

## 제작방법에 따른 전력케이블용 폴리에틸렌 박막의 전기전도특성

10-5-6

### The Electrical Conduction Properties of Polyethylene Thin Film for Power Cable with Manufacturing Methods

조경순\*, 이용우\*\*, 이수원\*\*\*, 홍진웅\*

( Kyung-Soon Cho, Yong-Woo Lee, Soo-Won Lee, Jin-Woong Hong)

#### Abstract

In order to investigate the electrical conduction properties of polyethylene thin film for power cable with manufacturing methods, the thickness of specimen was the 30, 100[  $\mu\text{m}$  ] of LDPE and 200[  $\mu\text{m}$  ] of XLPE were manufactured. The experimental condition for conduction properties was measured until the breakdown occurs at temperature ranges from 30 to 110[  $^{\circ}\text{C}$  ] and in the electric field from  $1 \times 10^3$  to  $5 \times 10^6$ [V/cm]. As for increase of temperature, the current density of LDPE was increased with constant ratio in low field, but changes with exponential function in high electric field. The tunnel current of pre-breakdown region is shifted toward low field as much as thermal excitation energy. At low electric field, the XLPE showed dominant electrical conduction properties by thermal excitation, and transformation of the electron was resisted by the crystal at high electric field.

**Key Words(중요용어)** : LDPE(저밀도폴리에틸렌), XLPE(가교폴리에틸렌), Electrical conduction(전기도), Tunnel current(터널전류)

#### 1. 서 론

전력케이블은 대도시를 중심으로 수요증가에 대비한 공급력의 확보, 공급 신뢰도 향상, 설비안전 및 도시미관 등의 이유로 중요성이 크게 부각되고 있다.

폴리에틸렌은 넓은 주파수 범위에서 우수한 유전특성과 안정된 절연특성 및 가공특성을 갖고 있기 때문에, 현재 전력용케이블의 절연재료로 저밀도폴리에틸렌(low density polyethylene: 이하 LDPE)이 가장 폭넓게 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 한편 저밀

도 폴리에틸렌은 연화온도가 낮기 때문에 가교제를 첨가하여 화학적 가교를 시켜서, 열적특성과 기계적특성을 개선한 가교폴리에틸렌(crosslinked polyethylene: 이하 XLPE)을 제작하여 케이블의 고전압화, 대용량화에 이용하고 있다.<sup>1) 4)</sup>

본 연구에서는 케이블용 절연재료의 제작방법에 따른 재료의 고체구조 변화가 케이블의 실제 사용 온도 영역의 전압-전류특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 첨가제를 넣지않은 순수한 LDPE 시료와 열적특성을 개선한 XLPE시료를 제작하여 제작방법에 따른 물성의 변화와 전기전도특성을 실험하였다.

#### 2. 사용시료와 측정장치

##### 2-1. 시료 제작<sup>2)</sup>

폴리에틸렌은 에틸렌의 부가중합으로 만들어진

\* : 광운대학교 전기공학과

\*\* : 충남전문대학 전기과

\*\*\* : 철도전문대학 전기제어과

접수일자 : 1997년 2월 27일

심사완료 : 1997년 5월 16일

결정성 고분자로 전기절연특성과 가공성이 극히 우수한 재료이다. 그러나 절연재료의 분자구조 고체구조와 전기 절연특성과의 관계는 아직도 원인 규명은 충분히 설명되지 않고 있다.

고체 절연체의 전기전도현상은 분자구조, 고체구조, 혼입된 불순물 및 물질고유의 특성에 따라 크게 변한다. 케이블 절연재료가 현재 사용되고 있는 온도 범위는 실온이상 70~90[°C]로 보고 하고 있다. 절연파괴현상은 결정질내에서 이동도에 의해 결정되나, 전기전도는 구조민감성(structure sensitivity) 및 분위기 등에 의한 영향을 받는다.<sup>(5)</sup>

시료는 첨가제를 일체 넣지 않은 저밀도폴리에틸렌을 제작한 후 이축연신(biaxially orient)한 두께 30, 100 [μm]인 저밀도폴리에틸렌 박막과, 가교제 dicumyl peroxide(DCP)를 크로로포름 용제에 일정량 용해(25 [mg/ml]) 시킨 후 시료를 함침하고 증발시킨 다음 180~200 [°C] 온도범위에서 10분간 히팅프레스하여 제작한 두께 200 [μm]인 가교폴리에틸렌을 사용하였다. 또한 가교제가 전기적 특성에 미치는 영향을 제거하기 위해 100 [°C]에서 60분 건조시킴으로 분해 잔유물을 완전히 제거시키고, 표면 상태와 두께가 일정한 것만을 시료로 선택 하였다.

### 2-2. 시료의 기초물성<sup>(3-6)</sup>

제작된 시료의 기초물성을 평가하기 위해 적외선 흡수 스펙트럼(IR), X선 회절 패턴(XRD) 및 시차주사열량 곡선(DSC)을 측정하였다.

