

저밀도 폴리에틸렌의 도전율에 미치는 전자선 조사의 영향

The Influence of Electron Beam Irradiation due to Conductivity
in the Low Density Polyethylene

조경순	광운대학교 전기공학과
김이두	광운대학교 전기공학과
신현택	광운대학교 전기공학과
이수원	한국철도대학 전기제어과
이종필	광운대학교 전기공학과
홍진웅	광운대학교 전기공학과

Kyung-Soon Cho	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Lee-Doo Kim	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Hyun-Taek Shin	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Soo-Won Lee	Dept. of Electrical Control, Korea Nat'l Railroad College
Jong-Pil Lee	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Jin-Woong Hong	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.

Abstract

In this paper, the physical and conductivity 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.

The specimens of the low density polyethylene of thickness 100[μm] irradiated as each 1[Mrad], 2[Mrad], 4[Mrad], 8[Mrad], 16[Mrad] and virgin are used in this experiment.

In order to measure the conductivity properties, the micro electrometer is used, the range of temperature and applying voltage are 20 to 120[$^{\circ}\text{C}$], form 100 to 1000[V] respectively.

So, as a result of the conductivity properties, it is confirmed that the conductivity is increased nearly to 50[$^{\circ}\text{C}$], and is not changed until the crystalline melting point from the temperature over 60[$^{\circ}\text{C}$] because of the defects of morphology and the formation of many trap centers by means of electron beam irradiation.

1. 서론

최근 석유화학 공업의 발달로 많은 고분자 재료가 생산되고 있는데, 이러한 합성 고분자재료 중에서 반 결정질 수지인 폴리에틸렌(Polyethylene)은 에틸렌 중합체로 전기적으로 무극성이고 저온에서도 유연하며, 내후성이 우수할 뿐만 아니라 화학적으로도 대단히 안정하기 때문에 배전용 케이블, 특고압 전력 케이블 등의 절연재료로써 이용되고 있다.

방사선(자외선에서 γ 선에 이르는 전자파와 각종 입자선)과 열은 그 에너지의 형태 및 재료에의 전달

법에 차이는 있어도, 재료를 구성하는 분자에 전체적으로 작용하여 이온화, 여기 및 유리기의 생성을 일으킨다.⁽¹⁾

따라서 본 논문에서는 방사선 열화가 전기 절연 재료의 물성 및 도전율 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험

2-1. 시료

두께 100[μm]인 저밀도 폴리에틸렌을 선택하였으

며 원시료에 전자선 가속기를 이용하여 전자선 조사량에 따라 전자선을 조사하여 미조사 원시료와 전자선 조사된 시료를 제작하였다.

표 1. 시료의 구분

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

전자선 조사량은 다음의 식 (1)을 이용하여 산출하였다.¹¹⁾

$$D = k \frac{I}{v} \quad [\text{Mrad}] \quad (1)$$

여기서 D는 구하려는 전자선 조사량이며, I는 인가전류 [mA], v는 컨베어 벨트의 속도 [m/min] 이고, k는 CTA 선량계를 이용하여 미리 구한 상수이다.

따라서 전자선을 조사하는 시료에 동일선량을 조사하려면, 전자류가 많은 만큼 피조사물의 반응속도를 크게 할 필요가 있고 처리량은 반응속도에 비례하여 많아지는 것으로 전자선 조사량은 주어진 식 (1)에 따라 인가전류와 컨베어 속도를 제어하여 변화시킬 수 있다.

전자선 조사 장치의 개략도는 나타낸 그림 1과 같다.

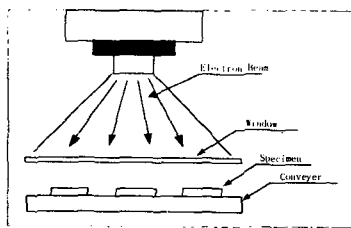


그림 1. 전자선 조사 장치의 개략도

100[μm] LDPE 시료는 전자선 조사 장치의 윈도우로부터 18[cm] 거리에 위치한 컨베어에 올려놓고 전자선을 조사하였다.

