고차구조 변화에 따른 저밀도 폴리에틸렌의 공간전하 측정

Space Charge Measurement of Low Density Polyethylene Film due to Morphological Change

고시현 광운대학교 전기공학과
김성필 광운대학교 전기공학과
신종렬 삼육의명대학교 자동차과
이수원 한국철도대학교 전기제어과
홍진웅 광운대학교 전기공학과

Si-Hyeon Go Dpt. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Seong-Pil Kim Dpt. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Jong-Yeol Shin Dpt. of Automotive, Sahmyook College
Su-Won Lee Dpt. of Electrical 제어. Korea National Railroad College.
Jin-Woong Hong Dpt. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.

Abstract

As LDPE, widely used as a insulating material of power cable, has defects of treeing and space charge accumulation, various methods to improve them have been suggested. It is difficult to understand the mechanism of electrical conduction according to the complexity of molecular structure and the changes of super-structure due to various environmental parameters. Therfore in this paper, four kinds of heat-treated LDPEs(origin, slow cooled, water cooled, quenched in LN_2) were used as specimens to help us understand the mechanisms and space charge distributions were investigated at 60[min] just after applying the field of 1[MV/cm] and 10[min] just after short-circuiting, using LIPP method.

Key Wards(중요용어) : 저밀도폴리에틸렌, 공간전하, 고차구조, LIPP

1. 서론

절연재료중 폴리에틸렌(Polyethylene)은 우수한 전기적 기계적 특성으로 인하여 전력 케이블의 절연재료로 광범위하게 사용되고, 분자구조가 대칭인 무극성 고분자로 유전손이 적고 고주파 특성이 우수하다.

고분자 절연재료를 평가하는데 있어서 내부의 불순물, 제조시 첨가제등과 긴 가압시간을 비롯하여 다양한 환경적 변수로 인한 고차구조의 변화로 초기특성을 장시간 유지하는 것은 매우 어렵다. 또한 이를 개선하기 위한 과정으로 전기전도 기구 해석또한 캐리어의 종류 및 그 생성원인, 밀도, 이동도 그리고 그 이송과정이 조건에 따라 달라지므로 아직 규명해야할 것이 많다. 전기 절연성에 대한 연구중 Nawata씨 등은 공간전하가 트리의 길이를 결정한다고 보고하고 있으며, 산화된 폴리에틸렌에서는 음극에서 현저한 전자주입 및 양극에서 약간의 정공이 주입으로 전류가 증가하고, 이들 정공 주입과 정공에 의한 전극면 전계의 왜형에 의해 전도기구가 지배되므로 시료의 고체 구조 변화가 인가 전계와 측정온도에 따라 전기적 특성에 미치는 영향을 연구하는 것은 매우 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 LDPE 시료의 고차구조 변화에 따른 공간전하 특성에 대해 연구하였다.

2. 시료 및 실험방법

1. 시료

실험에 사용된 시료는 전기적 특성과 유전적 특성 및 가공성이 우수한 LDPE로 밀도 0.92[g/cm^3]이고 첨가제를 일체 포함하지 않는 30[μm]박막을 사용하였다. 그리고 시료의 제작 공정은 열처리된 시료를 공기 중에서 서서히 냉각한 서냉 시료(이하 SC), 상온의 물에 넣고 냉각한 수냉 시료(이하 WC) 및 액체질소 속에 열처리된 시료를 넣어 제작한 급냉 시료(이하 LN_2)를 각각 제작하였다.

2. 실험방법

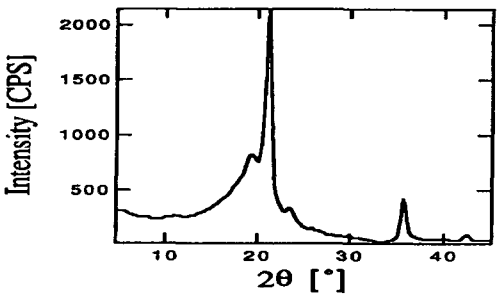
결정구조 변화에 따른 공간전하 특성을 조사하기 위하여 시료의 두께 30[㎛]에 인가 전계는 1[MV/cm]이다. 시료의 결정성 평가를 위해 XRD분석을 하였고, 공간전하 측정은 LIPP(Laser Induced Pressure Pulse)법을 이용하였다.

공간전하의 측정은 실온에서 행하였으며, 시료의 인가 전계는 거의 램프 모양으로 천천히 일어나기 때문에 반드시 일정한 전계가 인가될 때까지는 다소의 시간이 걸리고, 그와 다른 순서도 포함하면 전계를 인가하여 측정할 단계에 이를 때까지는 약 1분정도 시간이 경과된다. 본 연구에서는 측정 가능한 단계를 전계인가 직후 60분과 단락 10분후 LIPP의 출력신호를 이용하여 측정하였다.

