

n-butyl acrylate로 그래프트된 폴리에틸렌의 부분방전 특성 Partial Discharge Characteristics of n-butyl acrylate grafted Polyethylenes

이정원 고려대학교 재료·금속공학부
서광석 고려대학교 재료·금속공학부
곽희로 숭실대학교 전기공학과

Jung Won Lee Div. of Materials Science and Metallurgy, Korea University
Kwang S. Suh Div. of Materials Science and Metallurgy, Korea University
Hee Ro Kwak Department of Electrical Engineering, Soongsil University

Abstract

Partial discharge characteristics of normal butyl acrylate grafted low density polyethylenes were investigated by an ultrasonic sensor made of ceramic piezoelectric material. It was found that the partial discharging activities in normal butyl acrylate grafted low density polyethylenes were considerably suppressed compared to those in plain low density polyethylene. It was found that acrylic acid grafted polyethylene was more effective than normal butyl acrylate grafted low density polyethylene.

1. 서론

절연체의 부분방전에 관한 연구는 그 동안 많은 사람들에 의해 활발히 진행되었지만 주로 새로운 측정장치의 개발 및 이를 이용한 진단방법의 개발에 치중되어 왔다. 물론 현장에서 다양한 전기설비의 부분방전을 측정하고 진단하는 방법의 개발도 중요하지만, 궁극적으로 전기설비의 수명을 연장하기 위해서는 전기설비에 사용되는 절연체의 전기적 성질을 향상시키는 것이 중요하다. 그러나, 현재까지는 새로운 재료의 개발이 매우 미흡한 실정이다. 고체 절연체의 부분방전에 관한 연구가 전혀 없었던 것은 아니지만 대부분의 연구가 void의 종류나 void의 배열 등 주로 void가 부분방전에 미치는 영향에 대한 것이다. 절연체에서 일어나는 부분방전의 중요한 원인중의 하나가 절연체내의 void이기 때문이다. 그래서 많은 사람들이 절연체의 부분방전을 억제하는 방법으로 void의 개수를 감소시키는 방법을 생각한다. 그러나 고분자 절연체를 만드는 과정에서 void는 어쩔 수 없이 생기므로 이 방법은 한계가 있다. 그래서, 본 연구팀에서는 다른 면에서 해결방안을 찾으려고 시도하였다.

최근, 케이블에서 발생하는 대표적인 열화현상인 트리 (treeing)를 억제하는 방법의 하나로 절연체인 폴리에틸렌을 개질하는 연구가 활발히 진행되고 있는데, 그 중의 하나가 적절한 극성기를 가진 단량체를 폴리에틸렌 사슬에 그래프팅시키는 방법이다. 이 방법은 화학적 결합에 의하여 폴리에틸렌 사슬에 단량체가 결합되어 있으므로 전체적으로 균일한 구조를 가져 블렌딩 방법에 비하여 계면의 문제가 해결될 수 있는 장점이 있다. 이 그래프팅 방법은 이미 몇몇 사람들에 의하여 시도되어 효과가 있는 것으로 보고되었다 [1, 2, 3]. 본 연구팀에서는 이미 아크릴산으로 그래프팅시킨 폴리에틸렌의 부분방전 특성에 대하여 조사한 바 있다 [4].

이에 본 연구에서는 다른 화학성분도 같은 효과를 보이는지 알아보기 위하여 노말부틸아크릴레이트로 그래프팅된 폴리에틸렌의 부분방전 특성에 대하여 초음파 센서를 이용하여 조사하였다.

2. 실험

본 연구에서는 저밀도 폴리에틸렌 (low den

-sity polyethylene: LDPE)과 이를 노말부틸아크릴레이트로 그래프트시킨 n-butyl acrylate grafted polyethylene (nBA-g-PE)을 사용하였다. 저밀도 폴리에틸렌은 국내 석유화학회사에서 생산되어 전력용 케이블의 절연층에 사용되는 수지로 밀도가 0.920 g/cm^3 이고 용융지수는 2.0 g/10 min 인 수지이다. nBA-g-PE는 일정량의 노말부틸아크릴레이트를 본 연구에서 사용한 LDPE에 그래프트시킨 수지로서, 그래프트반응은 이중압출기 (twin screw extruder)를 사용하였고 압출은 $160\text{--}200^\circ\text{C}$ 범위에서 수행하였다. 이 때 사용된 개시제는 dicumyl peroxide (DCP)로 그 함량은 0.02 phr 이다. 이와 같이 제조된 시료 내에 반응하지 않고 남아있는 잔류 단량체와 단량체의 homopolymer를 제거하기 위하여, 부탄올에서 24시간동안 추출한 후 80°C 의 진공오븐에서 48시간 건조 사용하였다. 그래프트반응에 대한 자세한 사항은 기존에 발표된 바와 같다 [3, 4].