2-2 도전율 실험

도전을 실험은 미소전류계인 Highmegohm meter(ANDO Co. Model VMG -1000)을 이용하였으며 온도 조절은 자동 온도 조절장치가 내장된 OVEN을 이용하였다. 측정 방법은 Step 인가법에 따라서 전압을 인가한 후, 5분이 경과한 다음 시료의 누설전류를 측정하였다.

도전을 실험을 하기 위한 실험장치의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

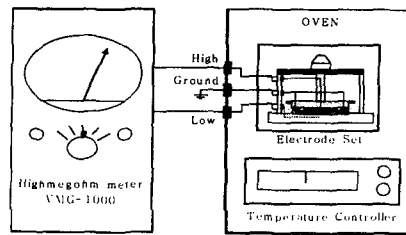


그림 2. 실험 장치의 개략도

3. 결과 및 고찰

3-1. 물성분석

전자선 조사에 따른 고체 구조의 변화를 조사하기 위하여 두께 100[μm] LDPE 미조사 원시료와 전자선 조사량 1[Mrad], 2[Mrad], 4[Mrad], 8[Mrad], 16[Mrad]인 시료의 파단면을 관찰하기 위한 시료의 단면을 2000배로 확대한 SEM 사진 촬영 결과를 사진 1에 나타내었다.

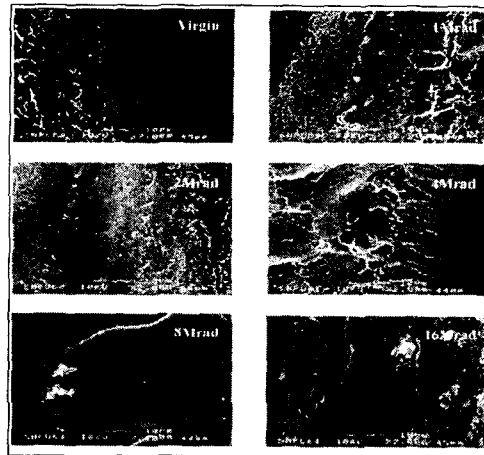


사진 1. 시료의 전자현미경 사진

3-2. 도전율의 특성

100[μm] LDPE 원시료와 전자선 조사된 시료의 전기전도 특성을 연구하기 위하여 각 시료들의 누설전류를 측정하였다.

전압 100[V] 인가시 각 시료들에 대한 도전율의 온도 의존성을 그림 3에 나타내었다.

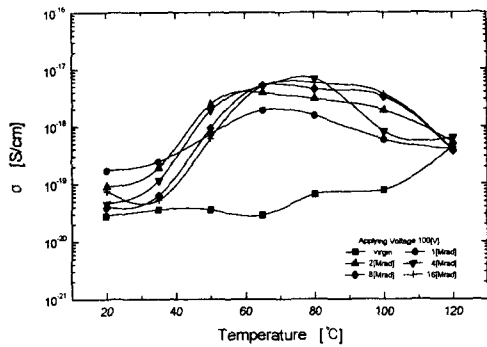


그림 3. 100(V)인가시 도전율의 온도 의존성

원시료의 경우 도전율은 온도변화에 대해 안정적인 특성을 나타내며, 80[$^{\circ}\text{C}$]를 넘어서면서 온도 증가에 따라 도전율이 서서히 상승하는 것을 확인할 수 있다.

그러나 전자선 조사된 시료의 경우 온도 50[$^{\circ}\text{C}$] 부근에서 급격히 증가한 후 온도 100[$^{\circ}\text{C}$]까지 일정하다가 온도 100[$^{\circ}\text{C}$]를 넘어서면 서서히 감소하여 원시료와 같은 수준으로 회복되는 것을 확인할 수 있다.