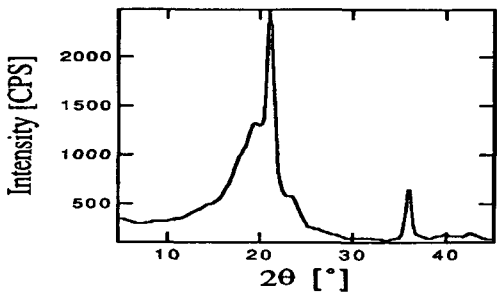
3. 실험 결과 및 검토

1. XRD 분석

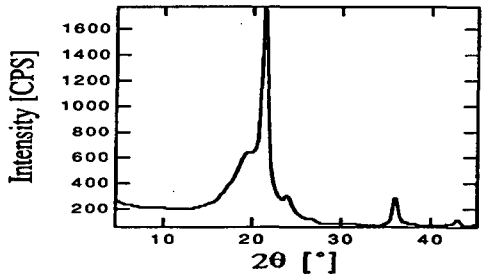
시료의 물성을 확인하기 위하여 XRD법을 이용하였고, 그림 1은 각시료의 XRD분석을 나타낸 것이다.



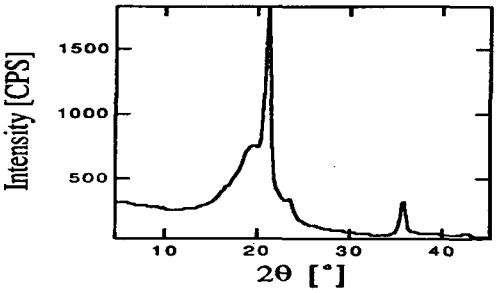
(a) 원시료



(b) 서냉(SC)



(c) 수냉(WC)



(d) 급냉

그림 1. 시료의 X선 회절

LDPE의 특징은 2θ=19.5 [°]에서 비정질의 기여로 나타난 피크와 2θ=21.4[°] 에서 결정(110)의 기여와 2θ=23.6[°]에서 결정(200)의 기여로 피크가 중복되어 나타난다. 그리고 XRD 그림에서 피크들의 적분 강도를 이용하여 식(1)에 대입하면 결정화도 C[%]를 구할 수 있다.

$$C[\%] = K\,[(I_{110} + I_{200}) / (I_A + I_{110} + I_{200})] \quad (1)$$

단, I_A : 비정질 부분의 적분 강도, I_{110}, I_{200} : 결정 부분의 적분 강도, K : 상수

따라서, 식(1)을 이용하여 계산한 결과 서냉 시료 70[%], 수냉 시료 62[%], 원시료 56[%] 그리고 급냉 시료 35[%] 됨을 확인하였다.

2. 공간전하 측정

DC, Impulse 파괴와 여러 연구자들이 LDPE에서 Space Charge가 시료 내부에서 형성되는 것을 보고하고 있으므로, 결정구조 변화에 따른 공간전하 특성을 조사하기 위하여 시료의 두께 30[㎛]에 인가 전계는 1[MV/cm]이다. Laser 인가는 양극 인가법으로 30[℃]에서 60분 인가하면서 인가 60분 후 인가된 상태에서 LIPP 방법으로 형성되는 공간전하 특성을 조사하고, 그리고 인가전압을 제거하고 단락 10분 후의 잔류 공간 전하

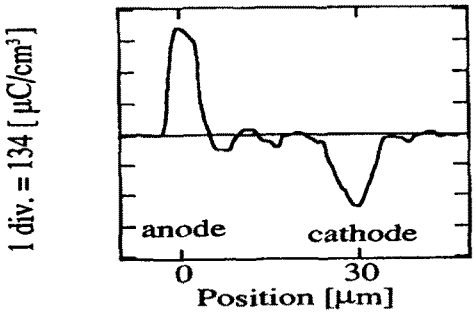
특성을 조사하였다.

그림 2의 (a), (b)는 1[MV/cm] 전계를 원시료에 인가후 60분, 단락후 10분일 때 얻은 LIPP의 출력신호이다.