그림 1은 시료의 IR측정 결과 이다. IR특성에서는 그림 1의 (a)(b)와 같이 30, 100 [μm]인 LDPE의 특성은 거의 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 (c)의 XLPE의 IR에서, 주흡수 피크인 파수 2800~3000 [cm<sup>-1</sup>](C-H stretch), 파수 1450~1500 [cm<sup>-1</sup>](CH<sub>2</sub> deformation), 파수 730~700 [cm<sup>-1</sup>](CH<sub>2</sub> rocking motion)에서 나타나는 파수는 저밀도 폴리에틸렌과 매우 잘 일치함을 확인할 수 있다. 그러나 파수 1728[cm<sup>-1</sup>]에서는 LDPE보다 피크가 커진것을 확인할 수 있었고, 또한 966 [cm<sup>-1</sup>]에서 새로운 피크가 나타남도 확인 하였다.

LDPE의 XRD 패턴은 그림 2와 같고 비정질의 기여인 2θ = 19.5[°]에서 피크가 나타나고, 2θ = 21.4[°]에서 결정 (110)와 2θ = 23.6[°]에서 결정 (200)의 기여로 피크가 나타나는데, 이들 피크는 중복되어 나타나며, XLPE에서도 확인할 수 있었다. 2θ = 36[°]에서는 결정 (020)의 기여인 피크가 측정되었다.

그림 3은 전력케이블용 절연재료의 열이력을 자

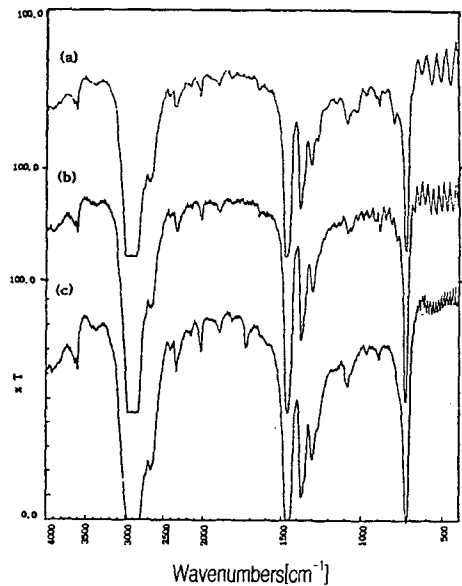


그림 1. 적외선 흡수 스펙트럼

Fig. 1. Infra-red absorption spectrum  
(a) LDPE 30(μm) (b) LDPE(100μm)  
(c) XLPE 200(μm)

