유전실험법에의한 가교폴리에틸렌의 절연특성평가

정 준, 김원종, 변두균, 이수원*, 박하용**, 홍진웅
광운대학교 전기공학과, * 국립철도대학 전기제어과, ** 삼척대학교 전기공학과

Estimation on the Insulation Properties of Cross-linked Polyethylene by the Dielectric Experimental methods

J. Jeong, W. J. Kim, D. G. Byun, S. W. Lee*, H. Y. Park**, J. W. Hong
Kwangwoon Uni., * Korea National Railroad collage, ** samchok National Uni.

Abstract

In this paper, we estimated the insulation properties of cross-linked polyethylene (XLPE) for ultra-high voltage cable. we have studied the dielectric characteristics of XLPE due to frequency and temperature variation. The dielectric characteristics were measured in the temperature range from 25 [℃] to 120[℃]. Also we measured in the voltage range of 1[V] to 20[V] according to the step voltage application method. From FT-IR spectrum as an analysis of physical properties, a strong absorption in wavenumbers 700 to 730[cm^{-1}], 1456[cm^{-1}] and 2700 to 3000 [cm^{-1}] observed by the methyl groups(CH_2). From the analysis of DSC, the crystalline melting points of the specimen observed in the temperature 60[℃] and 106.58[℃].

1. 서 론

최근 도시의 광역화와 인구의 집중화로 인하여 수요의 증가는 전력설비의 대용량화와 전력계통의 초고압화를 진행시키고 있다. 공급의 신뢰도 향상과 설비의 안전, 도시미관 등의 이유로 전력케이블의 중요성이 부각되면서 케이블 절연재료의 경우 신뢰성의 확보가 요구되고 있다. 절연재료에 있어서 유전특성은 장기적인 측면에서 신뢰성에 관련되는 것으로 고전압화 함께 중요성이 증가되고 있다. 유전특성은 가해지는 온도와 전계, 시간 그리고 유전율에 의해서 영향을 받는다. 유전손실은 케이블이 장시간 운전되어지는 동안에 서서히 열화를 진전시켜 절연성능을 저하시키고 케이블의 수명을 단축시켜 절연사고로 이어진다. 이를 방지하기 위해 절연특성평가가 필요하다.

본 실험에서는 초고압케이블의 절연재료로 사용되어지는 가교폴리에틸렌(XLPE)의 절연성을 간접적으로 나타내고 있는 유전정접 특성을 주파수 범위 30 ~6×10^5 [Hz], 전압 범위 1~20 [V], 온도범위 상온~120 [℃]범위에서 측정하고 온도의존성과 주파수의존 특성에 대하여 조사한 결과를 보고한다.

2. 실 험

2.1 시료

유전손실은 tanδ에 비례하며, 절연재료내에서 전력손실($W=\omega c V^2 \tan\delta$)을 나타내는 것으로 고전압화가 됨에 따라 증가한다. 폴리에틸렌(PE)과 같이 XLPE는 매우 작은 유전체 손실(tanδ) 및 유전 상수를 갖으며, 분자의 가교로 인하여 XLPE는 PE과 비교하여 산이나 염기등에 대하여 저항력이 강하며, 열변형특성 및 열노화특성 등이 우수하다.

실험에 사용된 시트는 L사의 초고압용 전력케이블의 절연재료로 사용되어지는 XLPE Cable을 선반으로 460 [㎛]의 두께로 시트상으로 제작하고 측정

하기 전에 에틸알콜로 표면을 세척하고 충분히 건조 후 측정하였다.

2.2 실험장치

실험에 사용된 측정장치의 개략도는 그림1과 같으며 실험에 사용한 전극구성은 상부전극의 주전극 38[mmϕ]과 가드링 전극(내경 40[mmϕ], 외경 80[mmϕ]) 및 하부전극은 80[mmϕ]의 평판을 사용하였고, 유전정접 측정장치(HEWLETT PACKRD Co. LCR METER 4284A)와 시료의 가열은 온도조절장치를 내장한 오븐(ANDO TO-9B)을 사용하여 측정하였으며, 전극의 구성도는 그림2와 같다.