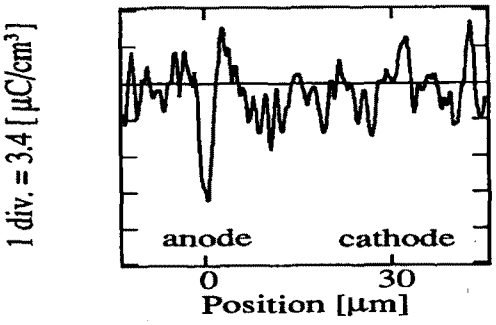
양극 부근에는 유기된 정(正)의 전하량 피크가 나타난 후 벌크내에서 정, 부로 진동하는 피크가 나타나고, 30[㎛] 두께에 있는 음극 부근에 유기된 부전하량 피크가 나타난다. 양전극 부근에서 나타나는 전하량은 인가시간이 길어짐에 따라 커지는 것을 확인 하였다.

벌크내 6[㎛]에서 24[㎛]까지의 LIPP 출력신호 시간이 지남에 따라 정, 부극성이 반전되면서 정극성의 전하량 크기가 부극성의 전하량으로 반전되는데, 이것은 공간전하가 이러한 경로를 통해 복잡하게 형성되기 때문으로 사료된다. 전압 인가 직후와 5분후의 LIPP 출력 신호를 비교하면 부의 전하량으로 된 것을 알 수 있는데, 이것은 시간이 길어짐에 따라 전자의 주입이 용이해지기 때문으로 사료된다.

단락 10분 후의 LIPP 출력신호 파형에 대해서 극미량의 공간전하가 있으나 구분이 힘들지만, 양극으로부터 벌크내 5.6[㎛] 깊이에 약간의 헤테로성의 공간전하가 약간 나타나는데, 이것의 기원은 벌크내의 해리와 전극으로부터 전자주입 등이 고려된다.



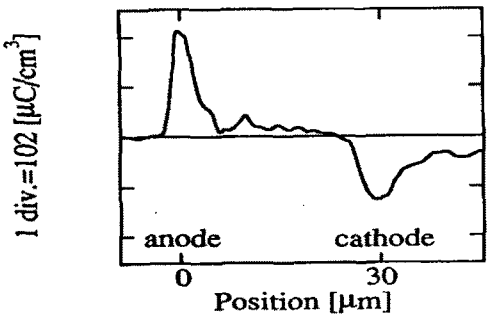
(a) 인가 60[min]



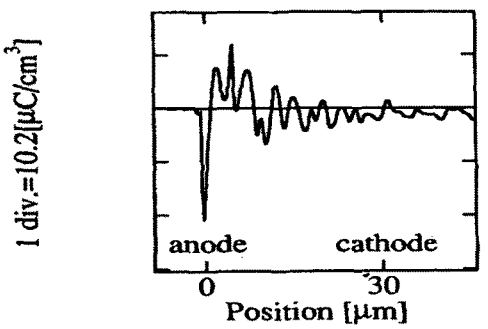
(b) Short 10 [min]

그림 2. 원시료의 LIPP 출력

그림 3의 (a), (b)는 서냉 시료에 대한 공간전하 분포이다. 결과에서 시료 내부에서는 정의 전하가 호모성 공간전하가 양극에서 성장하기 시작하여 60분이 되었을 때 시료 내부에 호모성 공간전하가 형성되는 것을 알 수 있다. (b)는 시료의 양단을 단락하고 10분 후의 LIPP 출력신호로 +극에서 주입된 극미량의 공간전하가 관측되었음을 확인할 수 있다.



(a) 인가 60 [min]



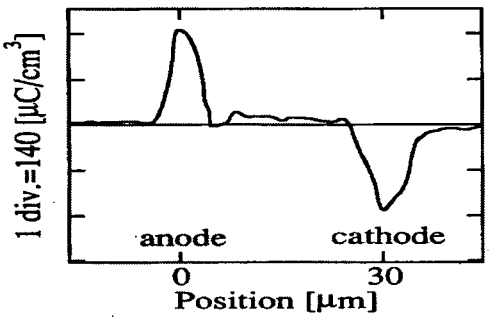
(b) Short 10 [min]

그림 3. 서냉 시료의 LIPP 출력

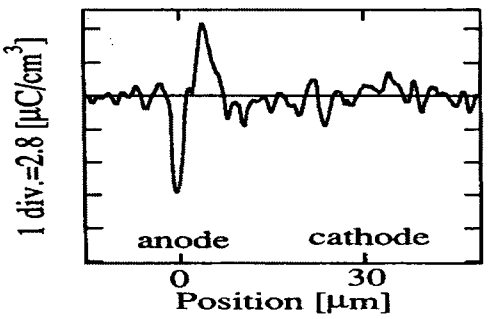
그림 4는 수냉 시료의 공간전하 특성을 조사한 것이다. 양극과 음극에서 유기된 정,부 전하는 시간에 지남에 딸 증가하고 또한 시료 내부의 전하량은 지금까지와 달리 호모성의 공간전하가 벌크 내에서 존재함을 알 수 있다.