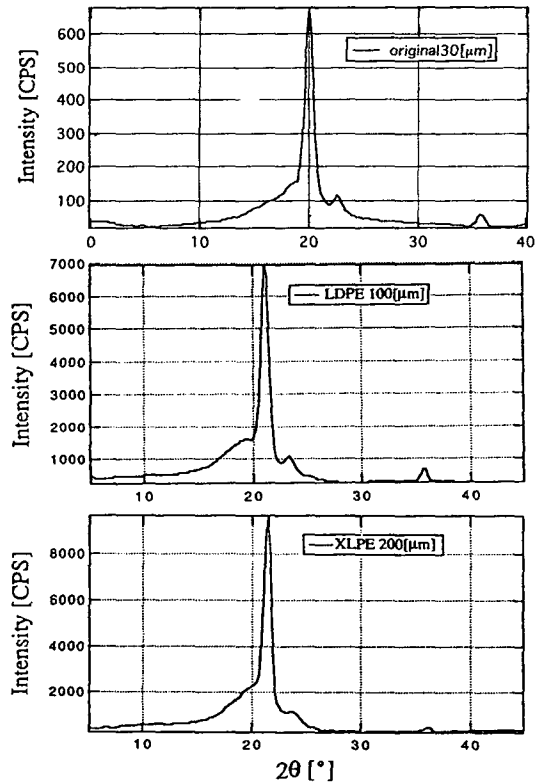


그림 2. X선 회절 패턴

Fig. 2. X ray diffraction pattern

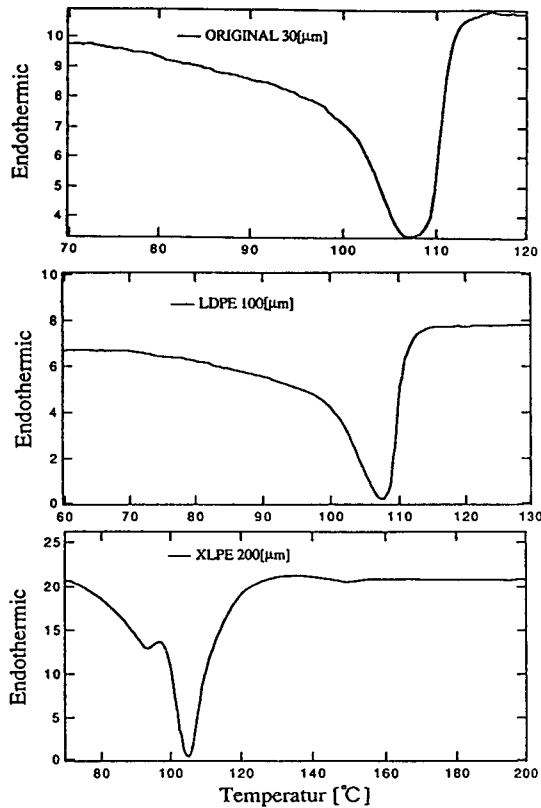


그림 3. 시차주사 열량 곡선  
Fig. 3. Diagram of DSC

세히 추정하고 결정립의 크기와 분산 그리고 용접을 조사하기 위해 DSC를 측정된 결과이다. 그림에서 주피크 용점은 LDPE의 경우 107 [°C]부근에서 하나의 흡열 피크가 나타남을 확인하였으며, XLPE의 경우 106.5 [°C]에서 LDPE의 흡열 피크와 같은 주피크가 거의 일정하게 나타났으며, LDPE에서는 나타나지 않았던 부피크가 나타남을 확인할 수 있었다.

2-3. 측정장치

전기전도 측정은 준비된 시료를 전극장치에 고정시킨후 표면 누설전류를 최소화하기 위해서 가드링 전극법을 사용하여 측정했으며 전극계의 구성은 상부 구전극 9.5 [mmΦ], 하부전극 10.5 [mm]과 가드링전극 내경 19.5 [mm], 외경 25.5 [mm]로 되어있다.

또한 전극장치의 일정한 측정온도와 절연성을 유지 관리하기 위해 점도 100[cSt] 실리콘유를 사용하였고, 자동 온도조절 장치를 이용하여 일정한 온도를 유지하였다. 실험의 전압인가는 전압 상승율 30 [V/sec]의 일정한 ramp 전압을 절연파괴될

때까지 인가하면서 전압-전류특성을 기록계로 측정하였다. 전기전도 측정은 지금까지 주로 국내에서는 step 전압 인가법을 사용하여 전압전류특성을 측정하였으나, 본 연구에서는 ramp 전압 인가법을 이용하였다. 전자의 방법은 실험도중 시료가 절연 파괴가 될 경우 측정장비인 미소전류계가 파손될 수 있으며, 전압인가 후 일정시간이 지나서 전도전류를 측정하므로 공간전하의 영향도 작용된다. 그러나 후자는 일정한 전압상승율로 상승시키면서 기록계를 이용 측정하므로 이들의 영향을 최소화할 수 있다.

3. 실험결과 및 검토

3-1. 시료의 물성

시료의 적외선 흡수 스펙트럼을 분석한 결과 LDPE와 XLPE의 주흡수 피크는 거의 일치하였으며, 파수 1728[cm<sup>-1</sup>]에서 나타나는 피크는 LDPE보다 매우 커지고 파수 966[cm<sup>-1</sup>]에서는 새로운 피크가 나타나는 것을 알 수 있었다. 파수 1728[cm<sup>-1</sup>]에서 나타나는 피크는 카보닐기(C=O)의 강한 흡수 피크이며, 일반적으로 고분자에서는 열이나 자외선에 의해 산화 열화가 진행되면 C=O기가 증가한다. 본 실험의 경우 XLPE 제작시 히팅 프레스에 의한 열노화 보다는 시료 제작시 분리를 쉽게하기 위하여 사용한 polyethyleneterephthalate(PET) 필름으로부터 영향을 받은 것으로 사료된다.<sup>7)</sup> 그리고 파수 966[cm<sup>-1</sup>]의 피크는 가교제에 의한 측쇄의 가교로 흡수 피크가 나타난 것으로 사료되고, 또한 파수 723 [cm<sup>-1</sup>] 피크는 LDPE의 피크보다 커짐을 확인할 할수 있는데, 이것은 DCP의 모노 치환벤젠에 의한 것으로 사료된다.<sup>5)</sup>

XRD 패턴에서 가교폴리에틸렌은 저밀도폴리에틸렌보다 비정질 피크가 크게 둔화되고 비정질 영역의 면적은 약간 커지는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 가교제의 기여로 비정질내에서 가교되었기 때문으로 생각된다.<sup>5),6),8)</sup> 그리고 결정질의 주피크 2θ = 21.4[°]는 약간 커지고 2θ = 36[°]결정 (020)의 피크는 약간 줄어드는 것을 알 수 있으나, 결정화도는 비정질과 결정질이 비례적으로 커짐으로 거의 변화가 없음을 확인할수 있었다. 한편 XRD 패턴으로부터 XLPE와 LDPE의 결정화도를 구한 결과 각각 57.59, 56.75[%]를 얻었고, 그리고 실험에 사용된 XLPE시료는 화학적 가교법을 이용 용융상태에서 가교를 하였으며, 가교도는 82[%]임을 확인하였다.

