

전자선 조사된 저밀도 폴리에틸렌 박막의 체적고유저항 특성
Volume Resistivity Characteristics of Low Density Polyethylene film irradiated with Electron Beam

조 돈찬, 조 경순, 이 수원, 김 왕곤, 홍 진웅
 Don-Chan Cho, Kyung-Soon Cho, Soo-Won Lee, Wang-Kon Kim, Jin-Woong Hong

광운대학교 전기공학과
 Dept. of Electrical Engin., KwangWoon University

* : 철도전문대학 전기제어과
 * : Dept. of Electrical Control, Nat'l Railroad College

** : 서울산업대학교 전기공학과
 ** : Dept. of Electrical Engin., Seoul Nat'l Polytechnic University

Abstract

Low-density polyethylene(LDPE ; thickness 100[μm]) as a experimental specimen is irradiated with electron beam by using electron beam accelerator, and as an experimental specimen, the nonirradiated specimen and the specimen irradiated with electron beam is produced according to the classification of dose.

From the analysis of DSC, the crystalline melting point of the specimen irradiated with electron beam is lower than that of virgin specimen.

It is confirmed that the volume resistivity is increased from the temperature over 50[°C]~60[°C] to the crystalline melting point because of the defects of solid structure and the formation of many trap centers by means of electron beam irradiation, but decreased in the temperature over the crystalline melting point because of the melt of crystalline.

I. 서 론

반 결정질 수지인 Polyethylene은 전기적으로 무극성이고 저온에서도 유연하며 내후성이 우수할 뿐만 아니라 화학적으로도 대단히 안정하기 때문에 배전용 케이블, 특고압 전력 케이블 등의 절연재료로서 이용되며, 특히 저밀도 폴리에틸렌은 높은 저항율을 갖고 있으며 고주파 유전 손실이 작기 때문에 고주파용 성형 절연물, 전선과 케이블에서부터 고주파용 통신 케이블에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있고, 앞으로 초고압와 송전선로용 케이블 절연재료나 초고주파수용 절연재료에 적합한 물질로 개발 될 수 있을 것으로 전망된다.

그러나 절연재료가 현장에서 사용될 경우 파부하나 주위의 영향으로 고체구조의 변화가 발생되므로 인해 제특성을 유지 및 발휘하지 못하여 사용 중 고장의 원인이 되고 있다.

한편, 고분자 개질에 방사선의 일종인 전자선의 이용은 절연물질의 특성 향상에 오히려 악영향을 줄 우려가 있으며, 특히 전력 수요의 급증으로 인해 송압송전을 시행하게 될 경우 초고압으로 인한 전자선 방출이 고려되어야 할 것으로 생각된다. 이렇게 방출된 전자선에 노출된 전기 절연재료들은 방사선 열화가 진전 될 것으로 예상된다.

II. 실험시료 제작 및 실험 방법

(1) 실험시료의 제작

실험시료는 저밀도 폴리에틸렌(시료의 두께 100[μm])을 선

타하였으며 원시료에 전자선 가속기(삼성 중공업)를 이용하여 전자선 조사량에 따라 전자선을 조사하여 비조사 원시료와 전자선 조사된 시료를 제작하였다.

Table 1. The classification of specimen depended on the dose of electron beam

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

전자선 조사량은 다음의 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

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

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

(2) 체적고유저항

체적고유저항의 측정은 미소전류계인 Highmegohm meter를 이용하였으며 온도 조절은 일정한 온도를 유지해 주는 자동 온도 조절장치를 내장한 OVEN을 이용하였다.

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

체적고유저항을 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 그림 1에 나타내었다.

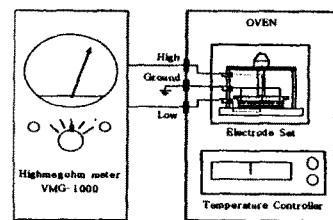


Fig 1. A schematic drawing of experimental device

III. 실험결과 및 고찰

(1) Differential Scanning Calorimetry

차동열량계법(Differential Scanning Calorimetry ; 이하 DCS)을 이용하여 두께 100[μ m] LDPE 원시료 및 전자선 조사량 1[Mrad], 2[Mrad], 4[Mrad], 8[Mrad], 16[Mrad]인 시료의 결정열 크기와 분산을 조사한 결과를 그림 2에 나타내었다.

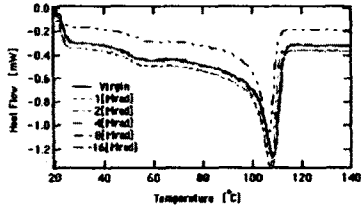


Fig. 2. DSC of specimen

DSC의 흡수 피크는 결정 라멜라(Lamellae)가 온도 상승에 따라 크기가 작은 것부터 용해 되어나타난다. 시료의 결정의 용점은 표 2에서 보는 바와 같이 결정이 용해되기 시작하는 온도와 마찬가지로 미조사 원시료보다는 전자선 조사된 시료가 낮으며, 전자선 조사량의 증가에 따라서는 불안정해다가 전자선 조사량이 4[Mrad]이상 되면 전자선 조사량 증가에 따라 결정 용점은 낮아짐을 확인할 수 있다.