원시료의 도전율은 LDPE의 특성을 고려하면 절연성이 우수하여 온도변화에 대해 큰 변화가 나타나지 않으나, LDPE의 결정 융점인 100[$^{\circ}\text{C}$]부근에서 결정의 용해에 따라 도전성 캐리어들의 이동이 쉬워져 도전율이 증가하는 것으로 생각된다.

그러나 전자선 조사된 시료의 도전율은 전자선 조사 에너지가 도전성 캐리어의 여기 에너지를 공급하므로써 도전율이 낮은 온도에서도 급격히 증가하게 되며, 온도가 높아지면서 전자선 조사로 인해 형성된 다수의 트랩이 영향과 융점 이상에서 도전율은 원시료에서와 같은 수준으로 회복되는 것으로 사료된다.

전자선 조사된 시료의 경우는 전자선 조사로 인해 도전성에 기여하는 정이온의 생성 뿐만 아니라 다수의 트랩이 형성되어 도전율에 영향을 주는 것

로 생각된다.

그림 4는 전압 250[V] 인가시 각 시료들에 대한 도전율의 온도 의존성을 나타낸 그림이다.

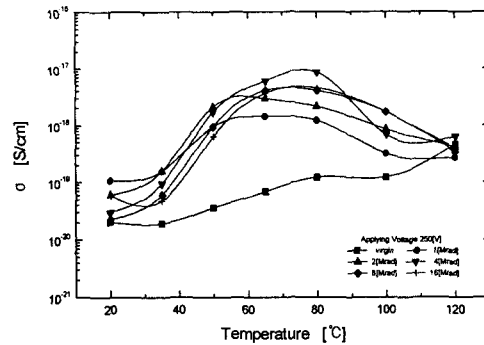


그림 4. 250(V)인가시 도전율의 온도 의존성

인가전압 100[V]인 경우와 유사한 경향을 볼 수 있으며 인가전압이 상승되면서 원시료는 온도 변화에 따라 도전율이 서서히 증가하다가 시료의 결정 융점 부근인 100[$^{\circ}\text{C}$]를 넘어서면 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그리고 전자선 조사된 시료의 경우는 1[Mrad] 조사된 시료의 도전율이 온도변화에 대해 안정한 경향을 나타내며 나머지의 경우 온도 50[$^{\circ}\text{C}$] 영역에서 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 저온영역에서 전자선 조사량이 증가할수록 도전율은 감소하지만, 온도 50[$^{\circ}\text{C}$]이상의 고온 영역에서는 전자선 조사량이 4[Mrad]까지 도전율이 증가하다가 전자선 조사량이 4[Mrad]를 초과하면 반대로 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 저온영역에서는 전자선 조사량이 증가할수록 공급되는 여기 에너지가 증가함으로 인해 온도 변화의 영향보다는 전자선 조사에 의한 시료의 분자 구조적 변화의 영향이 지배적으로 나타나는 것으로 보이며 온도가 높아지면, 열 에너지 공급으로 전극으로부터 주입되는 캐리어 등의 영향으로 온도의 변화에 대한 영향이 나타나는 것으로 생각된다.

온도 100[$^{\circ}\text{C}$]를 넘어서면 인가전압과 무관하게 시료의 결정 융점에 근접한 온도로 인해 시료의 결정 융해가 도전성에 크게 기여하여 각 시료들의 도전성이 동일한 수준으로 되는 것으로 사료된다.

그림 5는 전압 500[V] 인가시 각 시료들에 대한 도전율의 온도 의존성을 도시한 그림이다.