DSC 곡선을 조사하면 전력케이블 절연재료의

용접과 열이력 및 결정립의 크기와 분산을 알 수 있는데, 가교폴리에틸렌도 저밀도폴리에틸렌과 같은 약 107 [°C]부근에서 흡열피크가 나타나지만, 이때 피크의 폭이 줄어드는 것과 약 94 [°C] 부근에서 새로운 피크가 나타남을 확인하였다. 피크의 폭이 좁아지는 것은 XLPE 시료 제작시 잔유물의 영향을 제거하기 위해 100 [°C]에서 1시간 열처리한 결과 결정의 규칙성이 증가하였음을 나타내는 것이다. 그리고 94 [°C] 부근의 피크는 시료 제작시의 열처리 효과로 열처리 온도보다 낮은 온도에서 작은 결정립들이 용해 되었기때문에 Chain migration 되어 crystal thickening 현상, 즉 annealing 현상과 같은 효과가 나타났기 때문이다. 이 피크를 부피크라 하며 생성된 부피크 수에 의해서 절연물이 받은 열이력을 추정할 수 있다. 또한 약 150 [°C]부근에서 나타나는 작은 피크는 가교제의 잔유물 일부가 분해되는 것으로 사료된다.

3-2. 저밀도폴리에틸렌의 전기전도특성<sup>1),4),10)</sup>

그림 4는 저밀도폴리에틸렌 30 [μm]의 시료를 측정온도 30~90 [°C]범위에서 ramp전압을 인가하여 얻은 전압-전류 특성이다. 전계 1000 [kV/cm] 이하 저전계영역에서는 온도가 30 [°C]에서 90 [°C]로 증가함에 따라 거의 일정한 비율로 커지다가, 절연과피 직전의 전류증가는 거의 직선적이며, 전류밀도는 측정온도에 관계없이 전계세기의 7승에 비례하면서 급하게 증가되는 것을 확인할 수 있다.

저전계 영역중 전기전도에 기여하는 활성화 에너지는 식

$$I \propto e^{-U_a/kT} \quad (1)$$

( $U_a$ 는 전기전도에 대한 활성화 energy,  $k$ 는 Boltzmann 정수)을 사용하여  $\ln I$  대한  $1/T$  그래프의 기울기로부터 얻은 결과 200[kV/cm]때 0.078 [eV] 이고, 600 [kV/cm]때 0.123 [eV]를 얻었으며, 전도특성의 변화가 일어나는 경계인 전계 1000 [kV/cm]에서는 0.16 [eV]로 전계의 증가로 점점 커짐을 알 수 있었다.

한편 시료의 두께가 얇으므로 인해 온도 90 [°C]의 경우는 전계 1000 [kV/cm]이상 영역에서는 지수함수적으로 매우 급하게 증가되고 또한 절연과피강도가 50[°C]이하에서는 약 5[MV/cm]로 거의 비슷하나, 90 [°C] 이상에서는 2.45 [MV/cm]로 매우 낮아지는데, 이같은 현상은 온도와 인가전계의 영향으로 전극으로부터 전자의 주입이 용이해져 캐리어밀도가 증가되고, 일부의 결정질과 비정질 부분이 녹아 액상으로되어 분자운동이 자유로워져

캐리어의 이동이 용이해지기 때문에 매우 급하게 증가되다가 절연과피에 이르기 때문이다.

특히 온도 90 [°C]때 1.8 [MV/cm], 50 [°C]때 3.7 [MV/cm], 30 [°C]때 4.3 [MV/cm]이상의 전계영역에서 전류밀도는 온도에 무관하고 기울기가 일정한데, 이영역은 고전계영역(일반적으로 1[MV/cm]이상)으로 전극으로부터 전자 주입이 매우 활발하고, 불순물 준위에 포획된 전자들이 해방되어 전도에 기여하므로 터널 전류가 흐르는 것으로, 이것을 식

$$AE^2 \exp(-B/E) \quad (2)$$

(A, B는 전극과 유전체간의 일함수를 포함한 정수)에 적용하여 전위장벽의 높이  $\Phi_{FN}$ 을 구한 결과 90 [°C]에서 0.405 [eV], 50 [°C]에서 0.408 [eV] 그리고 30 [°C]에서 0.410 [eV]를 얻었는데 일정함을 알 수 있다.<sup>5)</sup>

그런데 이 경계영역이 측정온도가 높아감에 따라 저전계쪽으로 이동하는 것은 전극으로부터 유전체내의 트랩준위로 터널링하고, 이것이 열여기로 전도대 위로 올라갈때 간접 터널형에는 트랩준위에 해당하는 온도의존성이 나타나므로 낮은 전계로 이동된다.

