

극성반전에 따른 공간전하 분포와 전도전류의 변화

곽민우, 황보승, 천유준, 신현준
호남대학교

Study on the effects of space charge and conduction current by reversal of polarity

Min-Woo Gwak, Seung Hwangbo, You-Jun Chun, Hyun-June Shin
Honam University

Abstract - 본 논문에서는 고분자 절연체가 인가된 전압의 시간에 따라 변화하는 공간전하와 전도 전류의 영향에 대하여 조사를 하였다. 또한 극성반전에 따른 공간전하의 분포와 전도 전류에 변화에 대한 연구를 실시하였다. 기존의 공간전하 분포 측정법들은 주로 고분자 절연체로 내에서 공간전하분포를 측정만을 목표로 한 반면에 공간전하 측정법 중의 하나인 PEA(Pulsed Electro-Acoustic method)을 개선시켜 공간전하와 전도전류의 동시 측정을 가능하게 하였다. 개선된 PEA법은 시간변화에 따른 공간전하와 전기전도의 직접적인 상관관계와 미리 형성되어 있는 공간전하가 전기전도 및 절연특성에 미치는 영향을 직접적으로 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 공간전하와 전류의 동시 측정법을 이용하여 연구하였다.

1. 서 론

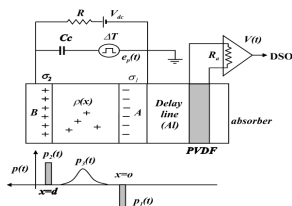
최근 전력케이블, 콘덴서, 전력용 기기 등에서 고분자 절연재료의 고전계 사용이 증가함에 따라, 절연체 내에서의 공간전하가 전기전도, 부분방전 및 절연 특성에 미치는 영향이 한층 중요하여 졌으며, 동시에 전하 밀도분포 측정법에 대한 관심이 증가 하였다.[1]

이러한 절연체 내부의 공간전하량을 측정하기 위하여 종래에는 LIPP(Laser Induced Pressure Pulse)를 사용하거나 전자빔과 화학적 용매(chemical solvent)를 이용하여 공간전하의 detrapping을 측정하거나 절연체를 박편으로 절단하여 각각의 전하량을 측정하는 방법들을 사용하였다. 그러나 이러한 방법들은 절연체 내부의 개략적인 공간전하분포를 한번밖에 측정할 수 없는 파괴적인 방법으로서 재현성과 감도 및 분해능 등 여러 가지 면에서 단점을 지니고 있다. 따라서, 최근 절연체 내부의 공간전하분포를 비파괴적으로 측정하고자 하는 방법에 대한 연구와 이를 바탕으로 공간전하가 전기적 특성에 미치는 영향에 대한 수많은 연구가 진행되어지고 있다.

본 연구에서는 최근 국·내외적으로 활발하게 연구되고 있는 고체 고분자 재료 내 공간전하 측정법과 관련하여, 공간전하의 비파괴 측정법 중의 하나인 펄스정전용력법(PEA: Pulsed Electro-Acoustic method) 실험장치의 제작 및 개선을 실시하고, 이러한 실험 장치를 이용하여 직류(DC) 전압 하에서의 고분자 절연체로에 따른 공간전하분포와 전도 전류의 특성의 변화와 극성반전시의 공간전하의 분포와 전도전류의 변화에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

PEA 법은 1985년 일본의 Takada와 미국의 Cooke에 의하여 처음 제안된 비파괴 측정법이며, 재현성이 뛰어나고 시스템의 구성이 비교적 간단하다는 장점을 가지고 있다. 기존의 PEA법은 다른 음향적인 측정법이 주로 압력파를 시료 내부로 전파시켜 전극에 유기되는 전류 또는 전압신호를 검출하는 것에 의해 공간전하분포를 측정하는 것에 비해 개선을 실시한 PEA 법은 고전압 단(short) 펄스를 직접 유전체에 인가하여 유전체 내부에서 발생한 압력파(또는 탄성파: Acoustic wave)를 음향적으로 검출한다는 점에서 차이가 있다.

