

전자선 조사에 따른 절연재료(LDPE)의 전기전도특성

이종필, 김이두, 오세영, 김석환*, 김왕곤*, 이충호**, 홍진웅
 광운대학교 전기공학과, *서울산업대학교 전기공학과, **충주산업대학교 전기공학과

Electrical Conduction Properties due to Electron Beam Irradiation of Low Density Polyethylene

Jong-Pil Lee, Lee-Doo Kim, Se-Young Oh, Suk-Hwan Kim*,
 Wang-Kon Kim*, Chung-Ho Lee**, Jin-Woong Hong
 Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.

*Dept. of Electrical Eng., Seoul Nat' l Polytechnic Univ.

**Dept. of Electrical Eng., ChungJu Nat' l Polytechnic Univ.

Abstract - In this paper, the physical and electrical conduction properties due to the electron beam irradiation for low density polyethylene using insulating materials of the distribution cable and ultra-high voltage cable are studied. In FTIR spectrum for physical properties, the strong absorptions by methyl groups in wavenumbers $720(\text{cm}^{-1})$ and $1463(\text{cm}^{-1})$ are observed, and the effect by residual carbonyl groups(C=O) is hardly appeared. So, as a result of the electrical conduction properties, it is confirmed that the conduction current is increased nearly to 50 [%], and is not changed until the crystalline melting point from the temperature over 60[°C] because of the defects of morphology and the formation of many trap centers by means of electron beam irradiation.

을 이용하였다. 측정 방법은 Step 인가법에 따라서 전압을 인가한 후, 5분이 경과한 다음 시료의 누설전류를 측정하였다.

표 1. 전자선 조사량에 의한 시료의 구분

시료구분	인가전류 [mA]	콘베어속도 [m/min]	반복횟수	조사량 [Mrad]
NO. 1	Virgin specimen			
NO. 2	5	7	1	1
NO. 3	10			2
NO. 4		4		
NO. 5		3.5	2	8
NO. 6	4		16	

1. 서 론

산업의 중추적인 에너지 전력의 공급 효율과 이용을 높이기 위해 송·배전계통의 고전압화와 전력 기기의 대용량화 및 소형화로 전기절연재료의 고전계화와 장수명화 및 내환경화 등의 과제가 필수적으로 대두되고 있다.

따라서 본 논문에서는 전력수요에 따라 송전선로와 변성기기가 초고압화로 되므로 전자선과 같은 방사선 열화가 전기 절연재료의 물성 및 전기전도 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 전자선 가속장치를 이용하여 조사량 변화에 따른 시료를 제작한 후 방사선 열화 가속 실험에 의한 전기절연재료의 열화가 전기전도특성에 미치는 영향에 대하여 조사하고, 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시료의 제작

시료는 저밀도 폴리에틸렌(두께 100[μm])을 선택하였으며, 원시료에 전자선 가속기(삼성 중공업)를 이용하여 전자선 조사량에 따라 전자선을 조사하여 미조사 원시료와 전자선 조사된 시료를 제작하였다.

2.2 전기전도 실험

전기전도 실험은 미소전류계인 Highmegohm meter(ANDO Co. Model VMG -1000)을 이용하였으며 온도 조절은 자동 온도 조절장치가 내장된 OVEN

전기전도 실험을 하기 위한 실험장치의 구성도를 그림 1에 나타내었다.

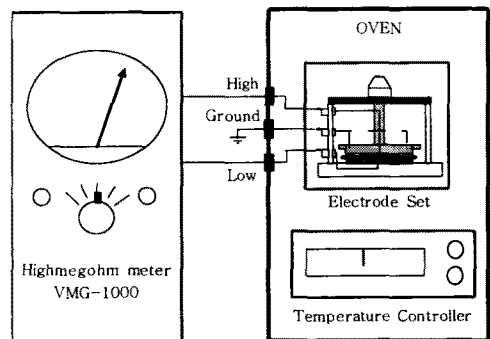


그림 1. 실험 장치의 개략도

그리고 전극은 상부전극으로 주전극 38(mmφ)과 가드링 전극(내경 40(mmφ), 외경 80(mmφ))과 하부전극 80(mmφ)으로 구성되어 있으며 상하 전극구성은 그림 2와 같다.

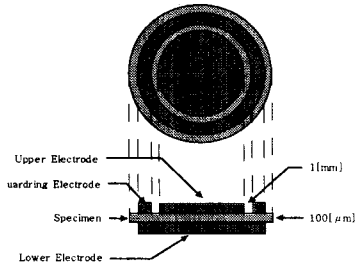


그림 2. 전극 구성

3. 결과 및 고찰

3.1 물성 분석

시료의 분자구조 및 물성을 분석하기 위하여 FT-IR 을 이용하였으며, 각 시료에 대한 FT-IR spectrum을 그림 3에 나타내었다.