그림 5는 두께 100 [μm]의 저밀도폴리에틸렌 시료를 측정 온도범위 30~110 [°C]에서 ramp전압을 인가하여 얻은 전도특성으로 30 [μm]과는 다른특성을 나타낸다.

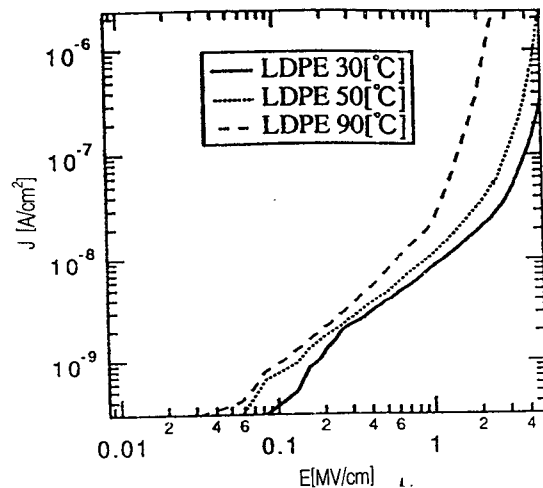


그림 4. 저밀도폴리에틸렌의 전기전도특성 30 [μm]

Fig. 4. The electrical conduction properties of LDPE(30 [μm])

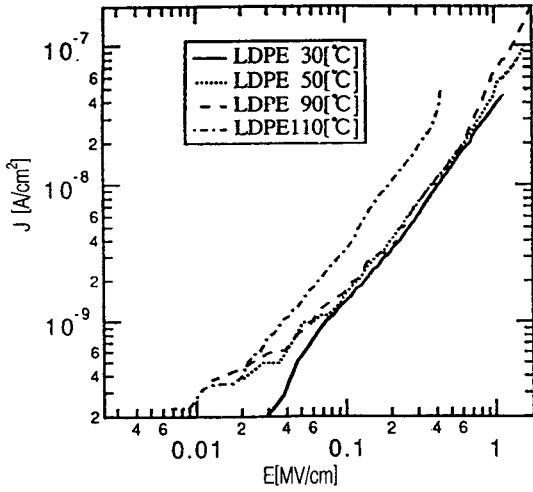


그림 5. 저밀도폴리에틸렌의 전기전도특성 100 [μm]  
 Fig. 5. The electrical conduction properties of LDPE(100 [μm])

전계 70[kV/cm]이하 저전계영역에서는 측정온도가 높아짐에 따라 전류는 비례적으로 커지나, 이상전계영역에서 측정온도 90 [°C]이하에서는 온도의 증가에 따라 증가폭은 적으나, 온도가 110 [°C]로 높아지면 전류증가는 2배이상 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 시료 제작시 30 [μm]과 100 [μm] 시료의 연신율이 다르기 때문이며, 110 [°C]에서 전도전류가 큰 이유는 DSC 곡선에서 확인한 것과 같이 측정온도가 용점 이상이 되므로 캐리어의 이동이 용이해지기 때문으로 90 [°C]이하의 경우보다 2배이상 크고, 또한 4[MV/cm]이상 전계영역에서는 직선적으로 전류가 증가하는데, 이영역은 터널전류가 흐름을 알 수 있으며 식(2)를 적용하여  $\Phi_{FN}$ 을 구한 결과 0.467 [eV]를 얻었다. 각 영역별로 전기전도에 기여하는 캐리어의 활성화 에너지는 70 [kV/cm]때 0.058 [eV], 300 [kV/cm]때 0.059 [eV], 1000 [kV/cm]때 0.086 [eV]을 얻었는데, 30 [μm] 시료보다 매우 작음을 알 수 있는데, 이것은 전기전도의 경우 비정질 영역과 자유체적의 영향으로 사료된다. 그리고 절연파괴강도는 매우 낮아지는데, 이것은 제작방법이 다른 두꺼운 시료의 고체구조의 결함과 자유체적의 존재 등으로 인하여 전기전도도가 커져서 전도전류도 크고 파괴전압은 낮아지는 것으로 사료된다.

### 3-3. 가교폴리에틸렌의 전기전도특성.<sup>3)</sup>

그림 6은 두께 200 [μm] 가교폴리에틸렌의 전압전류 특성이다.

