

초고압 케이블용 가교폴리에틸렌의 체적고유저항특성

Volume Resistivity Properties of Cross-linked Polyethylene for Ultra-high Voltage Cable

정 준*, 김원중*, 이관우**, 이수원***, 박하용****, 김왕곤****, 홍진웅*
(J.JEONG, W.J.KIM, K.W.LEE, S.W.LEE, H.Y.PARK, W.K.KIM, J.W.Hong)

Abstract

In this paper, the physical and volume resistivity properties of cross-linked polyethylene (XLPE) for ultra-high voltage investigated due to temperature dependence, and the measurement of volume resistivity used to highmegohm meter is measured from 1 to 30 minutes when the each applied voltage, for example, DC 100[V], 250[V], 500[V] and 1000[V] is applied, 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(CH₂). From the analysis of DSC, the crystalline melting points of the specimen observed in the temperature 60[°C] and 106.58[°C]

Key Word : Cross-linked polyethylene, XLPE, Volume resistivity properties, Temperature dependence, Electric conduction

1. 서 론

최근 급속한 산업의 발전과 도시의 광역화와 인구의 집중화로 인하여 전력의 생산과 공급을 위한 전력설비의 대용량화, 전력계통의 초고압화가 진행됨에 따라 기존의 절연재료 보다 우수한 절연재료의 개발이 절실히 요구되며, 특히 케이블 절연재료의 경우 절연재료의 성능개선과 전력계통의 신뢰성을 확보하기 위하여 단일 구조보다는 대부분이 복합구조의 형태로 구성되어 있다.

본 실험에서는 대표적인 유기절연재료중의 하나로 초고압케이블의 절연재료로 사용되어지는 가교폴리에틸렌(XLPE)의 절연특성에 대하여 조사하였다. XLPE 케이블의 기본재료는 저밀도폴리에틸렌으로 가교제를 첨가하여 고온, 고압하에서 화학반응(가교)으로 폴리에틸렌의 분자간을 망상 분자구조로

변화시켜 폴리에틸렌(PE)에 비하여 우수한 전기적인 특성을 가지고 있으며 기계적인 성능(온도변화의 탄성력과 습기, 화학, 오존등에 대한 특성)을 향상시켜 대용량의 초고압 송전용 케이블의 절연 및 외피 재료로 광범위하게 사용되어지고 있다.

XLPE 절연체는 단락전류에 의해 발생하는 도체 온도 250 [°C]와 연속 사용 허용온도에서의 도체 온도 90 [°C]를 모두 만족하는 특성을 갖고 있다. 따라서 케이블용 절연재료인 XLPE를 실제 상용온도 범위에서 체적고유저항을 조사하기 위하여 측정온도 범위 상온 ~ 100 [°C]와 직류전압범위 100 ~ 1,000[V]에서 시료의 인가전압과 온도변화에 따른 체적고유저항을 조사하여 결과를 보고한다.

2. 시료 및 실험장치

2.1 시 료

고체절연체의 전기전도현상은 분자구조, 고체구조, 혼입된 불순물 및 물결고유의 특성에 따라 크게 변한다. 케이블의 절연재료는 높은 온도에서 장

* 광운대학교 전기공학과 (서울시 노원구 월계동 광운대학교 Fax: 02-915-4630 ealab@daisy.gwu.ac.kr)
** 원광대학교 전기공학과, *** 국립철도대학 전기제어과, **** 삼척대학교 전기공학과, ***** 서울산업대학교 전기공학과

시간 사용하면 물질이 열화되어 전기적인 특성이 초기상태에 비하여 크게 저하된다.

실험에 사용된 시트는 L사의 초고압용 전력케이블의 절연재료로 사용되어지는 XLPE Cable을 선반으로 460 [μm]의 두께로 시트상으로 제작하여 측정 전에 에틸알콜로써 표면을 세척하고 충분히 건조 후 측정하였다.