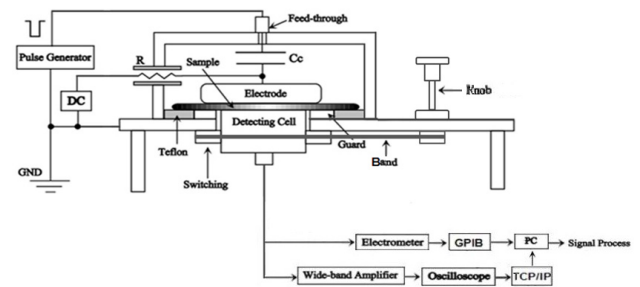


〈그림 1〉 PEA법에 의한 공간전하분포 측정원리

위의 그림 1에 나타나 있듯이 수 nanoseconds(ns)의 전압펄스를 시료에 인가하여 유전체 내부에 공간전하가 받는 변형(Lorentz 힘)에 의해 발생 및 전파하는 압력파를 검출부의 압전소자에 의해 음향적으로 검출하여 공간전하분포를 구하는 방법이다.

본 연구에서는 PEA 법의 이론을 바탕으로 고체 고분자 절연체로 내에서의 공간전하분포를 측정하기 위하여 직접 공간전하 측정시스템을 개선하였다. 그림 2는 직류전압 하에서의 공간전하분포와 전류의 동시 측정시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

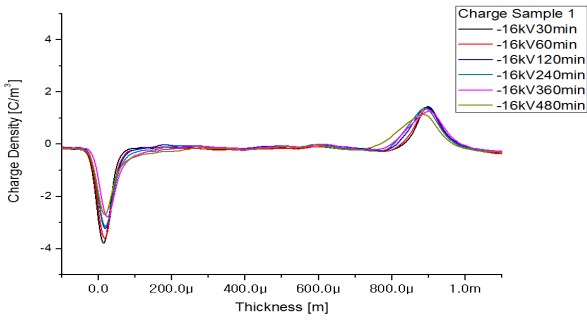
일본의 Takada 등에 의해 제작된 기존의 PEA 법에 의한 측정시스템이 절연체 내부의 공간전하분포 측정만을 목적으로 한 반면에, 본 연구에서는 공간전하 뿐만 아니라 충·방전시에 흐르는 전류를 동시에 측정할 수 있도록 측정시스템을 개선하였다. 즉, 하부전극에 가드(guard) 전극과 대면적 스위치를 설치하여 공간전하분포와 전도전류를 동시에 측정할 수 있도록 하였으며, 또한 가드(guard) 전극의 스위치를 편리하게 조작할 수 있도록 knob를 장착하였다. 시간에 따른 공간전하분포와 전도전류의 동시 측정시스템은 본 연구에 핵심적인 요소이며, 절연체의 전기전도에 미치는 공간전하 효과를 직접적으로 연구하는데 있어 매우 중요한 연구수단으로 생각된다.