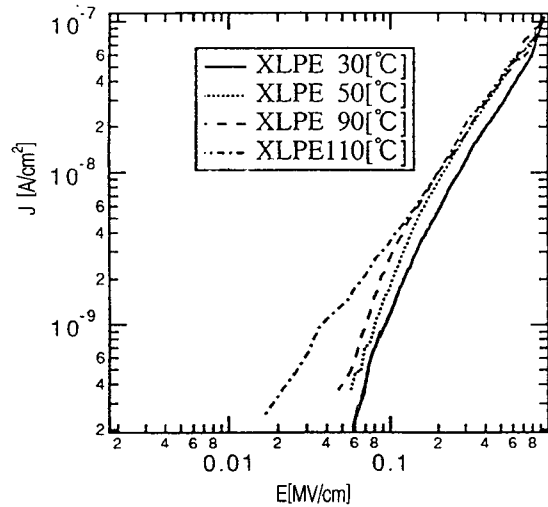


그림 6. 200 [μm] 가교폴리에틸렌의 전기전도특성  
 Fig. 6. The electrical conduction properties of XLPE(200 [μm])

저전계영역에서는 거의 직선적으로 증가하다가 전계가 높아져 파괴 전구영역에 이르면 지수함수적으로 매우 급하게 증가하다가 절연파괴 되고, 절연파괴강도는 거의 일치하고 있음을 확인 할 수 있다. 측정온도 90 [°C]이하, 전계 100[kV/cm]이하 저온 저전계영역에서는 온도의 증가에 따라 거의 일정하게 증가하지만, 110 [°C]의 경우 측정전계영역에서 거의 직선적으로 증가하다가 파괴직전에 매우 급하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 고분자의 전기전도특성중 저온 저전계영역에서는 이온전도가 주 기여하고 있는데, 용점 이하에서는 비정질 영역과 약간의 결정질 영역이 용융되므로 전기전도는 일정하나, 측정온도가 110 [°C]되면 비정질은 물론 결정질도 용융되어 이온이 이동하는데 필요한 자유체적이 확보되므로 인하여 전도전류는 매우 커진 것으로 사료된다.

한편 저전계영역중 전계세기 80[kV/cm]때 전기전도에 기여하는 캐리어의 활성화 에너지를 Arrhenius plot로 부터 구한 결과 0.188 [eV]를 구하였다. 그러나 600[kV/cm] 이하 영역에서는 온도 증가에 따라 전도전류는 약간의 증가는 있으나, 거의 일정함을 확인할 수 있다. 전계세기 200[kV/cm]때 활성화 에너지는 0.1 [eV]로 이같은 특성은 시료가 열적으로 안정 되므로 인해, 온도에 의한 영향이 전도에 크게 미치지 못하기 때문으로 사료된다.

한편 전계 620[kV/cm] 초과영역에서는 측정온도 90[°C]때 전도전류가 가장 크고 110[°C]때의 전도

전류가 적음을 확인 할 수 있으며, 그러나 절연과 파괴도는 거의 일치하고 있다. 이영역은 파괴전구 영역으로 전극으로부터 전자주입과 비정질영역에서 전자의 이동이 용이해지므로 전기전도가 이루어지는데, 온도가 110 [°C] 정도 되면 결정질이 DSC에서 확인한 것과 같이 결정영역에서 분자들의 규칙성이 진행되어 전자의 이동을 방해하기 때문에 전도전류가 적게 흐르고, 또한 온도가 높으므로 공간전하가 초기에 형성되므로 인하여 전자주입을 방해하여 캐리어 밀도를 줄임으로 전도전류는 적어진다.

그러나 절연파괴가 발생하기 직전의 전류는 급하게 증가하다가 파괴되는데, 이것은 파괴 직전에 전극으로부터 전자주입이 활발해지기 때문이며 여기서 30 [°C]때 전위장벽의 높이  $\Phi_{FN}$ 은 0.357 [eV]를 얻었다.

3-4. 온도별 전기전도특성<sup>1),8)</sup>

그림 7, 8, 9, 10은 제작방법이 다른 저밀도폴리에틸렌 2종류와 가교폴리에틸렌 시료에 대하여 측정 온도 30, 50, 90, 110 [°C]때 인가 전계에 대한 전류밀도 특성을 나타낸 그림이다.

온도 90 [°C]이하 전계 100[kV/cm]이하 적은 저전계영역에서 전도전류는 LDPE 100 [ $\mu\text{m}$ ]가 크고 XLPE 200 [ $\mu\text{m}$ ], LDPE 30 [ $\mu\text{m}$ ] 순서로 적어짐을 확인 할 수 있다.

