

초음파 센서를 이용한 폴리에틸렌의 부분방전특성연구
Study on the Partial Discharge Characteristics in Polyethylene
Using Ultrasonic Sensors

이정원, 서광석, 박치영*, 곽희로*, 송일근**

고려대학교 재료공학과, *송실대학교 전기공학과, **한국전력 전력연구원

Jung W. Lee, Kwang S. Suh, Chi Y. Park*, Hee R. Kwak*, and Il G. Song**

Department of Material Science, Korea University, Seoul, Korea

*Department of Electrical Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea

**Korea Electric Power Research Institute, Taejeon, Korea

Abstract

A signal generated by partial discharge in low density polyethylene (LDPE) and cross-linked polyethylene (XLPE) has been detected by ultrasonic sensors. The observed signal is analysed with the quantity of partial discharge, number of peaks, and energy (Σy^2). It was found that signals between LDPE and XLPE are quite different and that the signal of XLPE has very long duration time and rising time, and that the quantity of partial discharge of XLPE is saturated. It was also found that tree retardant XLPE (TR-XLPE) has lower quantity of partial discharge, number of peaks, and energy than natural XLPE.

1. 서론

전력케이블에 사용되는 고분자 절연체내에 void와 같은 미세한 결함이 존재하게 되면 이 결함들이 국부적으로 절연체의 유전율을 감소시키게 되고 그 결과 부분방전이 발생한다. 부분방전이란 전극이 완전하게 bridge되지 않은 방전을 말하는데, 이러한 방전은 그 크기는 작을지라도 고분자 절연체의 급격한 열화를 야기시키는 것으로 알려져 있다 [1, 2].

현재 전력설비의 대용량화와 산업의 발전에 따라서 전력설비의 신뢰성 확보를 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며 그 중의 하나가 절연과 피의 전구현상으로 나타나는 부분방전을 측정하는 것이다. 부분방전 측정법은 운전중에 전력설비의 상시 감시가 가능한 진단법으로써 전기적인 방법과 비전기적인 방법으로 분류될 수 있다. 전기적인 방법은 설비의 정전용량에 따라서 크기가 다양하게 나타나며 측정하는 값의 크기가 작으므로 주변의 잡음의 영향을 크게 받는다는 단점을 가지고 있다. 따라서 현재는 초음파 센서를 사용하여 부분방전이 발생하는 경우 나타나는 초음파를 측정하는 비전기적인 방법이 많이 연구되고 있다.

본 연구에서는 전력케이블의 부분방전측정 연구의 일환으로 초음파 센서를 이용해서 전력케이블에 사용되는 crosslinked polyethylene (XLPE)의 종류에 따른 부분방전특성을 분석하고 이를 모체 수지인 LDPE와 비교하였다.

2. 실험

본 연구에서는 폴리에틸렌 (PE)의 부분방전 특성을 비교하기 위하여 국내와 국외에서 케이블의 절연층에 사용되고 있는 LDPE 2종류와 상업용 XLPE 4종류, 그리고 TR-XLPE 2종류를 시

료로 사용하였다. LDPE는 국내 석유화학회사에서 제조된 것을 사용하였으며, XLPE는 국내에서 제조된 2종류, 국외에서 제조된 4종류 (TR-XLPE 포함)를 사용하였다. 부분방전측정에 사용된 시료의 명명은 LDPE1과 LDPE2를 모체수지로 한 XLPE는 각각 XLPE1과 XLPE2로 나타내었고, XLPE3와 TR-XLPE3, XLPE4와 TR-XLPE4는 같은 회사에서 생산된 제품이다.

부분방전측정을 위한 시편은 Carver Laboratory사의 hot press를 이용하여 두께 6 mm로 압축성형하였다. LDPE의 경우는 130°C에서 20분간, XLPE는 180°C에서 25분간 열을 가하여 성형하였다. 침대평판 전극을 만들기 위하여 시편에 바늘을 삽입하였으며 사용된 시편의 구조를 그림 1에 나타내었고, 접지측 전극으로는 시편의 바닥에 은전극을 도포하였다.

초음파센서는 공진주파수 500 kHz인 Veritron사의 PZT-5A인 8250-5A 디스크형의 압전 진동자를 사용하였고, 압전진동자의 직경은 25.4 mm이며 두께는 12.7 mm이다.

