

온도에 따른 유전체내에서의 공간전하 분포와 전도전류 특성

김 진균, 황보 승, 한 민구
서울대학교 공과대학 전기공학과

Characterization of Space Charge Distribution and Conduction Current in Dielectric material With Temperature

Jin-Kyun Kim, Seung Hwang-Bo and Min-Koo Han
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

The pulsed electro-acoustic method was used as a nondestructive measurement technique of space charge distribution in dielectric materials. In our work presented here, we measured simultaneously the space charge distribution and conduction current in the low-density polyethylene samples with elevated temperatures up to 80°C and electric field up to 20kV/mm.

In the temperature less than 50°C, homocharges are mainly accumulated close to the electrodes under DC bias and after grounding. At the temperature exceeds 50°C, heterocharges are accumulated near the opposite electrode under DC bias. However after grounding the upper electrode, this charges immediately disappeared.

The conduction current in LDPE at 20°C and 30°C was reduced slowly with increasing interval of applied voltage. But as temperature increased, the conduction current tended to increase slowly with the time and the degree of increase is enlarged

1. 서론

유전체에 전계가 인가되면, 전극에서 유전체내부로 전하가 주입되며, 전계방향에 따른 dipole의 정렬과 이온의 이동도 일어나게 된다. dipole의 정렬과 이온의 이동은 계면전계의 증가와 내부전계의 감소를 가져오며, 전하주입은 계면전계의 감소와 내부전계의 증가를 일으킨다. 이에 따라 전계왜곡이 일어날 수 있으며 어떤 특정한 지점에서는 인가전계보다 더 큰 전계가 발생할 수 있고, 절연파괴 전압의 감소를 일으킬 수 있다. 온도의 변화는 계면에서의 전하주입에 큰 영향을 미치며 그에 따라 공간전하 분포와 전도전류특성의 변화를 가져온다.

정전용력법(PEA Method)은 재현성이 뛰어난 비파괴적 공간전하분포 측정용 가능하게 하여, 유전체에서의 전기전도기구 분석에 있어서 훌륭한 도구로서 기능하고 있지만, 아직까지는 주로 상온에서의 공간전하 측정에 주력하고 있으며, 전도전류의 동시 측정을 한 예는 아직

보고된 바 없다.

본 연구에서는 정전용력법을 이용하여 온도 상승에 따른 공간전하분포의 측정과 함께, 전극형태의 변형을 통하여 전도전류를 동시에 측정하여, 공간전하분포와 전도전류의 온도에 따른 특성을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

널리 사용되어지고 있는 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)을 시료로 사용하여 유전체의 특성변화를 관찰하였다. 시료는 공간전하와 전도전류를 동시에 측정하기 위하여 시료는 두께가 1mm이고 직경이 85mm인 LDPE에 반도전 폴리에틸렌(SCPE)전극을 부착하여 제작하였다. 하부전극에는 직경이 30mm인 SCPE전극을 사용하였고, 상부전극은 직경이 45mm인 SCPE전극을 사용하였다.

시료에 15kV의 DC를 30분간 인가한 후, 20°C에서부터 80°C까지 10°C간격으로 측정을 실시하였다. 시료의 온도를 안정시키기 위하여, 항온습기실에서 온도가 충분히 안정된 후 30분이 경과된 때부터 전압을 인가하였다.

공간전하분포의 측정은 온도별로 DC인가중과 상부전극을 접지시킨 후에 각각 측정하였다. 측정시 사용한 electric pulse는 peak전압이 -1.5kV, 펄스폭이 30ns이고, 두께가 52µm인 PVDF를 압전소자로 사용하여 압력파를 전기적 신호로 바꾸었으며, 압력파의 반사에 의한 영향을 줄이기 위하여 에폭시를 absorber로 사용하였다.

