특성의 그래프에서 조사량이 많은 만큼 시료의 절연저항은 저하해 간다.

그림 4의 방전전류-시간 특성의 그래프에서 9.5Mrad의 곡선을 보면 30초 정도에는 이것보다 조사량이 적은 것의 특성과 거의 유사하며, 60분에서는 이것보다 조사량이 많은 것과 유사하다.

그림 5의 잔류전압-시간 특성의 그래프를 보면 잔류전압값은 30초 정도에서는 조사량이 많은 만큼 결국 절연열화한 것만큼 높아져 있다. 피크가 존재하는 것과 존재하지 않는 것이 있는데 피크가 존재하는 것은 조사량이 많은 시료이며 이 중에서도 조사량이 많은 만큼 피크의 시간은 30초 정도로 이동하고 있다. 한편 피크가 존재하지 않는 것은 조사량이 적은 시료이지만 실제로는 측정시간 외의 좀더 60분 정도에 존재하고 있다고 생각된다. 결국, 조사량에 비례하여 피크의 시간은 30초 정도로 이동한다.

그림 6의 1kHz일 때의 유전율-온도 특성의 그래프에서 19.4Mrad와 38.1Mrad에 대해서 보면 온도와 더불어 유전율이 증대하고 있는 온도 영역이 있다. 즉, 분산을 표시하고 있다. 또, 영하 수십도 부근에서 유리 전이온도가 나타나는 것은 배향분극에 의한 것이라고 말해지므로 이 특성은 배향분극에 의한 것이라고 생각된다.

그림 7의 1kHz일 때의 유전손실-온도 특성의 그래프의 특성에서 유전손실의 피크가 나타나는 온도 영역에서 분산이 일어나고 있다. 시료의 조사량이 많을수록 유전손실의 피크의 값이 고온측으로 벗어나 있다. 또, 유전손실의 피크가 조사량에 거의 비례하여 증가하고 있다. 이것은 시료의 산화량에 관계하고 있다고 생각된다.

3.2 열처리 효과

(1) 충전전류

그림 8에 열처리후의 충전전류-시간 특성의 그래프를 나타내었다. 열처리전의 그림 3과 비교하면 충전전류의 값이 미조사의 것은 거의 변화해 있지 않지만 방사선을 조사한 것에 대해서는 10^1 에서 10^2 정도 전류가 감소하였다. 방사선 조사량이 적은 것은 미조사의 것과 특성이 유사한 것을 알 수 있다. 또한, 그림 8과 같이 열처리후의 충전전류-시간 특성의 그래프는 열처리전의 그림 3과 비교하면 충전전류의 값은 미조사한 것은 거의 변화하고 있지 않지만 방사선을 조사한 것은 10^1 에서 10^2 정도 감소해 있는 것으로부터 열처리에 의해 절연 저항이 회복된 것은 아니라고 생각된다.

(2) 방전전류

그림 9 열처리후의 방전전류-시간 특성의 그래프를 나타내었다. 열처리전의 그림 4와 비교하면 방전전류의 값이 미조사의 것은 거의 변화하고 있지 않지만 방사선을 조사한 것은 감소해 있다. 방사선 조사량이 적은 것은 미조사한 것의 값과 특성이 서로 유사한 것을 알 수 있다. 또한, 그림 9와 같이 열처리후의 방전전류-시간 특성의 그래프는 열처리전의 그림 4와 비교하여 조사량이 적은 것의 방전전류의 값은 미조사한 것의 특성과 값이 거의 일치함을 알 수 있다.

(3) 잔류전압

그림 10에 열처리후의 잔류전압-시간 특성의 그래프를 나타내었다. 열처리전의 그림 5와 비교하면 잔류전압의 값이 미조사한 것은 거의 변화하고 있지 않지만 방사선을 조사한 것은 감소해 있다. 피크가 30초에 보이던 것이 피크가 60분에 나타난다. 방사선 조사량이 적은 것은 미조사한 것과 특성이 서로 유사한 것을 알 수 있다. 또한 그림 10과 같이 열처리후의 잔류전압-시간 특성의 그래프는 열처리전의 그림 5와 비교하면 잔류전압값의 피크가 30초에 나타나는 시료가 60분에 피크가 나타났다. 따라서 열처리에 의해 잔류전압값의 피크가 30초에서 60분으로 이동한다고 생각된다.