시편에 바늘을 통하여 AC전압을 가한 후 부분방전시 발생하는 음파를 초음파센서로 측정하여 전치증폭기, 필터, 주증폭기를 거치게 한 후 오실로스코프로 관찰하고 동시에 전기적인 방법으로 부분방전량을 측정하였다. 전압은 4 kV부터 시작하여 10분마다 2 kV씩 올렸고, 신호는 3분마다 측정하였으며 그림 2에 실험장치의 개략도를 나타내었다. 그리고 실험에서 얻은 결과를 정량적으로 비교하기 위하여 몇가지의 변수 즉, Σy^2 , peak의 개수, rising time, 그리고 duration time을 구하였다. 여기에서 Σy^2 는 16ms 동안의 진폭을 제공하여 적분한 값으로 부분방전의 에너지에 비례하며, peak의 개수는 16 ms 동안의 peak의 개수로 기준은 0.2 V이다. 그리고 rising time은 최대 peak까지의 시간이며 duration time은 1개의 신호가 지속되는 시간을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1. LDPE

모체수지인 LDPE의 부분방전특성을 측정하기 위하여 먼저 LDPE 1에 대해 전압을 인가한 후 초음파 신호를 측정하였다. 그림 3에 LDPE1에 10 kV를 가했을 때 관측되는 초음파 신호를 나타내었으며, 가해지는 전압의 1주기가 약 16ms이므로 time scale을 2ms로 하여 측정하

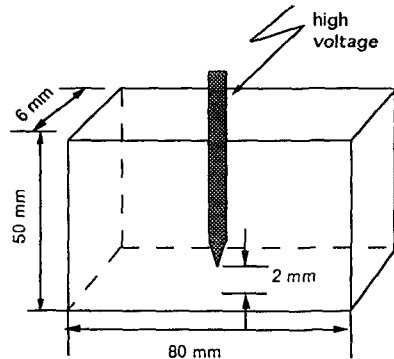


그림 1. 시편의 규격

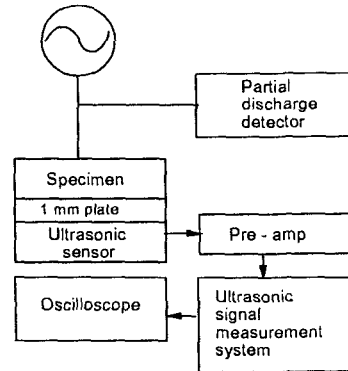


그림 2. 실험장치 개략도

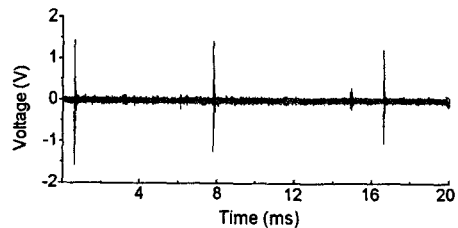


그림 3. LDPE 1의 초음파 신호

였다. 그림의 가로축에 나타낸 바와 같이 rising time이 수 μ s로 매우 짧고 duration time도 수십 μ s로 매우 짧은 신호가 불연속적으로 나타나는 것으로 관찰되어 졌다. 이후 전압을 더 증가시키는 경우 14 kV에서 절연파괴가 발생하였다.

본 연구에서 사용한 또 다른 LDPE2의 경우 LDPE1과 동일한 조건에서 부분방전특성을 측정하였다. 그림에는 나타내지 않았으나 LDPE 2에 10 kV를 가했을 때 측정되는 초음파 신호는 LDPE1과 유사한 것으로 관찰되어 졌다. 그림 4에 LDPE1과 LDPE2의 부분방전량, Σy^2 , peak의 개수를 비교하여 나타내었다. 그림에서 높은 전압일 때에는 변수들의 차이가 거의 없으나 낮은 전압일 때에는 LDPE1이 에너지와 peak의 개수가

큰 것으로 보인다. 따라서 낮은 전압일때는 LDPE1이 부분방전이 더 많이 일어난다고 볼 수 있는데, 이 차이는 각기 다른 방법으로 종합되기 때문에 생기는 분자량의 차이에 의한 영향으로 생각된다. 그러나 부분방전량이 계속 증가하는 점과 전체적인 파형의 모양, 14 kV에서 절연파괴가 일어나는 현상은 LDPE1과 LDPE2가 잘 일치하는 것으로 관찰되어 졌다.