시편은 Carver Laboratory사의 hot press를 이용하여 $80 \times 6 \times 50 \text{ [mm}^3\text{]}$ 크기로 압축성형하였는데, 먼저 두께 3 mm 판 2 장을 압축성형한 후, 침대평판전극을 만들기 위하여 판 사이에 바늘을 넣고 130°C 에서 20분간 다시 성형하였다. 전기트리발생을 위한 바늘은 일본 Ogura Jewel Co.에서 구입한 곡률반경이 $10 \mu\text{m}$ 인 바늘을 사용하였고 바늘 끝에서 접지까지의 거리는 2 mm 로 조절하였다. 시편 표면에서 일어날 수 있는 연면방전을 최소화하기 위하여 시편표면과 침전극사이를 에폭시수지계의 접착제로 밀봉하였으며, 접지축 전극으로는 시편의 바닥에 은전극을 도포하였다.

본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 시편에 바늘을 통하여 교류 전압을 가한 후 부분방전시 발생하는 음파를 초음파센서로 측정하여 전치증폭기 (preamplifier), 필터, 주증폭기를 거치게 한 후 오실로스코프로 관찰하고 동시에 전기적인 방법으로 부분방전량을 측정하였다. 부분방전량은 Hipotronics사의 모델 CDO-77A를 이용하여 pC단위로 측정하였다. 초음파센서는 공진 주파수 500 kHz 인 Veritorn사의 PZT-5A인 8250-5A디스크형의 압전진동자를 사용하였고, 압전진동자의 직경은 25.4 mm 이며 두께는 12.7 mm 이다. 시편의 폭이 좁아 초음파센서를 직접 시편에 부착시키기 어렵고, 절연파괴시 센서가 손상될 위험이 있으므로 이를 방지할 목적으로 시편과

초음파 센서 사이에 두께 1 mm 의 LDPE판을 삽입하였다. 전압은 4 kV 부터, 10분마다 2 kV 씩 올렸고, 신호는 3분마다 측정하였다.

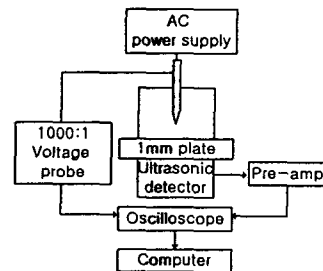


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험에서 얻은 결과를 정량적으로 비교하기 위하여 몇 가지의 변수 즉, Σy^2 , 펄스 수, duration time (t_d), 그리고 진폭이 가장 큰 신호의 peak to peak (V_{pp})를 구하였다. 여기에서 Σy^2 는 16 ms 동안의 진폭을 제곱하여 적분한 값으로 부분방전의 에너지에 비례하며, 펄스 수는 16 ms 동안의 펄스의 개수로 기준은 0.1 V 이다. 그리고 duration time은 1개의 신호가 지속되는 시간을 나타낸다. Σy^2 과 pulse의 개수의 경우, 시간을 16 ms로 정한 것은 16 ms가 AC 전압의 1주기에 해당하기 때문이다.

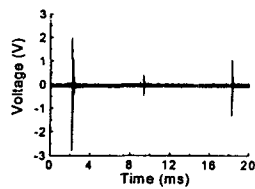
3. 결과 및 고찰

아크릴산이외의 화학 성분으로 그래프트시킨 폴리에틸렌의 부분방전 특성을 알아보기 위하여 노말부틸아크릴레이트로 그래프트시킨 폴리에틸렌 (nBA-g-PE)의 부분방전특성에 대하여 조사하였다. 기존의 연구결과에 의하면 nBA-g-PE는 LDPE에 비하여 전기적 성질이 크게 향상된다고 한다. [4].

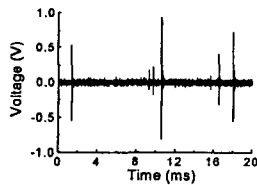
그림 2는 12 kV 에서 측정된 LDPE와 nBA-gPE의 대표적인 초음파 신호를 나타낸다. AA-g-PE와 마찬가지로 두 시료간의 초음파신호의 파형에는 큰 차이가 없고 단지 진폭의 크기만 감소한다. 그러나 그림 3에서 볼 수 있듯이 보다 높은 전압에서는 nBA-g-PE의 파형이, 작은 펄스가 다발로 이루어져 있는, 전혀 다른 모양으로 변한다. 이때

nBA-g-PE의 초음파신호는 펄스수가 많고 펄스의 지속시간이 수 ms로 매우 길다. 파형이 이렇게 변화하는 전압은 그래프트올에 따라 조금씩 다른데, 대략 14-16 kV이다. 이로써 화학성분 노말부틸아크릴레이트는 초음파신호의 파형을 변화시킬 수 있다. 따라서 폴리에틸렌이 화학적으로 개질될 때, 초음파신호의 파형의 변화 유무는 화학성분에 따라 다르고 쉽게 예측하기 어렵다고 생각된다. 또한 그래프트올이 0.0427 wt%인 시료와 0.0870 wt%인 시료는 부분방전개시전압부터 작은 펄스가 다발로 이루어져 있는 특이한 파형이 나타난다.