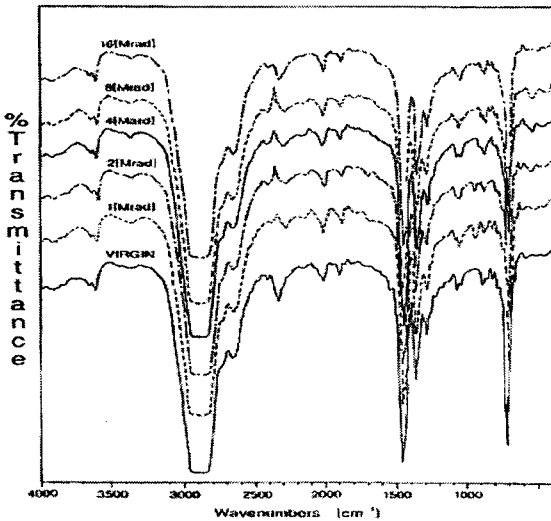


그림 3. 시료의 적외선 분광

$720(\text{cm}^{-1})$, $1463(\text{cm}^{-1})$ 에서 확인된 강한 흡수는 methyl 기(CH_2)에 의해 나타나는 것으로 생각된다.

본 실험에서 선택된 시료에 대해서는 파수 $1303(\text{cm}^{-1})$ 에서의 피크가 전자선 조사량의 변화에 따라 흡수의 크기가 변화되는 것을 확인할 수 있다. 더불어 파수 $1820(\text{cm}^{-1})$ 에서의 피크가 미조사 원시료에는 관측되나 전자선 조사된 시료들에서는 매우 약하게 나타남을 확인할 수 있었다.

3.2 전류밀도의 전계의존성

전자선 조사된 시료와 미조사된 시료의 전계 변화에 따른 전류밀도의 변화를 조사하였다. 그림 4는 온도 $20(^{\circ}\text{C})$ 에서 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 도시한 그림이다.

원시료의 경우는 온도 $3 \times 10^9 (\text{V/m})$ 를 넘어서면 전계 변화에 따라 전류밀도가 급격히 변화되는 것을 확인할 수 있으며 전자선 조사된 시료들은 전계변화에 대해 전류밀도가 선형적으로 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다.

저온·저전계에서는 시료 내의 캐리어의 여기나 전극으로부터의 외부 캐리어 주입 효과가 나타나기 어렵기

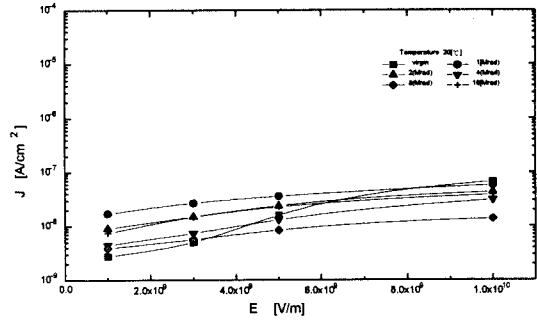


그림 4. 온도 $20(^{\circ}\text{C})$ 에서 전류밀도의 전계 의존성

문에 전계의 변화가 전류밀도 변화에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 생각되며 저온에서도 전계가 높아지면 전극으로부터의 외부 캐리어 공급에 따른 전류밀도 상승이 초래되는 것으로 원시료의 전류밀도가 급상승하는 것이 이해된다. 그러나 전자선 조사된 시료들은 이미 전자선 조사에 의해 충분한 여기 에너지를 공급받았기 때문에 저온에서는 전계의 변화에 따른 급격한 전류밀도의 변화를 찾아볼 수 없는 것으로 생각된다.