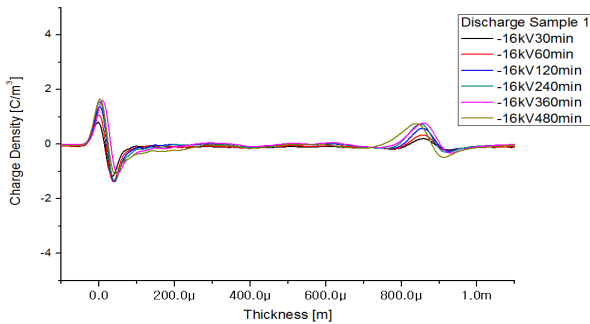
〈그림 2〉 직류전압 하에서의 측정시스템의 개략도

본 연구에 사용된 측정셀의 하부전극의 직경은 3cm, guard전극과 하부전극의 간격은 1mm 그리고, 본 연구에서는 공간전하에 변위를 주기 위한 입력펄스로서 자체 제작한 펄스발생기를 사용하여 크기가 -4kV 이고 폭이 약 5 ~ 20ns 인 전압펄스를 사용하였으며, BNC 케이블(특성임피던스가 50Ω)을 사용하여 펄스를 인가하였다. 또한, 입력펄스에 의해 절연체 내부와 전극에서 발생한 압력파는 각각 AI인 Delay-line을 통과하여 하부전극의 하단에 설치된 검출셀(압전소자와 absorber로 구성)에서 전압신호로 검출하였으며, 검출된 출력전압신호는 광대역 증폭기인 AU-1332(band width: 1KHz~500MHz, Gain 51db, Ra: 50Ω)로 증폭하여 Digital oscilloscope(TDS3054B)로 측정을 실시하였다.

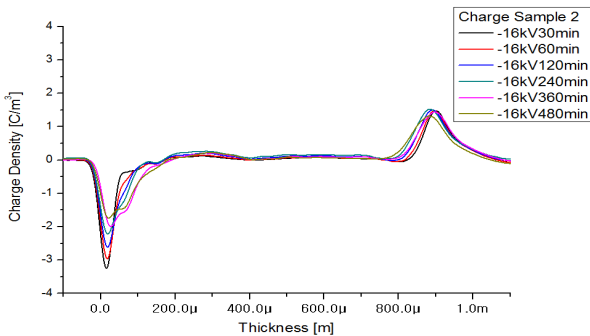
본 연구에서는 고분자 재료의 신뢰성과 관련하여 주로 초고압 전력케이블의 주 절연체로 사용되고 있는 XLPE 시편상 시료(두께 약 800μm)를 사용하여 상온에서 전압(16kV)에서 충전하고 -4kV(10분)을 시작으로 하여 상온에서 시간에 따른(30, 60, 120, 240, 360, 480)분 (-)DC 전압(16kV)로 극성반전을 시킨후 시간변화에 따른 공간전하의 형성정도와 전도전류의 변화에 대한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 시편은 국내에서 제조된 것으로 일반 초고압 전력용 XLPE 1, 2를 다르게 compound 함으로써, 각각에 대한 실험을 실시하였다.