이 신호를 정량화하였으며 그 결과가 그림 4에 나와 있다. 펄스수와 t_d 를 제외한 대부분의 변수에 있어서 nBA-g-PE가 모체수지인 LDPE의 특성치보다 작으며 그래프트올이 증가함에 따라 특성치가 감소하다가 0.0439 wt% 이후에는 다시 증가



(a) LDPE



(b) nBA01

Fig. 2 Ultrasonic signals of LDPE and nBA-g-PE at 12 kV

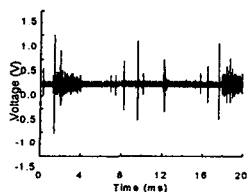
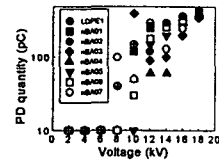
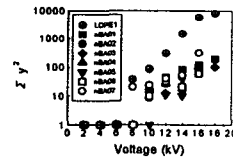


Fig. 3 Ultrasonic signals of nBA01 at 16 kV

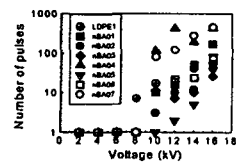
하는 경향을 나타낸다. 그래프트올에 따른 이러한 변화는 AA-g-PE와 동일하다 [5]. 그러나 앞에서 언급하였듯이, 그래프트올이 0.0427 wt%인 시료와 0.0870 wt%인 시료는 파형이 다른 시료들과 전혀 다르고 나머지 그래프트올의 시료들도 16 kV이상의 높은 전압에서는 파형의 변화가 있기 때문에, 펄스수와 t_d 에서는 nBA-g-PE가 LDPE보다 오히려 높은 값을 나타내거나 16 kV에서 급격히 증가하는 특징을 보인다.



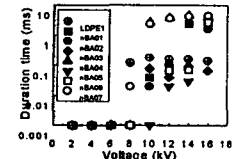
(a) PD quantity



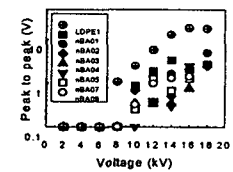
(b) Σy^2



(c) Number of pulses



(d) Duration time



(e) Peak to peak

Fig. 4 PD characteristics of LDPE and nBA-g-PE

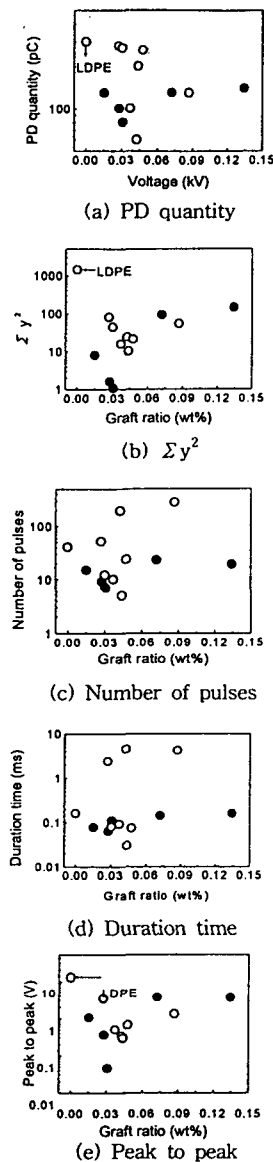


Fig. 5 PD characteristics of AA-g-PE (●) and nBA-g-PE (○)

AA-g-PE와 nBA-g-PE, 두 종류의 시료중에서 어느쪽이 부분방전특성이 더 좋은지 알아보기 위하여 동일 전압에서의 그래프트율에 따른 변화를 그림 5에 나타내었다. 거의 모든 변수에 있어서 nBA-g-PE가 AA-g-PE보다 높은 값을 나타낸다.

특히 Σy^2 과 V_{pp} 에서는 nBA-g-PE가 AA-g-PE에 비하여 훨씬 높은 값을 갖는다. 이로써 AA-g-PE가 nBA-g-PE보다 부분방전 억제효과가 큼을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 nBA-g-PE의 부분방전 특성을 연구한 결과, 폴리에틸렌을 노말부틸아크릴레이트로 개질하면 부분방전이 크게 억제되고 초음파 신호의 파형도 변화시킴을 알았다. 그리고 AA-g-PE가 nBA-g-PE보다 부분방전 억제효과가 크다는 사실도 알았다.

참고문헌

- [1] C. C. Ku and R. Liepins, *Electrical Properties of polymers; Chemical Principles*, Munich-Vienna-New York, Hanser Publishers, 1987.
- [2] Y. Tanaka, Y. Ohki and M. Ikeda, "Morphology of Ethylene-Styrene Copolymers and Its Effects on Dielectric Strength", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 27, pp. 432-439, 1992.
- [3] S. H. Lee, J. K. Park, J. H. Han, and K. S. Suh, "Space Charge and Electrical Conduction in Maleic Anhydride Grafted Polyethylene", *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 27, pp. 432-439, 1992.
- [4] C. R. Lee, *Electrical Properties of Acrylate Grafted Polyethylenes*, PhD Thesis, Korea University, 1997.
- [5] I. K. Song, "Partial Discharge Characteristics of Polyethylenes by an Ultrasonic Method", PhD Thesis, Soongsil University, 1997.

감사의 글 : 본 연구의 일부는 한국과학재단의 연구비 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사드립니다. (과제번호: 951-1101-041-2).