또한 전자선 조사된 시료들 중에서는 $1(\text{Mrad})$ 조사된 시료의 전류밀도가 가장 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 전자선 조사에 의해 생긴 결함이 상대적으로 적고 내부 캐리어를 여기시키는데 충분한 조사에너지가 공급되었기 때문으로 생각된다. 그러나 전자선 조사된 다른 시료들은 조사에너지에 의한 내부 캐리어의 여기 뿐만 아니라 구조적인 결함 등과 같은 다수의 트랩 형성이 영향을 미쳐 전류밀도가 다소 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

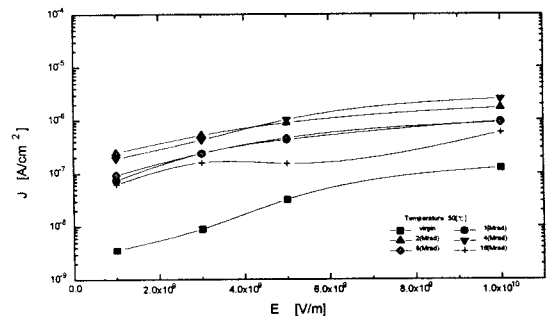


그림 5. 온도 $50(^{\circ}\text{C})$ 에서 전류밀도의 전계 의존성

그림 5는 온도를 $50(^{\circ}\text{C})$ 로 상승시켰을 때 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 도시한 그림이다.

온도가 $50(^{\circ}\text{C})$ 로 상승하면 원시료의 경우는 온도 $20(^{\circ}\text{C})$ 에서와 달리 전계 상승에 따른 전류밀도 변화가 선형적으로 증가됨을 볼 수 있으며, 전자선 조사된 시료들은 대략 10배 정도 전류밀도가 상승된 것을 볼 수 있다.

온도가 상승함에 따라 전자선 조사에 의해 공급된 내부 여기에너지 뿐만 아니라 외부에서 공급되는 열에너지가 전류밀도의 변화에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있으며 온도가 상승 되면서 저전계 영역에서도 전극으로부터의 도전성 캐리어의 주입이 일어나 전류밀도 증가에 기여하는 것으로 생각된다.

전자선 조사된 시료들의 경우 전자선 조사량

16[Mrad]인 시료의 전류밀도 변화를 보면 약 $4 \times 10^9 \sim 6 \times 10^9$ [V/m]의 전계영역에서 전류밀도가 포화되어 전계변화에 대해 안정적인 경향을 나타내는데, 이것은 전자선 조사로 인해 생긴 결합들이 캐리어들을 포획함으로써 전류밀도의 증가가 나타나지 않는 것으로 생각되며 이와 마찬가지로 전자선 조사량 8[Mrad]인 시료 역시 전자선 조사에 따른 결합의 발생이 전류밀도의 증가를 억제하는 것으로 생각된다. 그러나 전자선 조사량 1[Mrad]인 시료의 경우는 결합을 발생시키지 않고 시료의 내부 여기 에너지에만 영향을 받았기 때문에 온도 변화에 대해서나 전계 변화에 대해 안정적인 경향을 나타내는 것으로 생각된다. 전자선 조사량 2[Mrad], 4[Mrad]인 시료는 전자선 조사에 따른 내부 여기에너지 증가로 생성된 정이온의 영향이 다수 형성된 트랩의 영향보다 강하게 작용하여 전류밀도가 다소 높게 나타나는 것으로 생각된다.

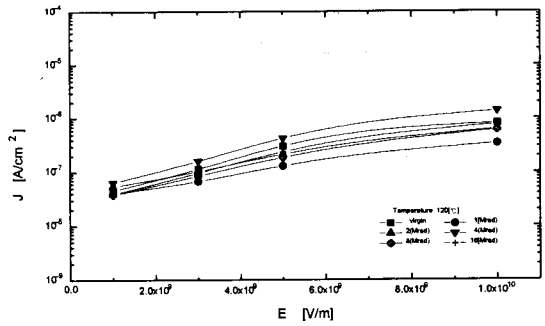


그림 7. 온도 120(°C)에서 전류밀도의 전계 의존성

또한 전자선 조사된 시료들은 결정 용점보다 낮은 온도에서는 미조사 원시료에 비해 대략 2~10배 정도의 큰 전류밀도를 나타내었으나 결정의 용해로 인해 용해된 결정 부분이 도전성에 기여하기 때문에 미조사 원시료나 전자선 조사된 시료의 전류밀도가 거의 비슷하게 나타나는 것으로 생각된다.

4. 결 론

전력 케이블등의 피복 절연재료로 사용되는 저밀도 폴리에틸렌 시료에 대하여 방사선의 일종인 전자선 조사에 따른 물성 및 전기적 특성의 변화를 연구하기 위하여 두께 100[μm]인 저밀도 폴리에틸렌 원시료와 전자선 조사량 1[Mrad], 2[Mrad], 4[Mrad], 8[Mrad] 및 16[Mrad]인 시료에 대해 물성분석 및 전기전도 특성을 실험하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

시료의 고체 구조 변화를 조사하기 위한 물성분석으로 FTIR spectrum으로부터 methyl 기(CH₂)에 의한 파수 720[cm⁻¹], 1463[cm⁻¹]에서 강한 흡수를 볼 수 있으며, 잔류 Carbonyl 기(C=O)의 영향은 거의 없음을 확인하였다. 또한, 전자선 조사량의 증가에 따라 비정질의 기여에 의해 나타나는 파수 1303[cm⁻¹]에서의 흡수 피크가 커지는 것을 확인하였다.