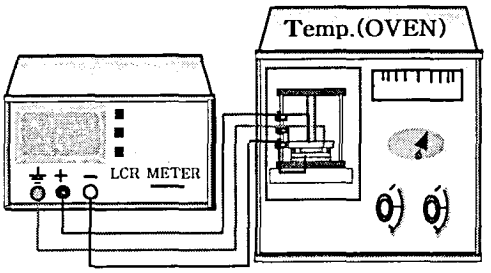

그림 1. 유전특성 측정장치

Fig. 1. Experimental device of dielectric properties

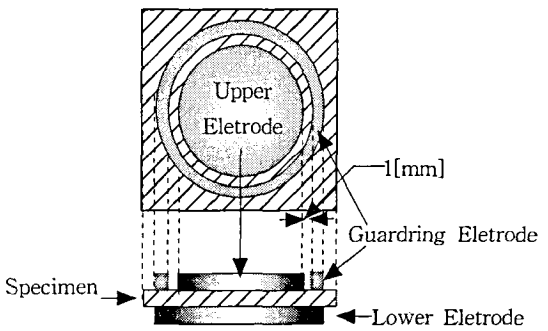

그림 2. 전극의 구성

Fig. 2. The configuration of electroad

제작된 시료의 기초물성을 조사하기 위하여 적외선 분광기 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy ;FTIR)와 차동열량계법(Differenttial Scanning Calorimetry :DSC)을 이용하여 두께 460[㎛]의 XLPE에 대하여 조사하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 시료의 물성분석

3.1.1 FT - IR

실험시료의 분자구조 및 물성을 분석하기 위해서 FT-IR을 이용하였으며 시료에 대한 FT-IR spectrum을 그림3에 나타내었다.

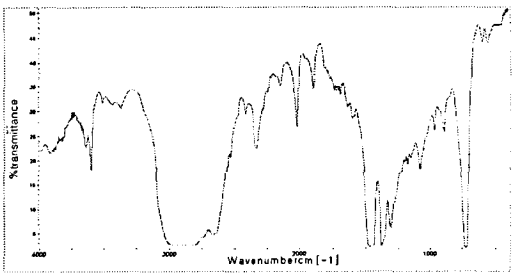

그림 3. 시료의 적외선 분광

Fig. 3. FT- IR spectra of specimen

XLPE 시료의 적외선 스펙트럼에서는 폴리에틸렌 내의 메틸기(methyl group, CH_2)의 진동(rocking vibration)에 의한 적외선 흡수에 대해서 Krimm과 Nielson 그리고 Sutherland와 Sheppard등의 논문에서는 강한 흡수가 720[cm^{-1}], 731[cm^{-1}], 1463[cm^{-1}], 1473[cm^{-1}]에서, 가장 강한 흡수가 2850[cm^{-1}], 2857[cm^{-1}], 2899[cm^{-1}], 2927[cm^{-1}]등의 파수에서 일어난다고 보고하고 있으며 이를 고려해 볼 때 파수 700~730[cm^{-1}]에서는 메틸기의 진동과 1456[cm^{-1}]에서 확인된 강한 흡수는 메틸기의 가위운동에 의해서, 2700~3000 [cm^{-1}]에서는 C-H stretch에 의해서 나타나는 것으로 사료된다.

3.1.2 DSC

차동열량계법을 이용하여 두께 460[㎛] XLPE 시료의 결정립 크기와 분산을 조사한 결과를 그림4에 나타내었다. DSC의 흡수피크는 라멜라(lamella)가 온도상승에 따라 크기가 작은 것부터 용융되어 피크로 나타난다. DSC분석에서 융점의 피크가 예리할수록 단일결정에 가깝고, 넓고 광범위할수록 비결정과 섞이거나 여러 결정이 혼합되어 있는 것을 나타낸다. 시료의 DSC의 결과로부터 60[℃], 106.58[℃]에서 피크가 나타나는 것을 확인 할 수 있는데 저온(60[℃])에서 나타난 피크의 모양은 매우 둔하므로 여러종류의 결정과 비정이 혼재한 것

들의 기여로 나타나고 고온(106.58[℃])에서 나타난 예리한 피크는 결정들의 크기가 일정한 것들이 용융되기 때문으로 사료된다.

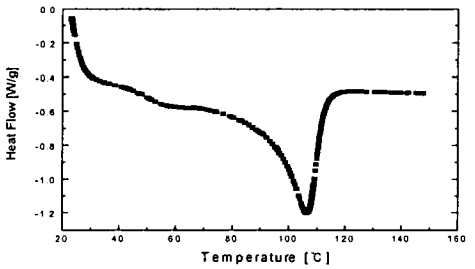

그림 4. 시료의 차동열량계

Fig. 4. DSC of specimen

3.2 유전 특성

본 실험에서는 주파수 범위 30 ~ 6×10^5 [Hz], 온도범위 상온~120 [℃], Step인가법에 따라 전압 1~20 [V]를 인가한 후 유전정접을 측정하였다.