인가전압이 상승되면서 원시료의 도전율은 온도

변화에 대해 도전율 증가 경향이 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 전자선 조사된 시료의 경우는 16[Mrad] 조사된 시료의 경우 전자선 조사로

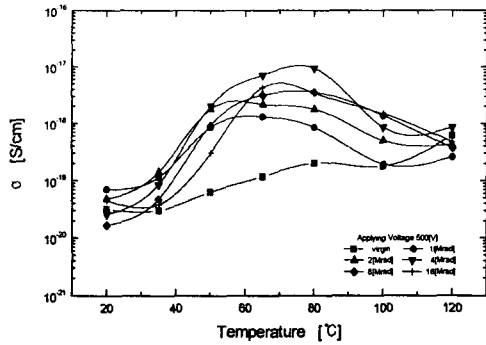


그림 5. 500(V)인가시 도전율의 온도 의존성

SEM 사진에서 이미 확인한 바와 같이 구조적인 붕괴의 영향으로 온도 변화에 대해 심하게 변동하는 것을 확인할 수 있으며, 전자선 조사된 시료 중에서는 1[Mrad] 조사된 시료가 온도변화에 대해 가장 안정적인 것을 확인하였다.

인가전압이 상승되면서 저전압에서와는 달리 온도 변화에 대해 저온에서도 전극으로부터의 캐리어 주입이 도전성에 영향을 주어 온도 변화에 따라 도전율의 변화가 저전압에서와는 달리 확연히 나타나는 것으로 생각된다.

그림 6은 전압 1000[V] 인가시 각 시료들에 대한 도전율의 온도 의존성을 도시한 그림이다.

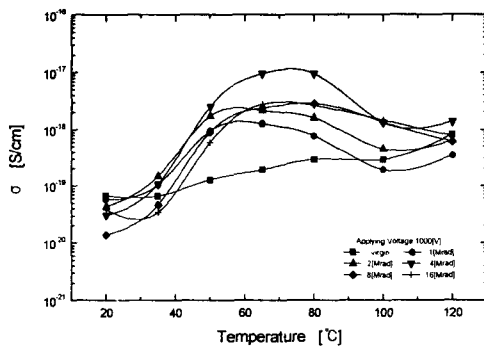


그림 6. 1000(V)인가시 도전율의 온도 의존성

원시료의 경우는 인가전압이 상승함으로 인해 저온에서도 전극으로부터의 외부 캐리어 주입이 가능하게 되어 다소 높은 도전율을 나타내며 온도변화에 따라 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

전자선 조사된 시료의 경우는 1[Mrad] 조사된 시료의 경우 적당량의 전자선 조사로 시료의 가교를 유발시켜 온도 변화에 따른 도전율의 변화가 다른 시료에 비해 작게 나타나며 전자선 조사량 4[Mrad]까지는 전자선 조사에 따른 결합의 발생과 정이온의 생성등 도전성에 기여하는 캐리어들이 생성되면서 도전율이 상승하나, 전자선 조사량이 4[Mrad]를 초과하면 높은 조사 에너지로 인해 시료의 구조적인 붕괴가 일어나 저온에서도 온도변화에 따라 급격한 도전율의 변화를 보이며 결정 융점을 넘어선 영역에서도 도전율의 회복이 다른 시료에 비해 미약한 것으로 생각된다.

4. 결론

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 도전율 특성을 실험하였으며 실험 결과는 다음과 같다.

전자선 조사로 SEM 사진에서 구조적인 붕괴의 영향을 확인할 수 있으며, 가드링 방법에 의한 도전율 특성을 조사하기 위한 시료의 누설전류 측정 결과 전자선 조사된 시료의 도전율은 온도가 상승함에 따라 급격히 증가하다가 다시 감소하여 원시료의 수준으로 회복됨을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] A. R. Blythe, "Electrical Properties of Polymers", Cambridge Uni. Press, New York, pp. 88-140, 1982.
- [3] 紫山 恭一, "電力技術における高分子", 高分子, 25, 4, pp. 200~203, 1989.
- [4] 新田 義孝, "電氣絶縁材料の化學", 培風館, pp 51~59, 174~179, 1983.
- [5] 家田 正之, "高分子の電氣物性とその應用", 日本電氣學會, pp. 27-52, 1972.
- [6] F. W. Billmeyer, "Textbook of Polymer Science", Inter. Sci. Pub., John Wiley and Son, New York, pp. 141~184, 1980.