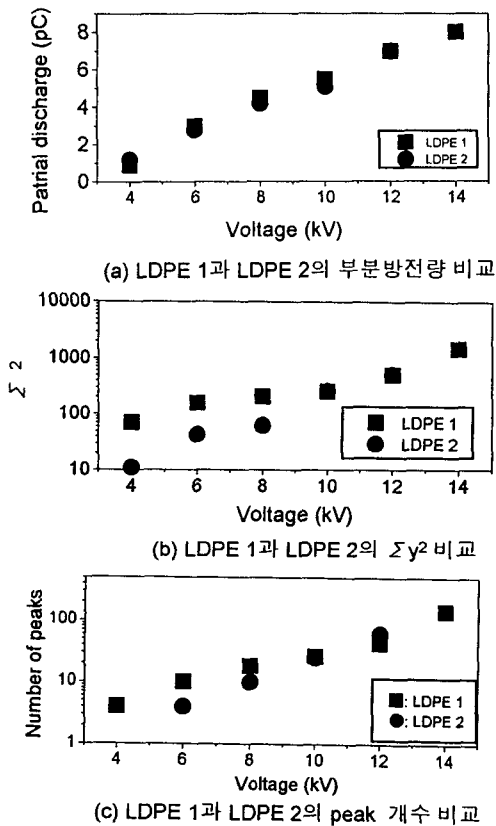


그림 4. LDPE 1과 LDPE 2의 부분방전 특성 비교

3.2. LDPE와 XLPE

LDPE1에 가교제와 산화방지제를 혼합한 XLPE1에 10 kV를 가했을때 나타나는 초음파 신호를 측정하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 XLPE1에서는 LDPE1과 전혀 다른 형태의 파형이 보여진다. 따라서 같은 모체수지인 LDPE1과 비교하기 위하여 그림 6에 LDPE1과 XLPE1의 변수들을 함께 나타내었다.

LDPE와 XLPE의 차이는 그림 6 (a)에 나타낸 바와 같이 전압이 증가함에 따라 LDPE1에서는 부분방전량이 계속 증가하는 반면, XLPE1은 10 kV부터는 더이상 증가하지 않는 것으로

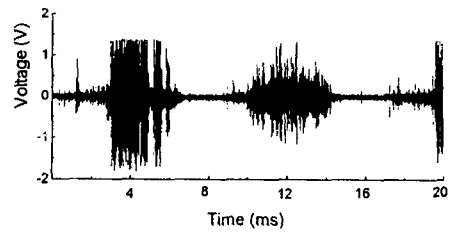
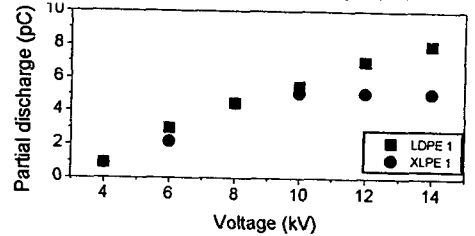
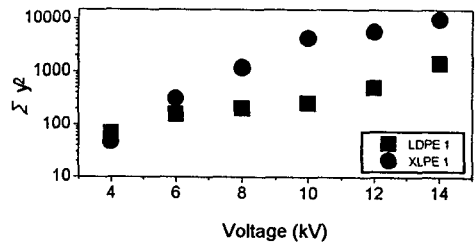


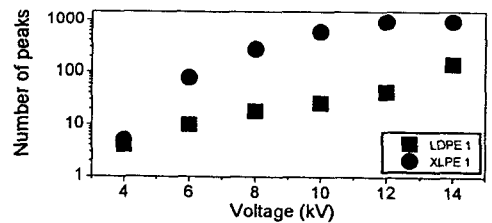
그림 5. XLPE 1의 초음파 신호



(a) LDPE 1과 XLPE 1의 부분방전량 비교



(b) LDPE 1과 XLPE 1의 Σy^2 비교



(c) LDPE 1과 XLPE 1의 peak 개수 비교

그림 6. LDPE와 XLPE의 부분방전특성 비교

보인다. 또한 LDPE1은 14 kV에서 절연파괴가 일어나지만 XLPE는 14 kV까지는 절연파괴가 일어나지 않는 것으로 관찰되어 졌다. 그리고, 부분방전측정에서 얻은 결과인 그림 3과 그림 5에 나타낸 것과 같이 전혀 다른 파형이 관측된다. 그림에서 LDPE1은 duration time이 수십 μ s로 매우 짧고 rising time도 수 μ s이나, XLPE1에서는 duration time이 수 ms이고 rising time도 약 1 ms로 LDPE1보다 길다. 따라서 그림 6에서 보듯이 10 kV이상의 높은 전압일때에 부분방전량은 LDPE가 더 크지만, 에너지와 peak의 개수는 XLPE가 훨씬 더 크다는 결과가 나온다. 따라서 단순히 에너지와 peak의 개수만으로는 어느 쪽이 부분방전이 더 많이 일어나고 절연파괴가 먼저

일어나는지 예측하기 어렵다고 생각된다.