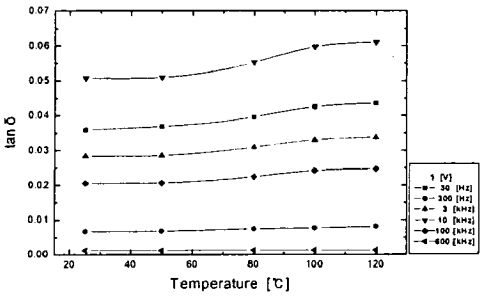

그림 5. 유전정접의 온도의존성(1[V])

Fig. 5. Temperature dependence of tan δ (1[V])

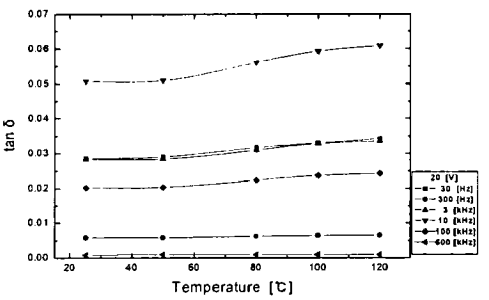

그림 6. 유전정접의 온도의존성(20[V])

Fig. 6. Temperature dependence of tan δ (20[V])

그림 5, 6은 는 전압 1, 20 [V]에서 유전정접의 온도의존성을 조사한 그림이다. 100[kHz]이하 60 [℃]이상의 온도에서 유전정접은 선형적으로 증가하며, 10[kHz]에서 유전정접이 최대가 됨을 확인할 수 있다. 낮은 주파수 영역에서는 300[Hz]에서 유전정접이 가장 적은데 이것은 주쇄의 기여로 사료되며 또한 측정주파수 범위의 고주파영역에서는 600[kHz]인가시 낮은 유전정접을 나타내는데 이것은 측쇄 및 불순물의 기여로 사료된다.

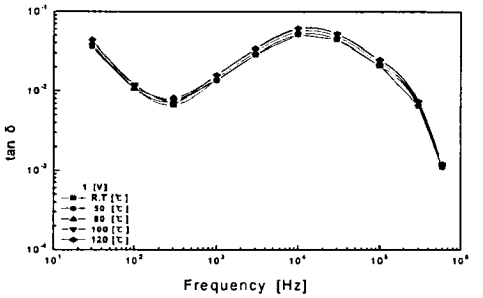

그림 7. 유전정접의 주파수 의존성(1[V])

Fig. 7. Frequency dependence of tan δ (1[V])

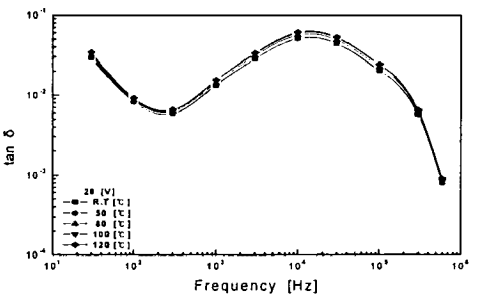

그림 8. 유전정접의 주파수 의존성(20[V])

Fig. 8. Frequency dependence of tan δ (20[V])

그림 7은 인가전압 1 [V]일때 XLPE의 주파수의 존특성을 나타낸 것으로 낮은 주파수영역(300[Hz] 이하)에서는 주파수가 증가함에 따라 유전정접(tan δ)은 일정하게 감소하고 피크는 나타나지 않으나, 같은 조건에서 높은 온도의 유전정접은 낮은 온도의 크기보다 약 1.2배정도 크게 나타남을 확인 할 수 있다. 그러나 이보다 높은 주파수(10[kHz]이하) 영역에서는 주파수의 증가에 따라 유전정접의 크기가 증가하며, 높은 온도에서 약 1.2배정도 더 크게 나타나고, 10[kHz]에서 유전정접의 피크가 나타

난다. 그리고 10[kHz]이상의 주파수에서는 유전정접은 감소하며 600[kHz]에서 온도에 따른 유전정접이 일치하는 것을 확인하였다.

그림8은 같은 조건에서 인가전압이 20 [V]일때 유전특성으로 그림 7과 유사하며. 전압이 증가하면 낮은 주파수(300[Hz]이하) 영역에서는 유전정접이 감소하는데 이것은 전극에 주입되는 전하량에 의해 유전율이 증가되기 때문으로 사료된다.