Table 2. Crystalline melting point

Dose [Mrad]	0 (Virgin)	1	2	4	8	16
T_M [°C]	108.11	107.51	107.39	107.79	107.09	106.66

(2) 체적고유저항 특성

100[μ m] LDPE 원시료와 전자선 조사된 시료의 전기전도 특성을 연구하기 위하여 각 시료들의 체적고유저항을 측정하였다.

그림 3은 미조사된 100[μ m] LDPE 원시료의 체적고유저항의 온도 의존성을 도시한 그림으로 인가전압이 높아지면 체적고유저항은 낮아지는 것을 볼 수 있으며, 온도 50[°C]에서 체적고유저항이 다소 낮아지고, 온도 100[°C]이상에서는 체적고유저항이 급격히 저하되는 것을 확인할 수 있다.

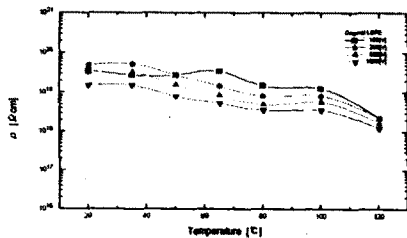


Fig. 3. Temperature dependence of volume resistivity of virgin LDPE

인가전압이 높아짐에 따라서는 전극으로부터의 전자주입등 도전성 캐리어의 증가로 인해 체적고유저항이 저하되는 것으로 생각되며 온도 100[°C]이상에서 체적고유저항이 급격하게 저하되는 것은 실험시료로 이용된 LDPE의 결정용점이

약 100[°C]~110[°C]라는 점을 감안하여 볼 때, 각각 결정의 용해로 인해 체적고유저항이 저하되는 것으로 생각된다.

그림 4, 그림 5는 전자선 조사량이 각각 1[Mrad], 8[Mrad]인 100[μ m] LDPE의 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 그림들이다.

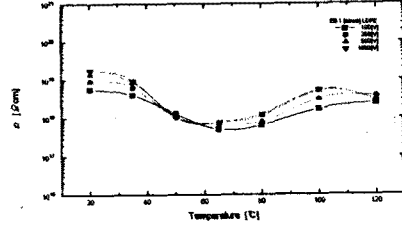


Fig. 4. Temperature dependence of volume resistivity of LDPE irradiated with 1[Mrad] electron beam

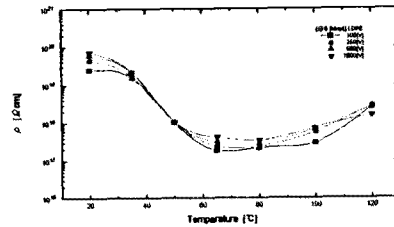


Fig. 5. Temperature dependence of volume resistivity of LDPE irradiated with 8[Mrad] electron beam

전자선 조사량이 1[Mrad]인 100[μ m] LDPE의 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 그림 4를 통해 온도 35[°C]부근에서 급격히 체적고유저항이 저하되어 약 65[°C]까지 감소되다가 이와는 반대로 서서히 증가하여 온도 100[°C]부근에 도달하면 다시 감소되는 것을 확인할 수 있다.

전자선 조사된 LDPE의 경우 조사량에 관계없이 저온영역에서 체적고유저항이 급격히 감소되다가 약 60[°C]~80[°C]부근에서 반대로 서서히 증가하여 전자선 조사량 8[Mrad] 이하인 시료는 온도 100[°C]부근까지, 그리고 전자선 조사량 8[Mrad] 이상인 시료는 약 120[°C]까지 증가하다가 다시 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9는 각각 직류 인가전압 100[V], 250[V], 500[V], 1000[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 그림들이다.

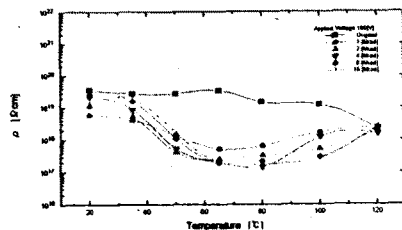


Fig. 6. Temperature dependence at DC 100[V]

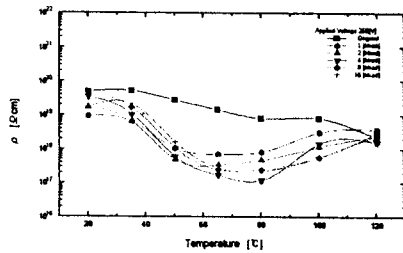


Fig. 7. Temperature dependence at DC 250[V]

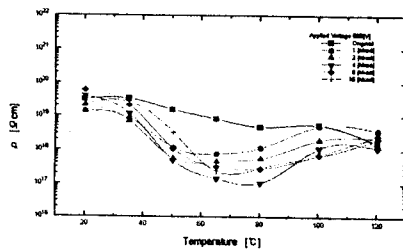


Fig. 8. Temperature dependence at DC 500[V]