2.2 실험장치

실험에 사용한 전극은 상부전극은 주전극 38[mm ϕ]과 가드링 전극(내경 40[mm ϕ], 외경 80[mm ϕ]) 및 하부전극은 80[mm ϕ]의 평판을 사용하였고 체적고유저항의 측정은 미소전류계인 Highmegohm meter(ANDO Co. Medel VMG-1000)을 이용하였으며 시료의 가열은 온도조절장치를 내장한 오븐(ANDO TO-9B)을 사용하여 측정하였다. 실험에 사용된 측정장치의 개략도는 그림1과 같다.

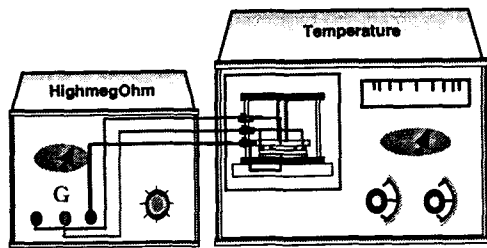


그림 1. 체적고유저항 측정장치
Fig. 1. Experimental device for the measuring volume resistivity

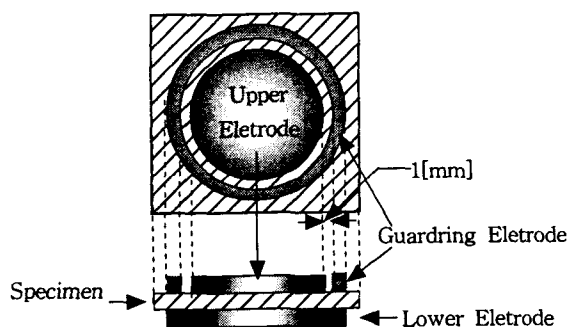


그림 2. 전극의 구성
Fig. 2. The configuration of electroade

제작된 시료의 기초물성을 평가하기 위하여 적외선 분광기 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy :FTIR)와 차동열량계법(Differential Scanning Calorimetry :DSC)을 이용하여 두께

460[μm]의 XLPE를 측정하였다.

체적고유저항은 절연성을 파악하는 시험법으로, 온도의존성을 실험하기 위하여 전극의 온도를 실온에서부터 100[$^{\circ}\text{C}$]까지 상승시키며 측정하였고 Step 인가법에 따라 직류전압을 100[V]에서 1000[V]를 인가한 후, 인가시간 1 ~ 30분 후 체적고유저항을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 물성분석

3.1.1 Fourier Transform Infrared Spectrum

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

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 가위 운동에 의해서, 2700~3000 [cm^{-1}]에서는 C-H stretch에 의해서 나타나는 것으로 사료된다.

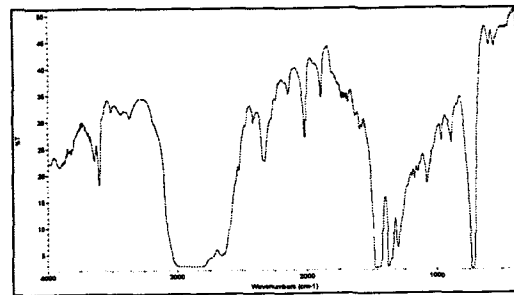


그림 3. 시료의 적외선 분광
Fig. 3. FT- IR spectra of specimen

3.1.2 Differential Scanning Calorimetry(DSC)

차동열량계법을 이용하여 두께 460[μm] XLPE 시료의 결정립 크기와 분산을 조사한 결과를 그림4에 나타내었다.

DSC의 흡수피크는 라멜라(lamella)가 온도상승에 따라 크기가 작은 것부터 용융되어 피크로 나타난다. DSC분석에서 용점의 피크가 예리할수록 단일

결정에 가깝고, 넓고 광범위할수록 비결정과 섞이거나 여러 결정이 혼합되어 있는 것을 나타낸다. 시료의 DSC의 결과로부터 60[°C], 106.58[°C]에서 피크가 나타나는 것을 알 수 있는데 저온(60[°C])에서 나타난 피크는 매우 둔하므로 여러종류의 결정과 비정질이 혼재한 것들의 기여로 나타나고, 고온(106.58[°C])에서 나타난 예리한 피크는 크기가 일정한 결정들의 기여로 사료된다