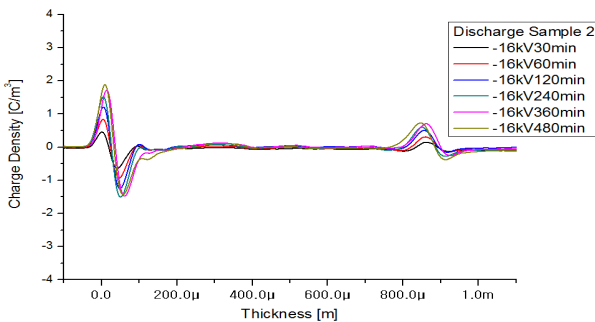
〈그림 3〉 시간에 따른 XLPE 1 내의 충전후 공간전하분포



〈그림 4〉 시간에 따른 XLPE 1 내의 방전후 공간전하분포



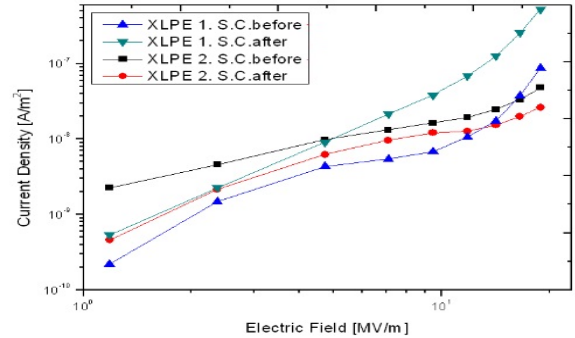
〈그림 5〉 시간에 따른 XLPE 2 내의 충전후 공간전하분포



〈그림 6〉 시간에 따른 XLPE 2 내의 방전후 공간전하분포

그림 3~6는 상온에서 (+)DC16kV 시간에 따른 (30,60,120,240,360,480)분 (-)DC 전압(16kV)을 충·방전 후 측정된 XLPE 1, 2 내의 공간전하 분포이며, 두 신호 모두 펄스입력단에서 임피던스 부정합, 콘덴서의 주파수특성, BNC 케이블의 감쇄 및 분산 압전소자에 의한 Ringing 현상 등에 의해 신호왜곡이 발생한다. 그래서 순수한 공간전하에 의한 신호만 구하는 것은 매우 어려우며, 수학적 보정처리에 의해서 측정신호에 불필요한 신호를 필터링하여 주파수의 전달함수를 구해서 측정신호 왜곡을 LabVIEW S/W로 Deconvolution 과정으로 보정한 것이다. 시료 내에서의 hopping 준위는 정공(hole)과 정공이 거의 같은 것으로 생각된다. 이

러한 전하는 동정(homo) 전하로서 전극-시료 계면 전계를 낮추어 carrier의 주입을 억제하게 된다. 이러한 공간전하는 주로 주입 Carrier가 결정성 영역과 비결정 영역의 계면에 존재하는 traps에 의해 포획됨으로서 발생하고, PE의 short chain 수가 증가할수록 trap의 밀도는 증가하는 것으로 알려져 있다. 음극의 공간전하가 음(cathode) 부근에 형성되었으며, 전극 반전시에도 전계 증가에 따라 시료내부로 공간전하가 주입되어 남아 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 극성반전시의 공간전하 형성은 단극의 전압인가 시와 균일한 분포를 나타내었으며 이러한 실험 결과를 통하여 공간전하가 극성반전시에도 생성되는 것과 관련하여 매우 중요한 현상으로서 향후 보다 체계적인 연구를 수행할 가치가 있는 것으로 생각된다.



〈그림 5〉 전압에 따른 전류밀도

그림 5는 공간전하 형성 전후의 각각 (-)DC전압(1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16kV)을 18분 동안 인가하면서 측정된 전도전류의 시간의존을 나타낸 것으로서, 시료의 종류와 두께에 따른 전도전류의 특성이 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 이중전하에 의한 계면 전계의 증가에 의해 전극으로부터 carrier 주입이 시간에 따라 서서히 증가하는 것을 알 수 있다. 전도전류의 전계 의존성을 나타낸 것으로 XLPE 1에서는 XLPE 2에 비해 증가하며, 공간전하는 전도특성에도 큰 영향이 미치는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 특성은 고분자 절연재료의 특성, 특히 장기적인 절연 신뢰성에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다. 그리고 극성반전 실험에 대해서는 결과를 보았을 때 단극성 공간전하분포와 크게 다르지 않았다.

3. 결 론

본 연구에서는 국·내외적으로 활발하게 연구가 진행되고 있는 고분자 절연재료내의 공간전하 측정법과 관련하여, 공간전하의 비파괴 측정법중의 하나인 펄스정전용력법(PEA)을 개선하여 공간전하와 전류의 동시 측성을 가능하게 하였으며, 직류전압 하에서 고분자 절연재료의 전도 측성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 XLPE의 고전계 전도특성은 시간에 따라서 공간전하가 형성되는 것과 방전 후에도 공간전하가 주입되어 남아 있는 것을 확인할 수 있었다. 기존의 초고압 전력 케이블 절연체로 사용되는 XLPE 1, 2에 대하여 극성반전시 공간전하와 전도전류의 동시 측정결과 전도 전류의 시간의존성 등이 공간전하와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황보승, “펄스정전용력법의 개선에 의한 고분자 절연재료에서 공간전하가 전도 및 부분방전 특성에 미치는 영향에 대한 고찰”, 서울대학교 대학원, 1998
- [2] 황보승, “펄스정전용력법(PEA)을 이용한 고분자 재료에 따른 공간전하분포와 전도전류 특성”, 호남대학교 논문집, 제 20호, 649-656
- [3] 이창훈, “6.6kV XLPE Cable에 있어서 직류전압 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1997,7,21, pp.1743-1745, 1997
- [4] 최수일, “공간전하에 따른 전도전류의 변화에 대한 연구”, 대한전기학회논문지, Vol. 59, No.12, pp.2225-2229, 2010