

저밀도 폴리에틸렌에 있어서 부분방전과 음향방출펄스 상호간의 회기분석에 의한 신뢰도 평가

김성홍*, 최재관*, 윤현주*, 심종탁*, 김재환*, 박재준**, 신승중**
*광운대 전기공학과, **중부대 컴퓨터 과학부

A Reliability Evaluation by Rgression Analysis of PD and AE Pulse in Low Density Polyethylene

S. H. Kim*, J. K. Choi*, H. J. Yoon*, J. T. Shim*, J. H. Kim*, J. J. Park**, S. J. Shin**

* Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University

** Department of computer Science, Joong Bu University

Abstract - Because of internal voids in insulators give rise to partial discharge (PD), which cause local breakdown and even entire insulation breakdown. Treeing due to PD is one of the main causes of breakdown of the insulating materials and reduction of the insulation life. Therefore the necessity for establishing a method to diagnose the aging of insulation materials and to predict the breakdown of insulation has become important.

From this viewpoint, our studies diagnose insulation degradation using the method of computer sensing system, which has the advantages of PD and acoustic emission (AE) sensing system.

To use advantages of these two methods can be used effectively to search for treeing location and PD in some materials.

In analysis method of degradation, We analyzed the PD pulse and AE pulses by regression analysis, compared to these obtained the correlation coefficient and determination coefficient by T-distribution and saw that PD and AE pulses show a similar pattern on the whole. This is in agreement with the results of the research by Yoshimura and Fujita.

1. 서 론

안정된 전력 요구가 강하게 요구됨에 따라 전력 기기나 전력 케이블을 시작으로 전력계통에 있어서 절연 성능의 중요성이 한층 높아지고 있다. 그러므로 종래에 비해 절연재료의 내구성, 전기적 특성 등이 우수한 고분자 재료가 광범위하게 이용되고 있다.

그러나 고분자 재료는 내부에서 미소 보이드 또

는 도체의 경계면에서 보이드, 갈라진 금(crack) 등의 결함이 존재하면 부분방전의 원인이 되어 재료를 열화시키고 절연과피를 일으키게 된다. 이와 같은 현상은 지금까지 알려진 사실이다. 이 문제에 대해 많은 연구가 진행되고 있으나 완전한 대책은 아직 없다. ⁽¹⁾ 절연 조직 중에 부분방전이 발생하지 않기를 바라지만, 발생된다면 그 방전이 절연 수명에 치명적인 역할을 하므로, 절연과피만은 방지해야 한다는 관점에서 파괴 예지를 위한 절연 열화 진단법이 확립되어야만 한다.

본 연구에서는 부분방전 감지 시스템과 음향방출 감지 시스템의 장점을 이용하기 위해 두 시스템을 복합적으로 결합하여, 유중 상태 고분자 시편에서 전기적 트리를 유발시켜 트리 개시로부터 파괴시까지의 트리 열화 과정을 관찰하였다. 열화과정에서 얻은 데이터를 통하여 부분방전 펄스와 음향방출 상호간의 선형적인 관계를 규명하여 효과적으로 부분방전을 감지하고, 열화초기에 절연물의 수명추정을 함으로써 미연에 파괴를 방지할 목적으로 독자적으로 개발한 음향방출 감지 시스템과 부분방전 감지 시스템을 복합적으로 운용하여 연구에 착수하였다. ⁽²⁾⁽³⁾

2. 시편제작 및 실험장치

본 실험에 사용된 시편은 저밀도 폴리에틸렌(이하 LDPE)으로서 밀도 0.92[g/cm³] LDPE의 펠렛(Pellet)을 사용하였다.

자체 제작한 음향방출 감지 시스템의 인가전압은 11[kV] 60[Hz]이며 전압 인가방식은 승압속도 [kV/s]로 11[kV]까지 전압을 인가한 후 파괴시까지 일정하게 유지하였다. 고전압 회로는 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일에 함침하였다.

음향센서는 공진 주파수 480[kHz]되는 PZT 변환기를 사용하였고 평판 전극 바로 아래 2[cm]되는 장소에 설치하였고 음향의 원신호 자체는 너무 미약하여 80[dB]의 차동 증폭기로 증폭하고 80[kHz]의 High Pass Filter를 사용하였다. 설계시 최대

한의 노이즈를 제거하였고 문턱 준위는 증폭된 신호를 0.03[V]로하여 확실한 음향 신호를 얻을 수 있었다. 자체 제작한 부분방전 감지 시스템은 같은 방법으로 전압을 인가 하였으며 High Pass Filter를 사용하여 전원 주파수를 제거 하였다.