그리고 전류밀도의 전계 의존성에서는 결정 용점보다 낮은 온도에서는 미조사 원시료의 전류밀도가 낮게 나타나며, 결정 용점 이상의 실험온도에서는 용해된 결정이 도전성에 기여하여 미조사 원시료나 전자선 조사된 시료 모두 전계 상승에 따라 서서히 전류밀도가 증가하는 것을 확인하였다.

또한 전자선 조사된 시료들 중에서는 전자선 조사량 1[Mrad]인 시료가 온도 변화나 전계 변화에 대해 안정적인 전류밀도를 나타내는 것을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymers", Cambridge Uni. Press, New York, pp. 88-140, 1982
- [2] 柴山 恭一, "電力技術における高分子", 高分子, 25, 4, pp. 200~203, 1989
- [3] 新田 義孝, "電氣絶緣材料の化學", 培風館, pp 51~59, 174~179, 1983
- [4] 家田 正之, "高分子の電氣物性と其の應用", 日本電氣學會, pp. 27-52, 1972
- [5] 坂本 良憲, "實務者のための電子線加工", 高分子刊行會, pp. 39-120, 1989
- [6] F. W. Billmeyer, "Textbook of Polymer Science", Inter. Sci. Pub., John Wiley and Son, New York, pp. 141~184, 1980

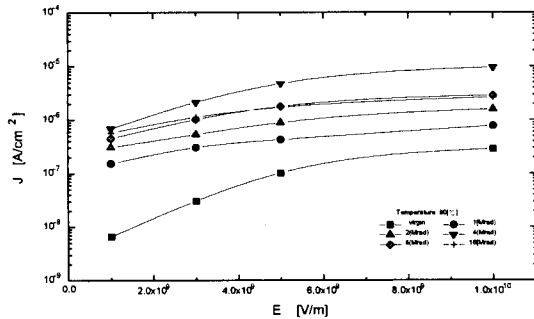


그림 6. 온도 80(°C)에서 전류밀도의 전계 의존성

그림 6은 온도 80[°C]에서 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 도시한 그림이다.

온도가 80[°C]로 상승되면 온도 50[°C]와 비교하여 전류밀도가 다소 증가한 것을 확인할 수 있으며 미조사 원시료와 전자선 조사된 시료들 모두 전계 변화에 대해 전류밀도가 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 외부에서 공급되는 열에너지가 시료의 결정 용점에 근접함에 따라 결정이 용해 되기 시작하면서 전자선 조사로 인해 생긴 결합들이 포획되어 있던 캐리어들이 자유롭게 되어 전류밀도 증가에 기여하는 것으로 생각되며 전자선 조사량 1[Mrad]인 시료는 전계변화에 대해 전류밀도의 변화가 거의 없는 것으로 보아 전자선 조사에 의해 어느 정도 가교의 영향을 받아 전계변화에 대해 안정적인 경향을 나타내는 것으로 생각된다.

원시료의 경우는 5×10^9 [V/m] 전계 영역까지는 선형적으로 증가하다가 고전계에서는 증가 폭이 둔화 되는 것으로 보아 전자선 조사와 같은 외부 에너지 공급에 따른 구조적인 변화가 발생하지 않아 전류밀도가 증가된 후 안정적으로 낮은 전류밀도를 나타내는 것으로 생각된다.

그림 7은 온도 120[°C]에서 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 나타낸 그림이다.

온도 120[°C]에서는 시료인 LDPE의 결정 용점 이상인 온도로 시료의 결정이 용해되었다고 판단되며, 시료의 결정이 용해 되었기 때문에 전자선 조사된 시료와 미조사 원시료의 전류밀도는 크게 차이를 나타내지 않으며 전계변화에 따른 전류밀도 증가 경향 역시 선형적으로 증가하는 것으로 동일하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

전자선 조사가 시료의 구조적인 안정을 초래한 것으로 판단되는 전자선 조사량 1[Mrad]인 시료의 전류밀도가 가장 낮게 나타나며 온도 변화나 전계 변화에 대해서 다른 시료에 비해 안정적인 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다.