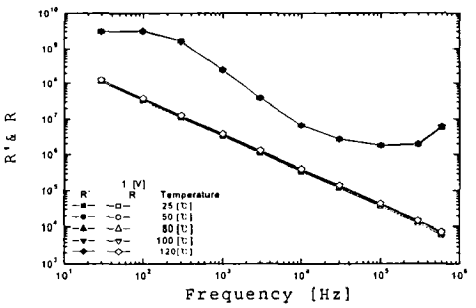

그림 9. R과 R′의 주파수 의존성(1[V])

Fig. 9. Frequency dependence of R and R′

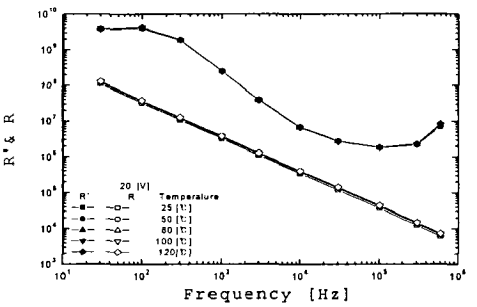

그림 10. R과 R′의 주파수 의존성(20[V])

Fig. 10. Frequency dependence of R and R′

그림 9는 정압 1[V]를 인가하고 시료의 유전특성 중 절연성 저항 R과 유전성 저항 R′의 주파수 의존성을 나타낸 그림이다.

정전계에서 절연성을 나타내는 R은 도전성을 나타내는 특성으로 주파수가 증가하면 선형으로 감소되는데, 이것은 정전계의 절연성은 인가전압에 따른 누설전류의 비이기 때문으로 사료되다. 그러나 유전성 저항 R′는 시료내부에 존재하는 쌍극자나 하전입자의 기여로 인해 나타나는 유전특성으로 주파수 30[kHz]까지는 거의 선형적으로 감소하다가 100[kHz] 이상에서는 주파수가 증가하면 크기가 증가하는 것을 확인 할 수 있는데, 이것은 유전율과 도전율의 기여로 사료되며, 주파수의 증가보다 유전정접(tanδ)의 감소 영향이 더 큰 것으로 사료된다. 온도의 영향은 거의 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

1. FT-IR분석에서 XLPE는 파수 700~730[cm^{-1}]에서는 메틸기의 진동과 1456[cm^{-1}]에서 확인된 강한 흡수는 메틸기의 가위운동에 의해서, 2700~3000 [cm^{-1}]에서는 C-H stretch에 의해서 흡수피크가 나타남을 확인하였다.
2. DSC의 결과로부터 60[℃], 106.58[℃]에서 피크가 나타나는 것을 확인하였으며 60[℃]에 나타난 피크는 여러종류의 결정과 비정질이 혼재한 것들의 기여로 나타나고 106.58[℃]에서 피크는 크기가 일정한 결정들의 기여로 사료된다.
3. 저주파수 영역에서는 주쇄에 의해 측정주파수 범위의 고주파 영역에서는 측쇄 및 불순물의 기여로 유전손실이 나타나는 것으로 사료된다.

4. 절연성 저항은 주파수가 증가함에 따라 선형으로 감소하고, 유전성 저항는 주파수 30 [㎐]까지는 거의 선형적으로 감소하다가 100 [㎐] 이상에서는 크기가 증가하였다. 이것은 유전율과 도전율의 기여와 주파수의 증가보다 유전정접(tanδ)의 감소 영향이 더 큰 것으로 사료된다

참고 문헌

[1] A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymers", Cambridge univ.. Press, New York, pp. 88 - 140, 1982

[2] H. Frohlich, "Theory of Dielectrics", Oxford, pp. 130~159, 1990.

[3] 日本工業技術員 ",赤外分光分析方法通則", JIS. K 0117, pp. 1-34, 1990

[4] N. G. McCrum, "Anelastic and Dielectric Effects in Polymeric Solids", Dover Pubns, pp. 238-300, 1991

[5] John J. O'Dwyer, "The theory of Electrical conduction and Breakdown in Solid Dielectric" Clarendon Press, John J. O'Dwyer, pp. 18-61, 1985

[6] D. S. Kim and D. H. Park, "Temperature, Electric Field, Pressure Dependency and Dielectric properties, Proc. 1997 Autumn Conf. KIEEME, 1997