위상각 특성을 보기 위해 인가전압을 고전압 Probe(HP 34300A)로 전압을 강하시켜 디지털 오실로스코프(HP54501)의 채널 3에 입력시켰다. 그렇게 한 후 음향방출과 부분방전 감지 시스템을 복합적으로 연결하여 동시에 측정하였다. 증폭기를 통과한 음향방출 펄스는 동기화를 거쳐 인가전압 한 주기 동안의 펄스를 디지털 오실로스코프 채널 1에 입력하여 Interface를 통해 PC로 전송하고 각 펄스의 위상정보와 펄스 크기정보를 얻는다. Filtering된 부분방전 펄스도 같은 방법으로 디지털 오실로스코프에 채널 4에 입력되어 PC로 전송된다.^[4] 부분방전과 음향방출의 평균 펄스는 인가 전압 1사이클을 정의 제로 크로스점을 42개의 위상각으로 구분하여 각 위상각 구간 마다 1분 동안의 펄스를 평균한 값으로 사용하였다

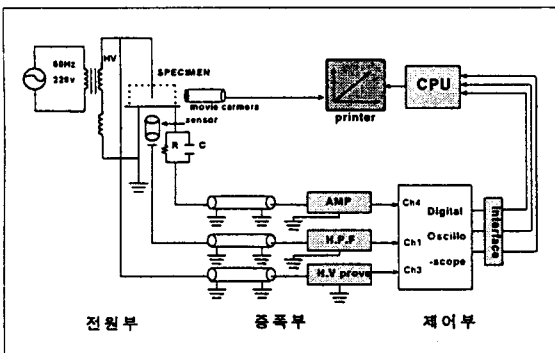


그림 3-3. 복합 시스템의 실험장치 블록선도
Fig. 3-3. A experiment device block diagram of composite system

3. 실험 결과 및 검토 고찰

3.1 부분방전 펄스와 음향방출 펄스 상호간의 회귀분석^[6]

무보이드 시편과 보이드(1mm) 시편(LDPE)에 각각 전압 10[kV]을 인가할 때 발생하는 부분방전의 평균 펄스진폭(이하 PD라 약한다.), 부분방전의 평균 펄스수(이하 PDN이라 약한다.), 음향방출 평균 펄스진폭(이하 AEA라 약한다.)과 음향방출 평균 펄스수(이하 AEN이라 약한다.)를 동시에 계속하였다. 여기에서 발생하는 부분방전 펄스와 음향방출 펄스를 회귀분석하여 각각의 정량적인 파라메타로 선형성 여부를 논한 후, 상호간의 장점을 이용하여 열화의 정보로 이용 하였다.^[5]

그림 3-1~3-2는 무보이드 시편에서 PDA와 AEA 상호간의 회귀분석과 통계표를 나타내고 있다. 그림 4-1을 살펴보면 최소 자승법(즉 AEA의

실측값과 예측치와의 편차 자승합이 최소인 직선)에 의해 독립변수인 PDA에 대해 관찰값을 나타내는 AEA의 분포를 나타내고 있고 PDA에 대한 AEA의 회귀선은 y절편이 0.231279이고 기울기가 0.003193인 $y = 0.231279 + 0.003193x$ 인 회귀선에 대해 AEA의 관찰값이 흩어져 있음을 나타내고 있다.

다음은 통계표에 의하여 정량적인 값으로 비교해보면, PDA와 AEA의 선형 관련성의 여부를 결정하는 상관계수(r)는 33%로서 낮은 선형 관련성을 보이고 있다. 상관계수가 33%가 된다는 것은 PDA와 AEA에서 얻은 값을 단독으로 상호 비교할 때 33% 정도의 관련성이 있다고 할 수 있다.

그러나 PDA와 AEA의 값을 복합적으로 사용하여 하나의 정보량으로 표시하여 열화의 정도를 판별하기 위해서는 상관계수 만으로는 어렵다. 그러므로 PDA와 AEA의 값을 복합적으로 이용하기 위해서는 두 관계를 하나의 정량적인 값으로 표현할 필요성이 있다. 이 값이 바로 결정계수이다. 먼저 PDA와 AEA값에 대한 편차의 자승합이 최소인 회귀직선을 구한 다음에 이 회귀직선에 얼마나 기여 하는지를 나타내는 결정계수(r^2)를 구한다. 특히 회귀직선을 구하여 얻은 기울기는 경도를 나타내는 것으로 본 논문에서는 C파라메타로 이용하였다. 결정계수의 값이 크면 클수록 복합적인 열화 감지에 많은 도움을 준다. 직선의 기여율의 정도를 나타내는 것으로 회귀직선 $y = 0.231219 + 0.003193x$ 에 접근도가 11%임을 나타내 준다. 종합적으로 t검정을 통하여 PDA와 AEA의 기울기의 여부를 평가해 보면, 회귀직선을 $y = + x$ 라 하면 = 0일 경우에는 때는 기울기가 없다는 것을 의미하는 귀무가설을 기각시키는데 여기에서 구한 t통계량 값은 2.50이고 p 값은 0.02이므로 t통계량 값은 P값보다 크다. 따라서 PDA와 AEA는 기울기가 존재하며 귀무가설을 채택하게 되고 상관관계의 복합적인 열화진단에 이용된다.