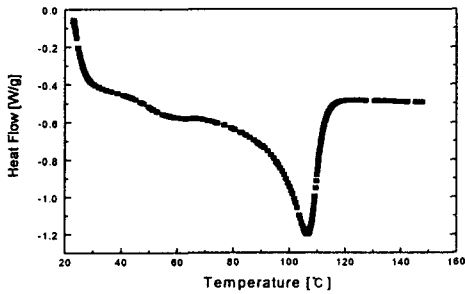


그림 4. 시료의 차동열량계
Fig. 4. DSC of specimen

3.2 체적고유저항의 온도의존특성

그림 5, 6, 7은 인가시간이 1, 30[min]일 때 전압에 따른 체적고유저항의 온도의존특성을 나타낸 그림이다.

그림 5에서 65[°C]이하 저온영역에서는 전압의 상승에 따라 체적고유저항은 증가하고, 기울기도 급해진다. 이것은 절연성이 우수하여 인가전압에 따른 전도전류의 영향이 크기 때문으로 사료된다. 그러나 70[°C]이상에서는 전도특성이 저온 영역과 반대로 되는데 이것은 측정온도에 따라 도전성이 증가 되기 때문으로 생각되고 특히 DSC분석을 통하여 결정질이 용융되는 온도로 확인되었다. 전압인

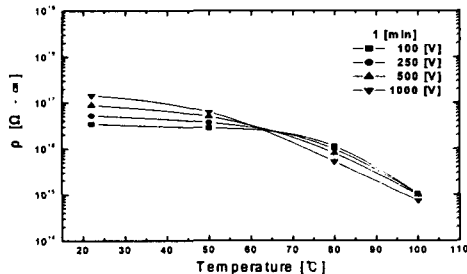


그림 5. 체적고유저항의 온도의존성 (1분)
Fig. 5. Temperature dependence of volume resistivity

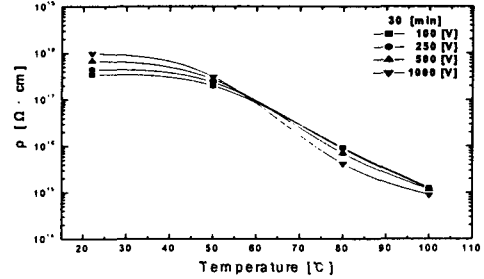


그림 6. 체적고유저항의 온도의존성 (30분)
Fig. 6. Temperature dependence of volume resistivity

가의 시간이 길어지면 흡수전류가 시간에 따라 감소되기 때문에 체적고유저항은 1분에 비하여 약 3~4배정도 커진다. 그리고 시간이 30분으로 길어지면 흡수전류 영역에서 누설전류 영역으로 되는데 시간이 길어지므로 전도전류는 매우 적어지고 안정한 특성을 나타낸다.

따라서 체적고유저항특성은 매우 우수함을 확인하였으며 또한 인가전압에 따른 온도 변곡점은 1분에서 30분로 증가함에 따라 65[°C]에서 55[°C]로 이동되는 것을 확인하였다. 이것은 절연성을 나타내는 전도특성으로 사료된다.

3.3 가교폴리에틸렌의 전기전도특성

그림 7, 8은 전계인가 시간이 1, 30[min]일 때 시료를 측정온도 상온~100[°C]범위에서 전기전도특성을 나타낸 그림이다.

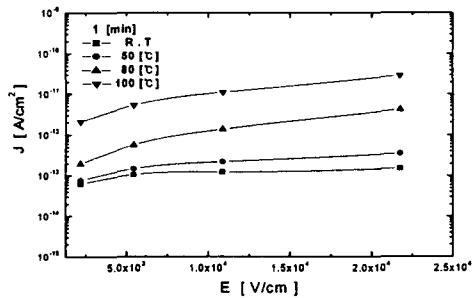


그림 7. XLPE의 전기전도특성 (1분)
Fig. 7. The electric conduction properties of XLPE

일반적으로 고분자의 전기전도특성중 저온 저전계영역에서는 이온전도가 주 기여하고 있으며, 그림7은 저온(65[°C]이하)영역과 고온(70[°C]이상)에서 전류밀도는 전계가 높아짐에 따라 증가함을 확

인하였으며, 저온영역에서는 인가전압에 따라 크게 증가하지는 않지만 고온영역에서는 인가전압에 따라 크게 증가됨을 확인 할 수 있었다. 특히 온도가 높아지면 인가된 열에너지의 기여로 매우 커지는 것을 알 수 있다.