(4) 유전특성

그림 11에 열처리후의 1kHz일 때의 유전율-온도 특성의 그래프를 나타내었다. 열처리전의 그림 6과 비교하면 유전율의 값은 조사량 2.4Mrad의 것은 거의 변화하지 않고 38.1Mrad가 저온측에서 조금 증가한 이외에는 감소해 있었다. 방사선 조사량이 적은 것은 미조사량의 것과 특성이 유사했다.

그림 12와 같이 열처리후의 1kHz일 때의 유전손실-온도의 그래프는 열처리전의 그림 7과 비교하면 유전손실의 피크의 값이 38.1Mrad는 조금 증가하고 있으며, 9.5Mrad와 0Mrad는 조금 감소하고 있는 이외는 거의 변화가 없었다. 이것으로 유전손실의 특성은 열처리에 의한 영향은 거의 없다고 말할 수 있다.

결과 그래프들을 아래에 나타내었다.

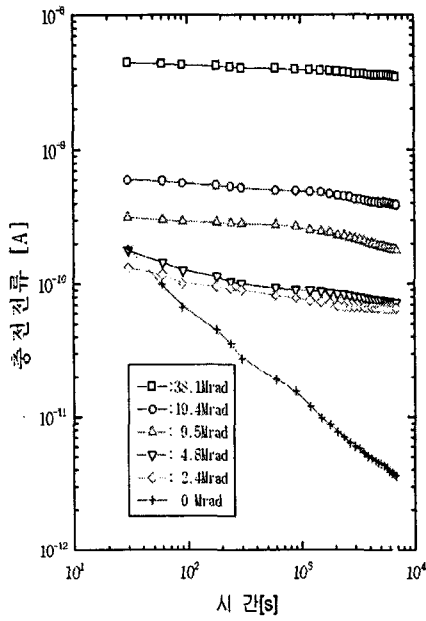


그림3. 충전전류-시간 특성

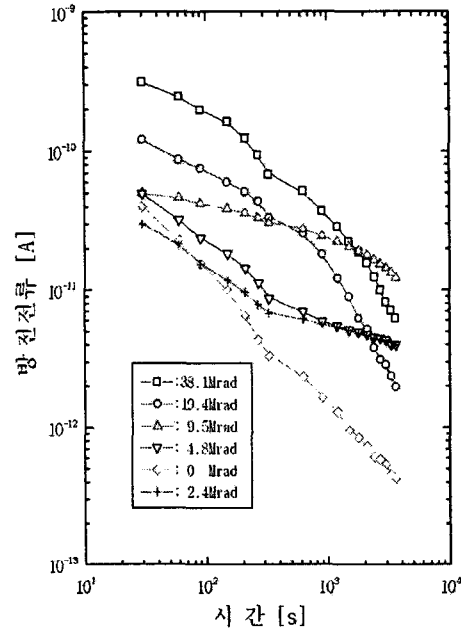


그림4. 방전전류-시간특성

