

가교폴리에틸렌 필름의 전기전도 및 공간전하특성

조 경순* 이 수원** 김 왕곤*** 홍 능표**** 홍 진웅*

* 광운대학교 공과대학 전기공학과 ** 철도전문대학 전기신호학과
*** 서울산업대학 전기공학과 **** 삼성전자 반도체 마이크로 전력전자팀

The Properties of Electric Conduction and Space Charge of crosslinked Polyethylene film

Kyung Soon CHO* Soo Won LEE** Wang Kon KIM*** Nung Pyo HONG**** Jin Woong HONG*
* KwangWoon University ** Nal'l Railroad Junior College, *** Seoul Nal'l Polytechnic University
****SAMSUNG Electronics Co, Semiconductor Micro Power-Electronics Team

ABSTRACT

In order to investigate the properties of electrical conduction and space charge in crosslinked polyethylene film, we were observed the specimen with 200[μ m] thickness.

The electrical conduction properties of specimen were measured temperature range from 30 to 110 [°C] as well as $10^{-2} - 1$ [MV/cm] of electric field.

The investigations on influence of space charge were carried out at room temperature and 60 [°C].

1. 서론

저밀도 폴리에틸렌은 우수한 유전특성과 절연특성을 갖고 있어, 전력용 케이블의 절연재로나 고주파수용 통신케이블의 절연재료로 폭넓게 사용되고 있다.

그러나 저밀도 폴리에틸렌의 열에 의한 변형을 방지하기 위해 일반적으로 가교제를 첨가하여 화학적 가교를 시켜서, 열적 특성과 기계적특성을 개선한 가교폴리에틸렌을 제작하여 케이블의 고전압화, 대용량화 및 전기기기 소형화와 고성능화에 이용하고 있다.

본 실험에서는 분해 잔유물의 영향을 최소화하기 위한 가교 폴리에틸렌을 시료로선 ramp전압을 인가 전기적 특성중 전기전도를 측정하였는데, 온도 90 [°C] 이하 저전계영역에서는 전류의 크기가 온도 상승에 따라 일정한 비율로 증가되며, 측정온도가 110 [°C]로 높아지면 증가폭은 매우 커진다. 일반적으로 공간전하는 시료내부에 존재시 전계를 변형시켜 전기절연재료의 전기전도특성과 절연파괴특성 및 열화에 현저한 영향을 미치고 있다고 여러 연구자들은 보고하고 있다.

따라서 공간전하가 전기전도에 미치는 영향을 조사하기 위해 실온과 60 [°C], 전계의 세기 0.8 [MV/cm]와 1.2[MV/cm]에서 공간전하 특성을 실험하였는데, 초기에는 공간전하의 영향이 있었고 인가시간이 길어짐에 따라 영향이 줄어들음을 확인 하였다.

2. 측정장치와 사용시료

2-1. 측정장치

전기전도 측정은 준비된 시료를 전극장치에 고정시키고 표면 누설전류를 최소화하기 위해서 가드링 전극법을 사용하여 측정했으며, 또한 일정한 측정온도를 유지하기 위해 실리콘유를 사용하고 자동온도조절장치를 이용하여 일정한 온도 분포를 조절하였다.

실험의 전압인가는 전압 상승율 30 [V/sec]의 일정한 ramp 전압을 절연파괴 될 때까지 인가하면서 전압-전류특성을 기록계로 측정하였다.

그리고 공간전하의 측정은 pulse 모양의 압력파를 이용 pulse laser를 발생시켜 측정하는 Laser Induced Pressure Pulse (이하LIPP) 방법을 이용했다.

이 방법은 시료내의 공간전하를 정량적으로 분석할 수 있는 가장 우수한 방법으로 압력파가 시료를 통과할때 외부회로에 흐르는 신호전류를 측정하므로 시료내의 전하분포를 알 수 있다.

측정은 시료 양면에 도전성 전극을 증착시킨 후 전극장치에 설치하고 측정온도가 된 다음 전압인가 직후와 일정한 시간 경과후 그리고 전원을 단락 시킨 후의 pulse를 인가하여 신호를 측정하였다.