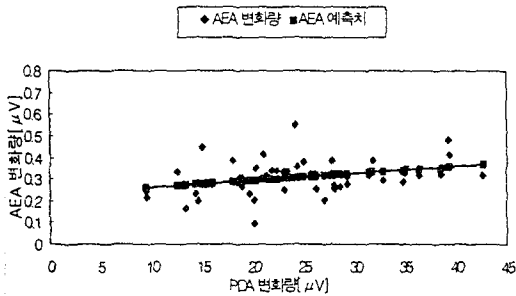
그림 4-2는 무보이드 시편 PDN과 AEN 상호간의 회귀분석과 통계표를 나타내고 있다. 그래프를 살펴보면 최소 자승법에 의해 PDN에 대한 AEN의 회귀직선은 $y = 13.49506 + 0.256433x$ 이고 AEN의 관찰값이 흩어져 있음을 나타낸다. 그림 4-1 그래프에 비해 기울기 값이 큰 것을 나타낸다. 이 기울기 값이 C파라메타로 이용되었다.

통계표에 의거하면 PDN과 AEN의 상관계수(r) 즉, 선형 관련성이 31%에 해당하고 결정계수(r^2)는 9%에 해당한다. 이는 관찰값인 AEN이 회귀직선에서 많이 벗어나 있음을 나타낸다.

t검정에 의거하면 t통계량 > P값이므로 PDN과 AEN 상호간의 기울기가 존재하므로 2.29492 > 0.02606 상관성 여부를 논할 수 있으리라 사료된다.

회귀분석 통계량		
상관계수	0.334194856	
결정계수	0.111686202	
	회귀곡선 Y절편	회귀곡선 기울기
계수	0.23127889	0.003193372
표준오차	0.032076912	0.001273644
P-값	2.81602E-09	0.015460844

(a) PDA와 AEA의 회귀 통계표



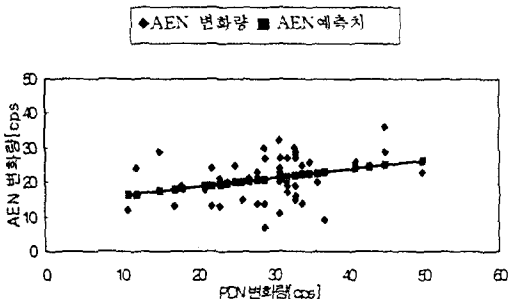
(b) PDA와 AEA의 회귀 그래프

그림 4-1. 부분방전의 평균펄스진폭(PDA)과 음향방출 평균펄스진폭(AEA) 상호간의 (a)회귀분석 통계표와 (b) 그래프 (무보이드)

Fig. 4-1. The regression analysis and statistical table of correlation between PDA and AEA (No void)

회귀분석 통계량		
상관계수	0.31153087	
결정계수	0.09705148	
	회귀곡선 Y절편	회귀곡선 기울기
계수	13.4950597	0.256432688
표준오차	3.432000714	2.294920435
P-값	0.000264707	0.026059756

(a) PDN와 AEN의 회귀 통계표



(b) PDN와 AEN의 회귀분석 그래프

그림 4-2. 부분방전의 평균 펄스수(PDN)와 음향방출 평균 펄스수(AEN)상호간의 (a)회귀분석 통계표와 (b) 그래프 (무보이드)

Fig. 4-2. The Regression analysis and statistical table of correlation between PDN and AEN (No void)

3. 결 론

자체 개발한 부분방전 감지 시스템과 음향방출 감지 시스템을 복합적으로 이용하여 LDPE의 열화현상을 동시에 자동으로 계측하여 열화진단과 수명추정을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 무보이드와 보이드 경우의 PDA와 AEA, PDN과 AEN의 선형성 여부를 정량적인 값으로 환산하여 비교해 보았을때 보이드 경우 PDN과 AEN의 경우 84%의 상관계수를 갖는 것을 제외하고 무보이드와 보이드의 경우 낮은 값의 상관계수를 갖는다

2) 회귀곡선을 사용하여 PDA와 AEA, PDN과의 선형적인 기울기를 이용하여 복합 감지 시스템의 장점을 최대한 이용하여 부분방전을 효과적으로 감지할 수 있다.

3) 부분방전 펄스와 음향방출 펄스를 회귀분석에 의하여 T검정을 통하여 상관계수와 결정계수를 구하여 트리 개시로부터 파괴시까지 발생하는 전반적인 유사한 양상으로 이것은 요시무라에 의한 연구결과와 일치함을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] L.A Dissade, J.C Fothergill, Electrical Degradation and Breakdown in Polymers Peter Peregrious, pp.69~154, 1992
- [2] T. Okamoto, T. Tanaka, "Change in Pulse-Mean Φ -q Distribution Patterns of Partial Discharge due to Treeing Propagation", Trans. Inst. Elect. Eng. Jpn, Vol. 102, A, No. 12, pp.665~672, 1982
- [3] Tairo et. al., "Phase Angle Analysis of Discharge Magnitude Distribution in a Fine Void", JIEE Vol. 109, No. 12, 1989
- [4] R. T. Harrold Ultrasonic Sensing of Partial Discharge within Microfarad Value AC Capacitors", Vol. 98, No2, pp. 444~448, 1979
- [5] ASTM, Designation, D2765-84, "Standard Test Methods for Determination of Gel Content and Swell Ratio of Crosslinked Ethylene Plastics", 403~408.
- [6] 박석운의 3명, 통계학개론", 정익사, pp. 431~464, pp. 189~237, 1989