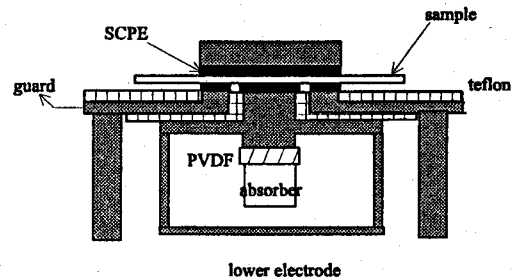


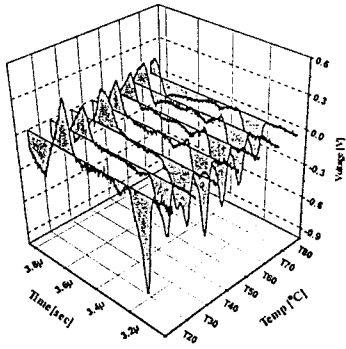
그림.1 공간전하분포 및 전도전류 측정용 전극형태

공간전하의 측정과 동시에 전도전류를 측정하기 위하여 종래의 PEA실험에서 사용한 전극의 형태를 개선하였다. 그림1에 보였듯이 하부전극에 가드를 설치하여 edge효과를 줄였고, 연면으로의 방전을 막기 위하여 테프론으로 절연을 시켰다. 또한, 감도를 높이기 위하여 압전소자에서의 출력신호를 광대역 앰플리파이어(NF BX-31과 HP 8447F)로 증폭하였고 노이즈의 영향을 줄이기 위해 디지털 오실로스코프로 200회 평균을 내어 측정한 후 PC에서 신호처리를 실시하였다.

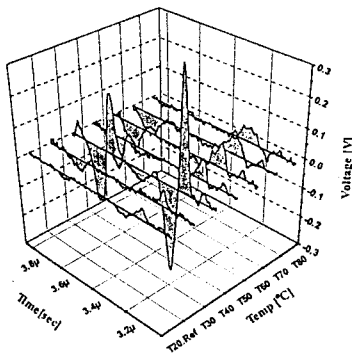
3. 실험결과 및 분석

3-1. 공간전하분포의 온도 의존성

두께 1mm의 LDPE 시편내의 공간전하분포를 온도를 20°C에서 80°C까지 10°C간격으로 상승시키며 측정하여 그 결과를 그림.2와 그림.3에 도시하였다.



(a)

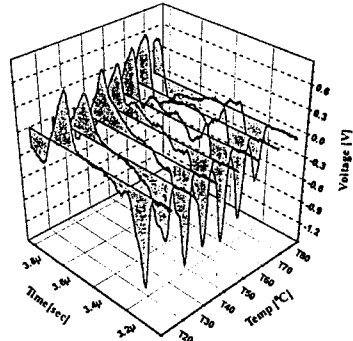


(b)

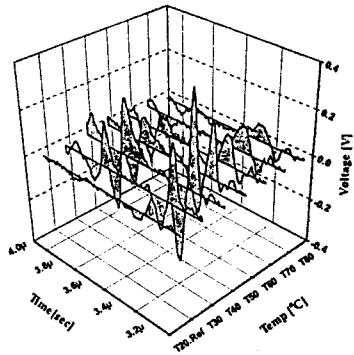
그림.2 LDPE내에서의 온도에 따른 공간전하분포
a) 10kV/mm를 30분간 인가한 후 b) 10분간 접지후

그림.2는 DC 10kV를 인가한 경우이고, 그림.3은 DC

20kV를 인가한 경우이다. 각 그림에서 (a)는 전압을 30분간 인가한 상태에서 측정한 결과이고 (b)는 상부전극을 10분간 접지시킨 후 측정한 결과이다. 그림.2(a)와 그림.3(a)에서 보이듯이, 50°C 이하인 경우에는 전극 부근에 homocharge가 축적되었고, 전계를 20kV 인가한 경우에는 그 양이 눈에 띄게 증가하였다. 50°C보다 높은 온도, 특히 80°C에서는 주로 음극에서 주입된 전자인 것으로 보이는 heterocharge가 관찰되었다. 그러나, 70°C 이상의 온도에서는, 그림.2(b)와 그림.3(b)에서 보이듯이 접지시킨 후 측정하면, 양극과 음극부근의 heterocharge는 거의 관찰되지 않는다.



(a)



(b)

그림.3 LDPE내에서의 온도에 따른 공간전하분포
a) 20kV/mm를 30분간 인가한 후 b) 10분간 접지한 후

이와 같은 결과는 주입되는 전하량과 시료내에서의 drift velocity 등이 온도에 따라 변하기 때문인 것으로 생각된다. 일정 온도 이하에서는 시료내에서의 drift, hopping, 또는 확산되는 전하량보다는 전극에서 주입되는 전하의 양이 더 많기 때문에 homocharge가 축적된다고 볼 수 있다. 이에 반하여, 일정온도 이상이 되면 전

하의 주입과 drift velocity가 증가하기 때문에 주입된 전하의 대부분이 반대편 전극까지 도달하지만, 시료와 전극 계면에서의 전위장벽 때문에 그 중 일부가 반대편 전극부근에 축적되기 때문에, DC하에서 전극부근에 heterocharge가 형성된다고 사료된다.