이것은 시료 제작 방법에 따라 고체구조가 다르기 때문으로, LDPE 100 [ $\mu\text{m}$ ]은 미연신 시료로 시료내부에 자유체적과 결함이 다른시료보다 상대적

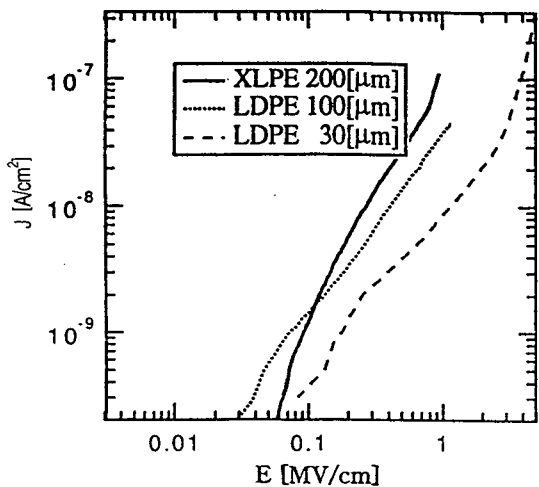


그림 7. 30 [°C]때 전기전도 특성  
Fig. 7. The electrical conduction properties at 30 [°C]

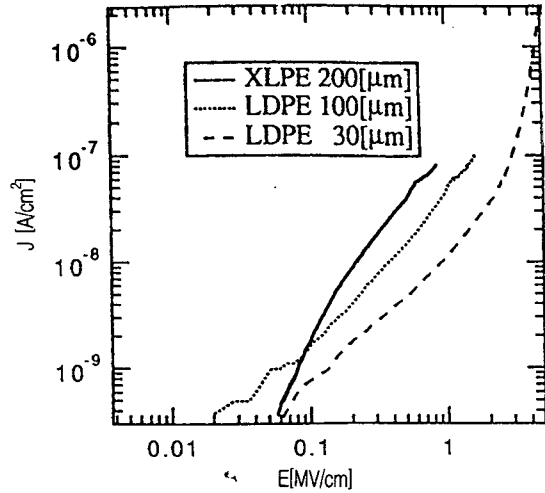


그림 8. 50 [°C]때 전기전도 특성  
Fig. 8. The electrical conduction properties at 50 [°C]

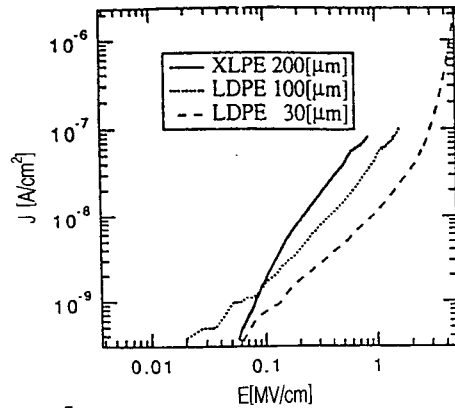


그림 9. 90 [°C]때 전기전도 특성  
Fig. 9. The electrical conduction properties at 90 [°C]

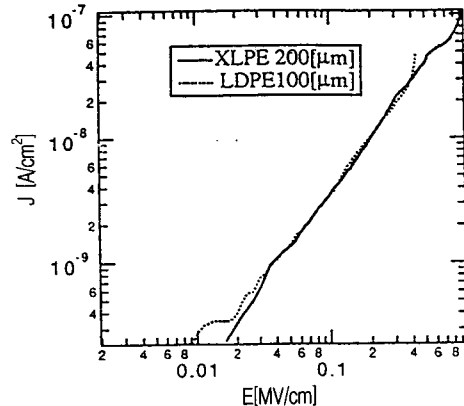


그림 10. 110 [°C]때 전기전도 특성  
Fig. 10. The electrical conduction properties at 110 [°C]

으로 많이 존재함에 따라 저전계에서는 전도전류가 크게 흐름을 확인 할 수 있으나, 100[kV/cm] 이상 전계영역에서는 XLPE 200 [μm]의 전도전류가 가장 크고 LDPE 100, 30 [μm]순으로 적어진다

이같은 현상은 가교폴리에틸렌 시료의 경우 열적성질을 개질하여 고체구조를 변형시키기 위해 가교제의 첨가와 열처리 함으로 열적특성은 안정되나, 전기전도의 캐리어 공급원으로 존재하여 가교폴리에틸렌의 전도전류가 크기 때문이다.

그림 10의 110 [°C] 전도전류특성에서 400[kV/cm] 이하 전계에서는 거의 일정하나 400 [kV/cm] 초과 영역에서는 LDPE 100 [μm]시료는 거의 수직적으로 전류가 증가하면서 파괴에 이른다. 그러나 XLPE 200 [μm]시료는 LDPE 시료보다 2배이상 높은 전계까지 파괴되지 않고 절연특성을 유지하고 있는데, 이것은 LDPE의 경우 용점이상이 되므로 결정과 비정질 영역이 용융되지만 XLPE는 용점이상에서도 분자간이 해방되지 않으므로 인해 캐리어의 이동을 방해하므로 가교폴리에틸렌 시료가 고온영역에서 열적으로 안정되고 전기적으로 우수한 특성을 갖고 있음을 확인하였다.

온도 30 ~ 110 [°C]범위에서 각 시료에 대한 온도약거리는 표 1과 같으며 일반적인 값은 수 ~ 수백[A]으로 보고하고 있는데,<sup>5),8)</sup> 본 실험에서도 같은 범위인 11.7[A]부터 103.7[A]의 값을 얻었다.