2-2. 사용시료

(1) 시료의 제작

사용시료는 전기적 특성과 유전적 특성이 우수한 저밀도 폴리에틸렌의 열적성질과 기계적 특성을 개선하기 위해 가교제 dicumyl peroxide(이하 DCP)를 용제에 일정량 녹인 후, 시료를 함침하여 건조시킨 다음 온도 180 - 200 [°C] 범위에서 10분간 프레스를 이용하여 200 [μ m] 필름을 제작하였다.

또한 가교제가 전기적 특성에 미치는 영향을 제거하기 위해 100 [°C]에서 60분 건조시킴으로 분해 잔유물을 완전히 제거시키고, 표면 상태와 두께가 일정한 것을 시료로 선택하였다.

(2) 시료의 기초물성

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

IR특성은 그림 1과 같으며 주피크가 나타나는 파수는 저밀도 폴리에틸렌과 같으나, 파수 1728[cm^{-1}]에서 피크가 커진것을 확인할 수 있었다.

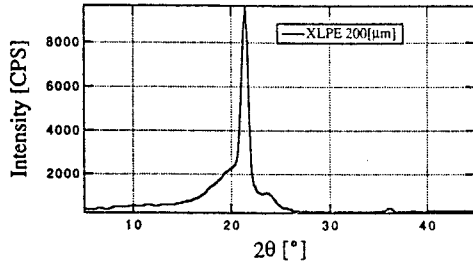


그림 2. X선 회절

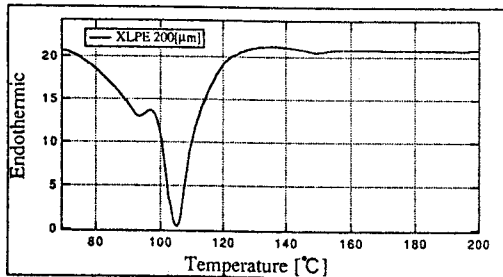


그림 3. 시차주사열량

XRD도는 그림 2와 같이 비정질의 기여인 $2\theta=19.5^\circ$ 에서 피크가 둔화되고, 결정질의 기여인 주피크만 증가됨을 알 수 있었다.

또한 그림 3은 DSC의 그림으로 피크는 저밀도폴리에틸렌의 흡열 피크와 같고 주피크가 나타나는 온도는 106.5°C 로 거의 일정하나, 다른 것은 주피크 온도보다 낮은 온도와 높은 온도에서 각각 피크가 나타남을 확인할 수 있었다.

3. 실험결과 및 검토

3-1. 시료의 물성

시료의 물성변화를 적외선 흡수를 이용하여 분석한 결과 파수 $1728[\text{cm}^{-1}]$ 에서 피크는 저밀도폴리에틸렌보다 매우 커지고 파수 $966[\text{cm}^{-1}]$ 에서는 새로운 피크가 나타나는 것을 알 수 있는데, 이것은 가교제에 의한 측쇄의 가교로 흡수 피크가 나타날 것으로 사료된다.

특히 XRD도에서 가교폴리에틸렌은 저밀도폴리에틸렌보다 비정질 피크가 크게 둔화되므로 비정질 영역이 줄어드는 것을 의미하고 있으며, 또한 결정질의 기여인 $2\theta = 21.4^\circ$ 결정 (100)의 피크는 커지나 $2\theta=23.6^\circ$, 36° 의 피크는 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

또한 DSC의 특성도를 보면 용점은 저밀도폴리에틸렌과 같은 온도에서 피크가 나타나지만, 이때 피크의 폭이 줄어드는 것과 약 94°C , 150°C 부근에서 새로운 피크가 나타남을 확인하였다.

특히 주피크의 폭이 줄어드는 것은 결정의 규칙성이 진행된 것을 나타내고, 낮은 온도의 피크는 시료 제작시의 열처리 효과에 의한 것이고, 고온에서 나타난 작은 피크는 가교제의 잔유물 일부가 분해되는 것으로 사료된다.

3-2. 전기전도 특성

그림 4는 가교폴리에틸렌의 온도 $30 - 110^\circ\text{C}$ 범위에서 전압전류 특성도이다.