전압의 인가를 중단하고 상부전극을 접지시키면, 그림.2(b)와 그림.3(b)에서 보이듯이 DC하에서 형성된 heterocharge는 사라지는데, 이는 온도의 상승에 따른 열에너지 때문이라 생각된다. 이러한 현상은 온도상승에 따른 전도전류의 급증으로도 설명이 가능하다.

3-2. 공간전하분포와 전도전류의 상관관계

공간전하와 전도전류의 상관관계를 아는 것은 유전체 내에서의 전도기구의 이해에 큰 도움을 줄 수 있다. 공간전하의 측정과 함께 전도전류를 동시에 측정하여 그 실험결과를 그림.4에 도시하였고, 표.1에는 그림.4에서 500초부터 1800초까지의 전도전류의 일차 근사를 통하여 구한 전도전류밀도의 변화율을 나타내었다. 20℃와 30℃에서는 전도전류가 전압인가시간에 따라 서서히 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 흡수전류때문이라 생각된다. 그러나, 온도의 상승에 따라 서서히 증가하기 시작했고, 그 변화율도 커졌다. 이런 현상은 homocharge의 확산과 heterocharge의 주입의 증가로 설명될 수 있다. 즉, 50℃이하의 낮은 온도에서는 시간이 지남에 따라 전극부근에 homocharge가 더 많이 축적되므로 전하의 확산이 그에 비례해 더 증가하게 되고, 높은 온도에서는 전극부근에 축적된 heterocharge에 의해 계면에서의 전계가 높아지므로, 전극에서의 전하의 주입이 증가하게 된다. 따라서, 일정온도 이하에서의 전도전류의 증가는 주로 homocharge의 영향에 기인하는 것이고, 일정온도 이상에서는 주로 heterocharge에 의해 전도전류의 증가가 일어난다고 결론지을 수 있다. 이러한 온도는 인가전계의 함수이고, 본 실험의 경우에는 약 50℃정도이다.

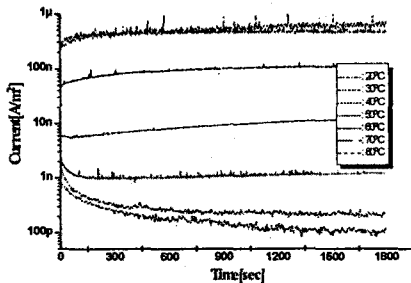


그림.4 온도에 따른 전도전류

표.1 온도에 따른 전류밀도의 변화율

온도[℃]	20	30	40	50	60	70	80
전류밀도의 기울기 [10 ⁻¹⁶ A/m ² · sec]	-7.0	-3.7	17.1	398.7	1553.8	1284.5	12503.0

4. 결론

PEA 방법을 개선하여, LDPE에서의 공간전하분포와 전도전류를 80℃까지 온도를 올리며 동시에 측정하였다. 그 결과 공간전하분포와 전기전도도곡선에 있어서 시료의 온도가 중요한 변수로 작용함을 볼 수 있었다.

50℃이하의 온도에서는, DC인가중인 경우, 전극으로부터 주입되는 전하의 양이 bulk를 통해 drift되는 전하의 양보다 크므로 전극부근에 주로 homocharge가 축적되며, 이는 상부전극을 접지시켰을 경우에도 같은 현상을 볼 수 있다. 온도가 50℃이상으로 상승하면, DC인가중인 경우에는 주입되는 전하의 양에 비해 drift되는 양이 더 커지게 되어, 반대편 전극부근에 heterocharge가 형성되게 된다. 그러나, 접지시킨 경우에는 온도상승에 따른 열에너지의 증가로 인해 이 전하들이 사라지게 된다.

전도전류의 경우, 30℃보다 높은 온도가 되면, 인가시간이 흐름에 따라 서서히 증가하는 현상이 관찰되었다. 이 현상은 homocharge의 확산 또는 heterocharge 주입의 증가로 설명될 수 있다.

5. 참고문헌

- 1) Ying Li, M. Yasuda and Takada, "Influence on Spatial Charge Distribution of Cross-Linking Agent Residues in XLPE", Proceedings of ICPADM, 1210-1213, 1991.
- 2) J.B. Bernstein, "Improvements to the Electrically Stimulated Acoustic Wave Method for Analyzing Bulk Space Charge", IEEE Trans. Electr. Insul., vol27 No.1, 152-160, 1992.
- 3) T. Mizutani, "Space Charge Measurement Techniques and Space Charge in Polyethylene", IEEE Trans. Dielect. and Insul., Vol.1 No.5, 923-933, 1994.