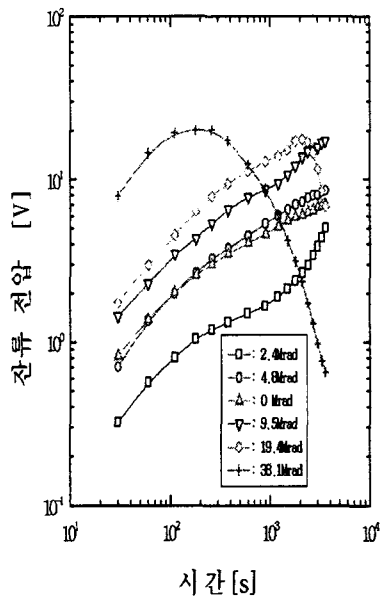


그림 5 전류전압-시간 특성

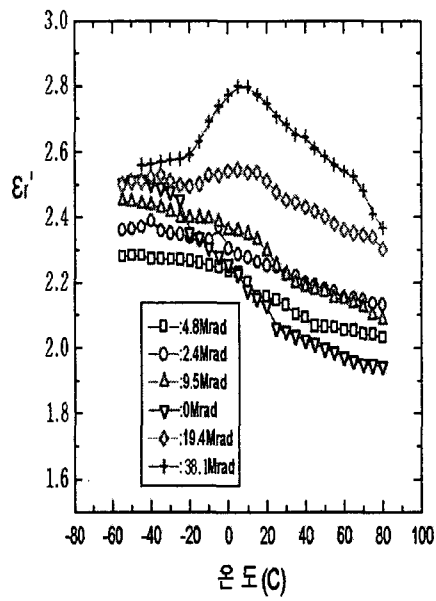


그림 6 1kHz일 때의 유전율-온도 특성

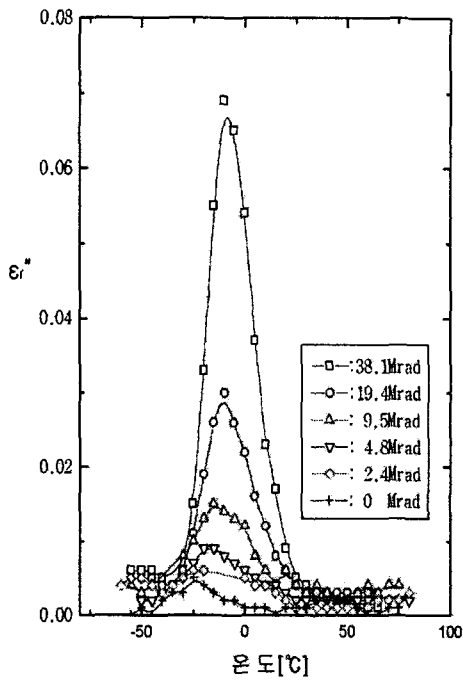


그림 7 1kHz일 때의 유전손실-온도 특성

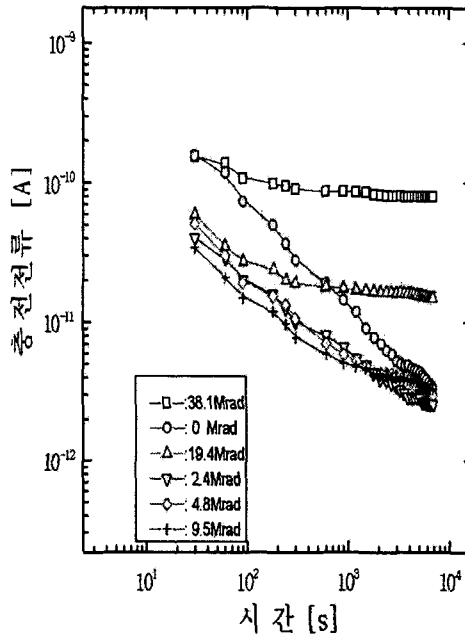


그림 8 열처리후의 충전전류-시간 특성

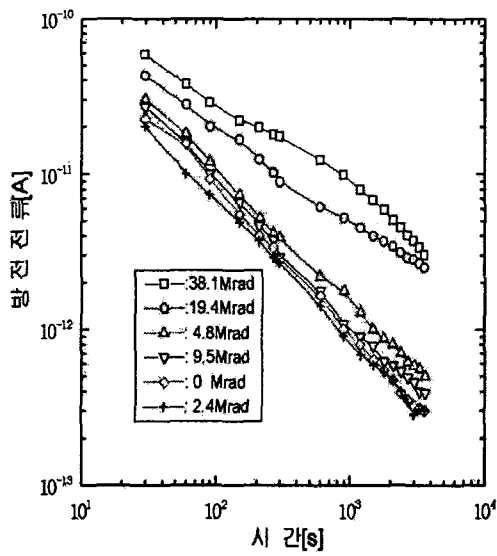


그림 9 열처리후의 방전전류-시간 특성

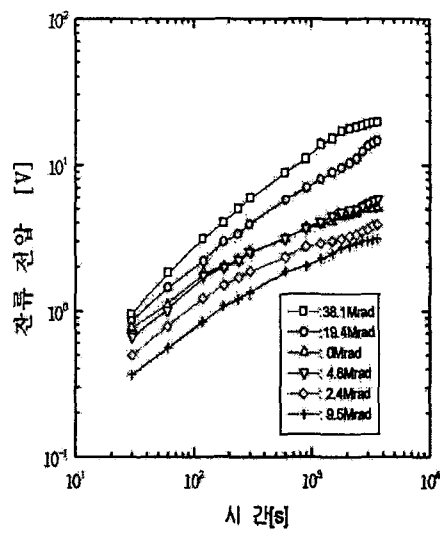


그림 10 열처리후의 전류전압-시간 특성

(80°C, 3시간)

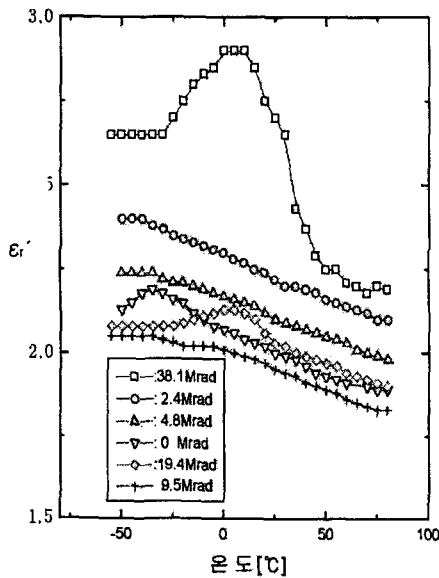


그림 11 열처리후 1kHz일 때의 유전율-온도 특성(80°C, 3시간)