전압을 제거하고 단락했을 때는 LIPP 출력신호에는 정의 공간전하가 양극에서 5[㎛] 정도의 깊이에 형성되어 있음을 확인 할 수 있는데, 이것은 정극성에서 주입된 정공과 시료내부의 전자들이 정극성과 인력으로 재결합되므로 벌크내 에 정의 공간전하가 존재한다. 따라서 전계가 높아 지면 전자 주입이 현저하게 되는 것 외에 양극에서 전하 교환도 촉진되는 것을 알 수 있다.

그림 5는 급냉시료의 LIPP 출력 신호이다. 인가전압 시간이 경과함에 따라 유기된 정, 부 극성의 공간전하의 크기는 비례하면서 커지고, 시료 벌크의 전하는 양전하에서 정, 부극성으로 반전됨을 알 수 있다. 단락했을 경우에는 정극성에서 주입된 공간전하가 극미량 존재함을 확인할 수 있다.

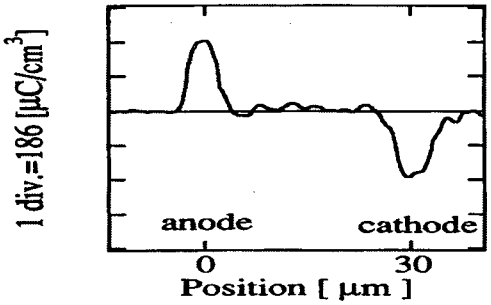


(a) 인가 60 [min]

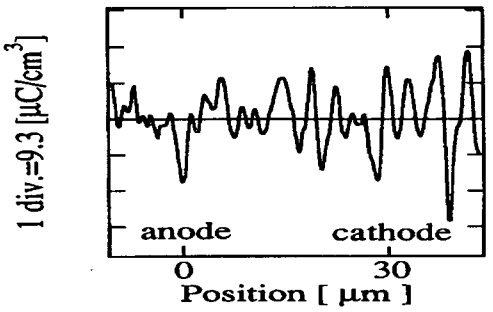


(b) Short 10 [min]

그림 4. 수냉 시료의 LIPP 출력



(a) 인가 60 [min]



(b) Short 10 [min]

그림 5. 급냉 시료의 LIPP 출력

이상의 정량분석으로부터 수냉 시료에서는 벌크내 공간전하가 존재함을 확인하였고, 나머지 시료에서는 극미량 존재함을 확인하였다.

그러나 측정온도가 상승되거나 또는 인가전계가 높아지면 벌크내 공간전하는 존재함을 알 수 있으나, 실제 케이블에서는 제작시 발생되는 돌기부분들이 존재하고 여기에 전계가 집중되므로 전자나 정공의 주입이 용이해지므로 공간전하가 형성되고, 따라서 이 공간전하가 전계의 왜형을 유기시켜 절연특성에 나쁜 영향을 미친다.

4. 결론

LIPP 방법을 이용해서 시료내의 공간전하를 직접적이고 정량적으로 측정하여 공간전하의 분포와 결정구조변화의 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 전극면에서 유기된 전하량은 전압인가

시간에 비례하여 전하량이 커짐을 확인하였다.

2) 시료내의 공간전하 분포는 인가시간에 비례하여 양극으로부터 주입된 전하량도 증가됨을 알 수 있다.

3) 수냉 시료는 시료 벌크내 양극으로부터 5[㎛] 깊이에 호모성 공간전하가 존재함을 확인하였다.

4) 원시료, 서냉, 급냉 시료는 정극성에서 주입된 전하와 해리에 의해서 벌크내 극미량 공간전하로 존재함을 확인하였다.

참고문헌

[1] M. Araoka, et al, "Dielectri Breakdown of New type polemerized polyethylene using a single- site Catalyst", IEEE Trans. on DEI., Vol. 6, No. 3, June, 1999.

[2] Daisuke Muto, et al, "space charge charac- teristics of modified HDPE for DC cable", Proc. of 1998 ISEIM., 1998.

[2] Chen C. Ku, et al, "Electrical properties of polymer : chemical principles",

[4] L. A. Dissado and J. C. Fothergill, "Electrical degradation and breakdown in polymers", Peter Peregrinus Ltd, pp. 452, 1980.

[5] Toshikatsu Tanaka, et al, "Characteristics of space charge formed in a laminated LDPE/EVA dielectric under DC stress", Conf. of 1996 ISEI, Canada, June., pp. 16-19, 1996.