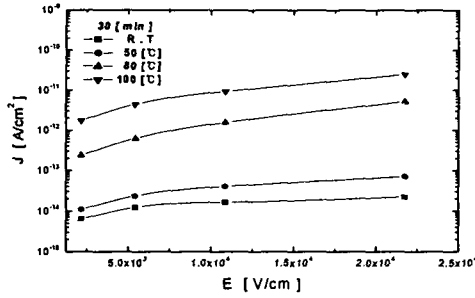


그림 8. XLPE의 전기전도특성 (30분)
Fig. 8. The electric conduction properties of XLPE

그림 7, 8을 통하여 전류밀도는 시간이 증가함에 따라 저온영역에서는 전류밀도가 감소함을 확인할 수 있다. 저온 저전계에서는 시료의 절연성이 우수하여 인가시간이 적으면 흡수전류의 영역에서 전류가 측정되므로 변화의 폭이 크나 고온 고전계 영역에서는 누설전류의 전도 전류로 변화폭이 작음을 확인하였다. 250[V]이하의 전압을 인가하였을 때 그이상의 전압을 인가할 때 보다 전류밀도의 증가가 약 3.5배 정도 더 큰 것으로 확인하였는데 이것은 이온들과 캐리어들이 저전계에서 활성화되어 전기전도에 기여하기 때문으로 사료된다. 한편 인가 전압에 따른 활성화에너지는 표1과 같으며 고온영역에서는 저온영역에 비해 매우 크다. 그리고 전압에 따른 활성화 에너지는 저온영역에서는 증가하고 고온영역에서는 그 변화율이 점차 감소함을 확인하였다.

표 1. 활성화 에너지
Table 1. Activation energy

classification [V]	low temp. region [eV]	high temp. region [eV]
100	0.065	1.338
250	0.112	1.264
500	0.195	1.179
1,000	0.279	1.104

4. 결론

초고압케이블용 가교폴리에틸렌의 물성분석, 인가전압과 온도변화에 따른 체적고유저항을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

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 흡수 피크가 나타남을 확인하였다.
2. DSC의 결과로부터 60[°C], 106.58[°C]에서 피크가 나타나는 것을 확인하였으며 60[°C]에 나타난 피크는 여러종류의 결정과 비정질이 혼재한 것들의 기여로 나타나고 106.58[°C]에서 피크는 크기가 일정한 결정들의 기여로 사료된다.
3. 체적고유저항특성은 매우 우수함을 확인하였으며 또한 인가전압에 따른 온도 변곡점은 시간이 증가함에 따라 65[°C]에서 55[°C]로 이동되는 것을 확인하였다.
4. 전류밀도는 온도가 높아지면 인가된 열에너지의 기여로 매우 커지며 저전계에서 전류밀도의 증가가 고전계보다 큰 것으로 확인하였다.
5. 전도특성에서 전압이 높아지면 활성화에너지는 저온영역에서 0.065~0.279[eV], 고온영역에서는 1.338~1.104 [eV]를 각각 얻었다.

참고 문헌

- [1] A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymers", Cambridge Univ. Press, New York, pp. 88 - 140, 1982
- [2] T. Hayami, "CV CABLE" corona co, pp. 107 - 144, 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] R. A. Nyquist, "Infrared spectra of polymers and resins", The Dow chemical, 1961
- [5] F. W. Billmeyer, "Textbook of polymer science", Inter. Sci. Pub., John willy & Son, New York, pp. 141-184, 1980
- [6] S. W. LEE, "A study on the Electrical Properties of Low Density Polyethylene Film due to Morphological Change", Thesis of ph.D, pp. 68-82, 2000