3.3. XLPE의 종류에 따른 부분방전특성

XLPE의 종류를 달리 한 경우 부분방전특성의 변화를 살펴보기 위하여 다른 세 종류의 XLPE에 대하여 같은 실험을 하였다. 측정결과 XLPE2만 다른 파형을 나타내며 나머지 세가지의 XLPE는 유사한 파형을 나타내는 것으로 보인다. 또한 측정된 각 변수들의 값을 비교하여 표 1에 정리하였다. 표 1에서 모든 변수에 있어서 XLPE1이 가장 큰 값을 나타내며, XLPE4가 가장 작은 값을 나타낸다. 따라서 본 연구에서 측정된 결과로부터 XLPE1이 부분방전이 가장 잘 일어나고 XLPE4가 가장 적게 발생하는 것으로 여겨진다. 같은 XLPE인데도 이러한 차이점을 나타내는 것은 제조공법과 분자량분포, 각기 다른 첨가제의 사용에 의한 영향으로 생각된다.

표 1. 서로 다른 XLPE의 부분방전 변수비교

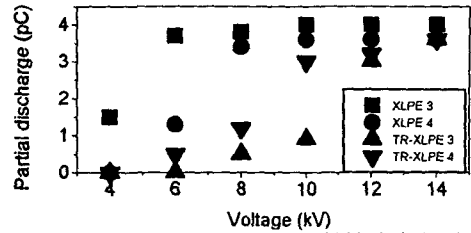
부분방전량	XLPE1 > XLPE3 > XLPE2 > XLPE4
Σy^2	XLPE1 > XLPE2 > XLPE3 > XLPE4
peak의 개수	XLPE1 > XLPE3 > XLPE2 > XLPE4

3.4. Natural XLPE와 TR-XLPE의 비교

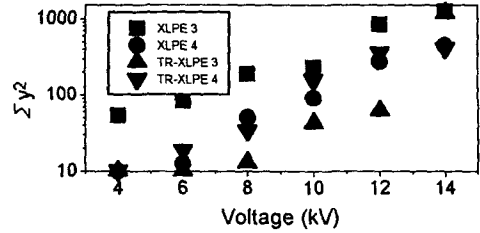
Natural XLPE에 비해 내트리성을 향상시킨 TR-XLPE의 부분방전특성을 살펴보기 위하여 두 종류의 TR-XLPE에 대해 실험하였다. 여기서 XLPE3과 TR-XLPE3, XLPE4와 TR-XLPE4가 동일한 회사에서 생산된 제품이다. 본 연구에서 측정된 각 변수들의 결과를 그림 7에 비교하여 나타내었다. 그림에서 모든 변수에 있어서 TR-XLPE4는 XLPE4와 거의 같은 값을 나타내는 반면 TR-XLPE3은 XLPE3에 비해 상당히 낮은 값을 보여준다. 따라서 TR-XLPE가 종류에 따라 차이는 있지만, natural XLPE에 비해 부분방전이 적게 발생하는 것으로 보인다. 그러나, TR-XLPE는 LDPE와 거의 같은 값의 매우 짧은 rising time을 갖는 특이한 파형을 나타내는데, 이것이 절연체의 열화에 어떠한 영향을 미치는지는 향후 연구되어야 할 부분으로 여겨진다.

4. 결론

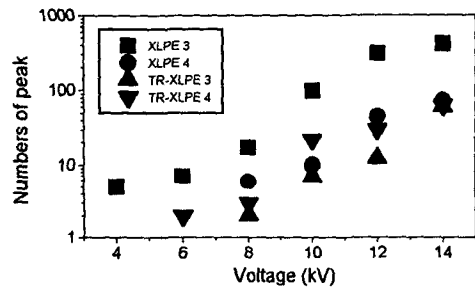
서로 다른 LDPE와 XLPE의 부분방전특성을 측정한 결과 XLPE는 LDPE와 상당히 다른 신호를 나타내며 부분방전측정을 통해 얻은 변수



(a) Natural XLPE와 TR-XLPE의 부분방전량 비교



(b) Natural XLPE와 TR-XLPE의 Σy^2 비교



(c) Natural XLPE와 TR-XLPE의 peak 개수 비교

그림 7. Natural XLPE와 TR-XLPE의 부분방전 특성 비교

값이 큰 차이를 나타내는 것으로 관찰되어 졌다. 또한 TR-XLPE에서는 natural XLPE에 비하여 낮은 부분방전의 발생을 보여주었다. 이는 재료의 변화에 따라서 부분방전특성의 변화가 나타나며 같은 재료라도 제조된 방법과 분자구조에 따라서 다른 양상을 보이는 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. B. Truth and L. Niemeyer, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **EI-27**, 60 (1992).
2. F. E. Wherry and L. R. Toothman, *IEEE PAS*, **87**, 1889 (1968).