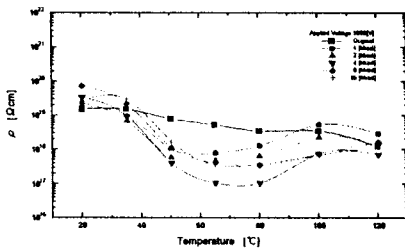


Fig. 9. Temperature dependence at DC 1000[V]

온도 40[°C]이하의 영역에서는 250[V] 이하로 인가전압이 낮으면 전자선 조사된 LDPE의 체적고유저항이 미조사된 원시료에 비해 낮은 체적고유저항을 나타내며 온도가 증가할수록 점차 감소되어 원시료에 비해 온도 의존성이 강하게 나타남을 확인할 수 있다. 전자선과 같은 고에너지 방사선에 조사되면 정이온의 생성 뿐만아니라 화학 구조의 반영구적인 변화를 초래하기 때문에 많은 전하의 트랩 중심이 형성되고 도전성 캐리어들은 트랩에 포획되어 안정하게 존재하나 온도의 증가에 따른 여기에너지의 증가로 도전성에 기여하기 때문에 전자선 조사된 LDPE 시료가 온도 증가에 따라 미조사 원시료와 달리 체적고유저항이 급격하게 저하되는 것으로 생각된다.

그러나 500[V] 이상으로 인가전압이 높아지면 온도 40[°C] 이하의 영역에서는 전자선 조사에 의해 발생된 다수의 트랩 중심의 영향으로 미조사 원시료에 비해 전자선 조사된 LDPE의 체적고유저항이 크게 나타나며 인가전압이 높아져도 온도 의존성은 미조사 원시료에 비해 강하게 나타남을 확인할 수 있다.

온도가 고온 영역으로 갈수록 미조사 원시료의 체적고유저항은 서서히 감소하는 것을 확인할 수 있으나 전자선 조사된 LDPE의 경우는 저온에서와는 반대로 서서히 증가하여 온도 120[°C]부근에서는 거의 원시료와 같은 체적고유저항을 나타냄을 확인할 수 있는데, 이는 전자선 조사에 의해 생성된 많은 트랩 중심으로 인해 도전성 캐리어들이 트랩에 포획되어 장시간 유지 됨으로 인해 체적고유저항이 상승하는 것으로 생각되며 미결정 부분의 용해에 의해 비로소 해방되어 재결합됨을 의미한다. 그러나 이러한 체적고유저항의 상승은 LDPE의 결정용점인 100[°C]~120[°C]부근까지만 지속되고, 이 결정용점을 넘어서면 다시 체적고유저항은 저하된다. 전자선 조사량이 4[Mrad]인 LDPE 시료에 대한 체적고유저항의 온도 의존성을 도시한 그림에서 고온영역을 보면 100[°C]부근에서 피크를 보이고 체적고유저항이 안정되는 것을 볼 수 있는데, 이것은 전자선 조사량이 4[Mrad]인 LDPE 시료의 DSC 분석 결과를 검토해 보면 결정 용점이 107.79[°C]로 전자선 조사된 LDPE 중에서 가장 높은 것으로 보아 전자선 조사의 영향으로 결정용점이 높아져 체적고유저항이 다른 시료들에 비해 온도변화에 안정한 것으로 생각된다.

IV. 결론

LDPE에 대하여 방사선의 일종인 전자선 조사에 따른 물성 및 전기적 특성의 변화를 연구하기 위하여 두께 100[μm]인 LDPE 원시료와 전자선 조사량 1[Mrad], 2[Mrad], 4[Mrad], 8[Mrad] 및 16[Mrad]인 시료에 대해 물성분석 및 체적고유저항 특성 실험을 하였다.

DSC 분석으로 전자선 조사된 시료들만을 고려해 보면, 전자선 조사량 4[Mrad]까지는 시료의 결정 용점이 높아지지만 그 이상이 되면 다시 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 전자선 조사된 시료의 결정 용점은 미조사 원시료에 비해서는 낮음을 확인하였다.

체적고유저항 측정 결과로부터 전자선 조사에 의해 고체구조의 결합과 함께 많은 트랩 중심이 형성되어 온도 50[°C]~60[°C]이상의 온도로부터 결정의 용점까지는 체적고유저항이 증가하는 것을 알 수 있었고, 결정 용점이상의 온도에서는 결정의 용해로 인해 체적고유저항은 저하되며 온도와 관계 의존성이 강하게 나타나는 것으로 생각된다.

References

- [1] K. Yahagi ; Dielectric Properties and Morphology in Polyethylene, IEEE. Trans. on Elect. Insul., EI-15, 3, pp. 241~250 (1980)
- [2] 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)
- [3] 犬石嘉雄 外 3人 ; 誘電體現象論, 電氣學會, pp. 203~242, 1975
- [4] A. Keller, I. Sandeman ; J. Polymer Sci., 15, 133 (1955)
- [5] F. W. Billmeyer ; Textbook of Polymer Science, Inter. Sci. Pub., John Wiley and Son, New York, pp. 141~184 (1980)