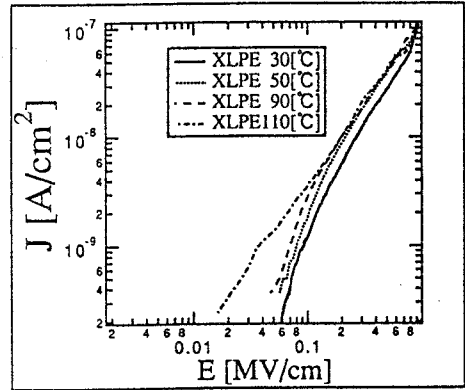


그림 4. 가교폴리에틸렌의 전기전도.

전도도그림중 전계 $100[\text{kV}/\text{cm}]$ 이하 저전계영역에서는 온도의 증가에 따라 거의 일정하게 증가되는 것을 알 수 있다.

특히 $80[\text{kV}/\text{cm}]$ 의 전기전도에 기여하는 캐리어의 활성화 에너지는 Arrhenius plot로 부터 구한 결과 약 $0.2[\text{eV}]$ 정도의 크기를 갖는다.

그러나 $600[\text{kV}/\text{cm}]$ 이하 영역에서는 온도가 증가에 따른 전도 전류는 약간의 증가는 있으나, 거의 일정함을 확인할 수 있다.

이때 활성화 에너지는 $0.1[\text{eV}](200[\text{kV}/\text{cm}])$ 로 이같은 특성은 시료가 열적으로 안정 되므로 인해, 온도에 의한 영향이 전도에 크게 미치지 못하기 때문으로 사료 된다.

한편 $600[\text{kV}/\text{cm}]$ 초과 전계영역에서는 90°C 의 전도전류가 가장 크고 다음이 50°C 이고 110°C 의 전도전류가 이렇다 다 적음을 확인할 수 있다.

이것은 비정질영역에서 전자의 이동으로 전기전도가 이루어 지는데, 온도가 110°C 정도 되면 결정질이 DSC에서 확인한 것과 같이 모두 녹으므로 이들 결정영역들이 전자의 이동을 방해하기 때문에 전도전류가 적게 흐르고, 또한 온도가 높으므로 공간전하가 초기에 형성되므로 인하여 전자주입을 방해하여 캐리어 밀도를 줄임으로 전도전류는 적어진다.

그러나 절연파괴가 발생하기 전의 전류는 급하게 증가하다가 파괴되는데, 이것은 파괴 직전에 전극으로부터 전자주입이 활발해지기 때문이다.

3-3. 공간전하의 특성

공간 전하가 전기전도와 절연파괴에 미치는 영향을 조사하기 위해 공간전하특성을 나타낸 것이 그림 5(a)(b):실온, (c)(d): 60°C 가 인가전계 $800[\text{kV}/\text{cm}]$ 때 특성 그림이고, 그림 6 (a)(b):실온, (c)(d): 60°C 는 전계 $1200[\text{kV}/\text{cm}]$ 의 공간전하의 분포도이다.

실온에서 전계 $800[\text{kV}/\text{cm}]$ 의 전압 인가 직후(그림 5a)의 시료 내부에는 약간의正的 공간전하가 존재함을 알 수 있으나, 시간이 1시간 20분 경과(b)후 거의 공간 전하가 분포하지 않은 것을 알 수 있다.

60°C 의 경우(c)는 온도가 높아지므로 초기에는 정전하가 실온보다 커짐을 알 수 있으나, 시간의 경과에 따라 공간 전하가 분포하지 않은 것을 확인할 수 있다.