표. 1. 이온의 도약거리

Table. 1. Ionic hopping length

시 료	30 [°C]	50 [°C]	90 [°C]	110 [°C]
LDPE 30[μm]	11.7 [A]	15.8 [A]	23.7 [A]	-
LDPE100[μm]	43.1 [A]	46.06 [A]	50.4 [A]	60.4 [A]
XLPE200[μm]	88.37 [A]	103.7 [A]	90.87 [A]	72.09 [A]

#### 4. 결 론

방법을 달리하여 제작한 저밀도폴리에틸렌 2종류와 가교폴리에틸렌 박막의 전기전도 특성에 대하여 연구한 결과

1) 적외선흡수 스펙트럼에서 가교폴리에틸렌은 저밀도폴리에틸렌과 주흡수 피크는 일치하였으며, 파수 1728[cm<sup>-1</sup>]에서 강한흡수는 시료제작시 폴리에틸렌텔레프탈레이트로부터 영향을 받았기 때문이다.

2) 시료의 결정화도는 XLPE나 LDPE는 거의 비

슷하지만, 화학적 가교로 얻은 XLPE의 가교도는 82[%]임을 확인하였으며, 가교로 인하여 결정의 규칙성이 크게 향상되었고, 시료제작시 열처리효과로 새로운 결정이 생성됨을 확인하였다.

3) LDPE는 온도의 증가에 따라 저전계에서는 거의 일정한 비율로 증가되지만 고전계에서는 온도의 증가에 따라 지수함수적으로 변화하고, 터널전류가 흐르는 영역은 열여기 에너지 만큼 저전계영역으로 이동한다.

4) XLPE는 저전계에서는 열적 여기에 의한 전기전도특성이 지배적이고 고온 고전계에서는 결정이 전자의 이동을 방해하므로 인해 적어짐을 확인하였으며, 용점이상 110[°C]에서는 LDPE 시료보다 안정된 열특성과 전기적으로 우수함을 확인 하였다.

5) 시료에 대한 도약거리는 약 수십 ~ 수백[A]범위임을 확인하였고, LDPE의 터널전류 전위장벽은 약 0.4 [eV]이고 XLPE는 0.36 [eV]를 얻었다.

#### References

1. F. W. Billneyer : "Textbook of Polymer Science", John Wiley and Son, New York, pp 229~261, 1984
2. K. Gilleo : "Polymer Thick Film", ITP, pp 21~53, 1996
3. T. Hayami : "CV CABLE" Corona co., pp107~144, 1990
4. K. Yahagi : Dielectric Properties and Mophology in Polyethylene, IEEE Trans. on Elect. Insul., EI-15,, 3, pp 241~250, 1980
5. 電氣學會 : "誘電體現象論", オ-ム社, pp 242~255, 1988
6. 水谷 照吉 外 2人 : 低密度ポリエチレンの絶縁破壊に及ぼす熱處理の影響, 平成5年 電氣學會全國大會論文集, 3, p 3-69, 1993
7. D. I. Bower, W.F. Madams : "The Vibrational Spectroscopy of Polymers", CAMBRIDGE UNIV. Press, New York, pp 200~203, 1989
8. M. Kawahigashi, Y. Miyashita and H. Kato : The Importance of Mophology on Electrical Strength of LDPE/XLPE Insulators, IEEE ANNUAL REPORT, pp561~566, 1992
9. M. Nagao et al : Intrinsic AC Breakdown of Low-Density Polyethylene film in high Temperature region, IEEE ANNUAL REPORT, pp 217 ~ 222, 1992

논문 : 제작방법에 따른 전력케이블용 폴리에틸렌 박막의 ---조경순, 이용우, 이수원, 홍진웅

10. L. A. Dissado, J. C. Fothergill : "Electrical Degradation and Breakdown in Polymer",

Peter Peregrinus, London, pp 49~74, 1992

저자소개



**조경순**  
1968년 6월 14일생. 1991년 광운대학교 공대 전기공학과 졸업. 1993년 광운대학교 대학원 전기공학과 석사. 1994년 광운대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



**이수원**  
1940년 9월 1일생. 1963년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1978년 동국대학교 전기공학과 졸업(석사). 1996년 광운대학교 대학원 전기공학과(박사과정). 현재 철도전문대학 전기제어과 교수.



**이용우**  
1957년 8월 24일생. 1982년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 한양대학교 산업대학원 전기공학과(석사). 1982-1994년 선진엔지니어링 이사대우. 1995년 광운대학교 대학원 전기공학과(박사과정). 현재 충남전문대학 전기과 전임강사. 전기 기술사.



**홍진웅**  
1955년 2월 23일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992년-93년 일본 나고야대학 공학부 전기학과 객원연구원. 1989년-현재 광운대학교 공대 전기공학과 부교수. 본 학회 재무이사.