(80°C, 3시간)

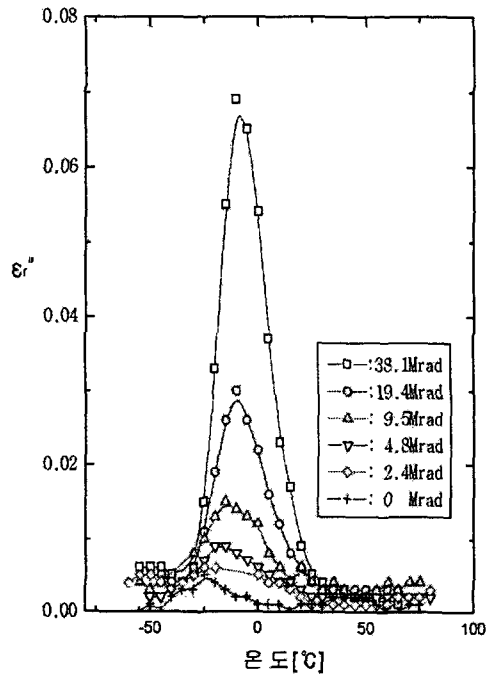


그림 12 열처리후 1kHz일 때의 유전손실-온도 특성(80°C, 3시간)

3. 결 론

본 연구에서는 원자력 발전소 내에서 사용하는 전선 케이블류의 내방사선성 절연재료인 에틸렌 프로필렌 고무가 Co-60의 γ 선조사에 의해서 받은 절연열화의 영향과 열처리에 의해 받은 절연열화의 영향을 검토하기 위해서 충전전류, 방전전류, 잔류전압 및 유전특성을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 유전율 - 온도 특성에서는 조사량이 많은 것에 분산이 나타났다. 또, 영하 수십도 부근에서 유리 전이온도가 나타났으므로 특성은 배향분극에 의한 것으로 생각된다.
- (2) 유전손실 - 온도특성은 유전손실의 피크가 조사량에 거의 비례하여 증가하고 있다. 또, 유전손실의 특성에서 열처리에 의한 영향이 거의 없었다.
- (3) 충전전류 - 시간특성은 방사선 조사량이 많을수록 절연저항이 저하하고 있다. 열처리에 의해 절연저항이 회복한다고 생각된다.
- (4) 방전전류 - 시간특성은 조사량이 적은 것은 열처리를 하면 미조사의 특성과 같게 된다.

- (5) 잔류전압 - 시간특성은 피크가 존재하며 방사선 조사량이 많을수록 피크의 값은 30 초로 이동하고 있다. 또, 열처리를 하므로써 피크값이 60분 쪽으로 이동을 확인했다.

4. 참고 문헌

- [1] S. Yamanaka, T. Fukuda, G. Sawa, M. Ieda, M. Ito, and W. Kawakami: "Ultralow-frequency Dielectric Properties of EPR with Filler", IEEE Trans. EI, Vol. 27, pp. 1073~1082 (1992).
- [2] S. Yamanaka, T. Fukuda, G. Sawa, M. Ieda, M. Ito, and T. Seguchi: "Effect of Filler Concentration on Electrical Conductivity and Ultralow-frequency Dielectric Properties", IEEE Trans. DEI, Vol. 2, pp. 54~61(1995).
- [3] R. F. Ohm ; "The Vanderbilt Rubber Handbook, Thirteenth Edition", R. T. Vanderbilt Company, pp.2~10(1990).
- [4] Study Committee on Measurement of Insulating Properties of Extra-high Voltage CV Cable, Electrical Cooperative Research, 36,(1980).
- [5] Study Committee on Solid Insulation Diagnoses, Technical report of I.E.E. of Japan(II), No 182(1984).
- [6] Study Committee on Insulation degradation Diagnosis of high-voltage Rotating Machines and Cables, Technical report of I.E.E. of I.E.E. of Japan(II) No.267(1988).

저 자 소 개

이 성 일 : 광운대학교 전기공학과 졸업, 동대학원 석사, 박사 일본메이조대학객원연구원
현 충주대학교 부교수 관심분야 절연열화진단, 태양자동차 정전기 및 소방설비