또한 실온(그림 5(a)(b)) $1200[\text{kV}/\text{cm}]$ 의 경우도 초기 특성은 앞의 경우와 비슷한데 시간이 지남에 따라 homo성 공간

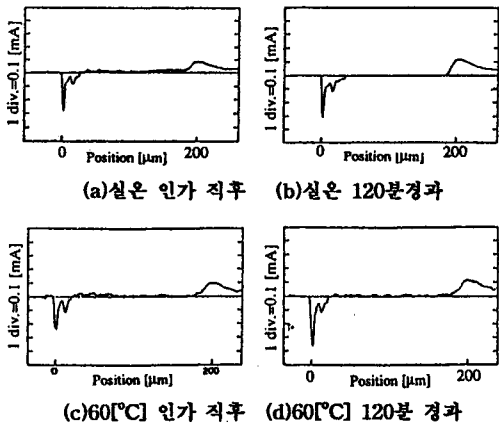


그림 5. 800[kV/cm]때 공간전하특성

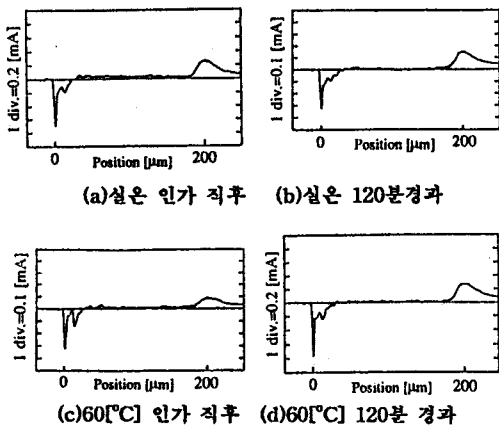


그림 6. 1200[kV/cm]때 공간전하특성

전하가 약간 나타난다. 그리고 60°C의 경우 (그림 5(c)(d)) 도 거의 같은 경향을 확인할 수 있었다.

따라서 가교 폴리에틸렌에서 가교제 잔유량이 없을 경우는 공간전하의 주입이 어려우며 또한 가교제의 존재가 전자주입을 촉진하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

가교폴리에틸렌 필름의 전기적 특성에 대하여 연구한 결과, 가교로 인하여 절정의 규칙성이 크게 향상되었고 또한 시료 제작시 열처리효과에 의한 새로운 절정이 생성됨을 알 수 있다. 저전계에서는 열적 여기에 의한 전기전도특성이 지배적이고 고온 고전계에서는 절정이 전자의 이동을 방해하므로 인해 적어짐을 확인하였으며, 공간전하특성은 인가초기에는 약간 존재하나 시료내 분해 잔유물이 없으므로 공간전하의 주입이 어려움을 확인 하였다

REFERENCES

1. M. Kawahigashi, Y. Miyashita and H. Kato : The Importance of Mophology on Electrical Strength of LDPE/XLPE Insulators, IEEE ANNUAL REPORT, pp561-566(1992)
2. T. Hayami: "CV CABLE" Corona co., pp107-144 (1990)
- 3.日本分析化学会: "高分子 分析 handbook" 朝倉書店, pp 742-748 (1985)
4. M. Ieda, G. Sawa and S. Kato: A Consideration of Poole-Flenkel Effect on Electric conduction in Insulator, J. of Appl. Phys., pp3737-3740 (1971)
5. T. Kurota: 高分子非晶質領域の物性について, 高分子 vol. 14, No 156, pp 224-230

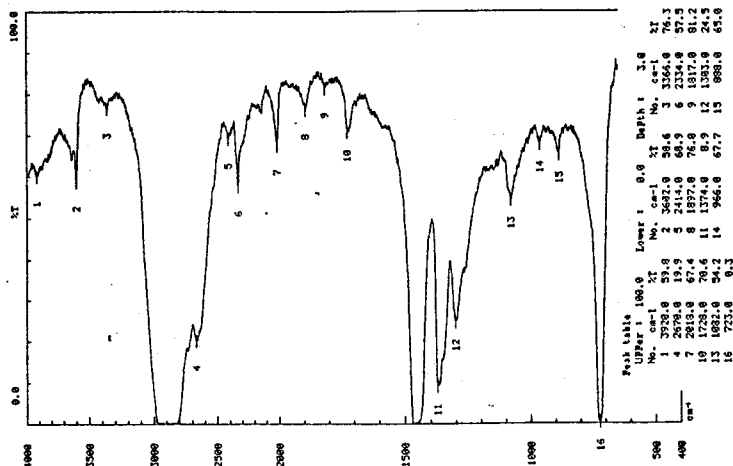


그림 1. 적외선 흡수