

복합 감지 시스템을 이용한 부분방전의

절연열화 수명추정

김성홍, 김재환*, 박재준**, 최재관*, 윤헌주*, 이영상*
 *강원대학교 전기공학과, **중부대 컴퓨터 과학부

A Life Prediction of Insulation Degradation Using Complex Sensing System

S. H. Kim*, J. H. Kim*, J. J. Park**, J. K. Choi*, H. J. Yoon*, S. H. Kim*, Y. S. Lee*
 *Department of Electrical Engineering, Kwangjuon University
 **Department of Computer Science, Joong Bu University

Abstract- Because of internal voids 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. Finally using statically operator such as the center of gravity(G), the gradient of the discharge distribution(C), we have analyzed for the prediction of life which we can be obtained the time, occurred of many pulse of small discharge amplitude.

1. 서 론

안정된 전력 요구가 강하게 요구됨에 따라 전력 기구나 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 또는 도체의 경계면에서 보이드, 갈라진 금(crack) 등의 결함이 존재하면 부분방전의 원인이 되어 재료를 열화시키고 절연파괴를 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, 절연파괴 막은 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 개시부터 파괴시까지의 트리 열화 과정을 관찰하였다. 복합시스템 활용을 위하여 열화과정에서 얻은 데이터를 통하여 부분방전 펄스와 음향방출 상호간의 선형적인 관계를 규명하였고, 코로나 방전시 상호간의 장점점으로 코로나 판별을 용이하게 하였다. 또한, 미연에 파괴를 방지할 목적으로 열화 초기에 절연물의 수명추정을 함으로써 독자적으로 개발한 음향

방출 감지 시스템과 부분방전 감지 시스템을 복합적으로 운용하여 연구하였다. [2][3]

2. 시편제작 및 복합시스템 구축

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 1[kV/s]로 11[kV]까지 전압을 인가한 후 파괴시까지 일정계 유지하였다. 고전압 회로는 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일에 합침하였다. 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 최대한의 노이즈를 제거하였고 문턱 준위는 증폭된 신호를 0.03[V]로하여 확실한 음향 신호를 얻을 수 있었다. 자체 제작한 부분방전 감지 시스템은 같은 방법으로 전압을 인가하였으며 High Pass Filter를 사용하여 전원 주파수를 제거하였다. 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 채널1에 입력하여 인터페이스를 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 재료 크로스점을 42개의 위상각으로 구분하여 각위상각 구간 마다 1분 동안의 펄스를 평균한 값으로 사용하였다. 그림 2-1에 부분방전 측정 장치도를 나타내었고 그림 2-2에 복합시스템 장치도를 나타내었다.

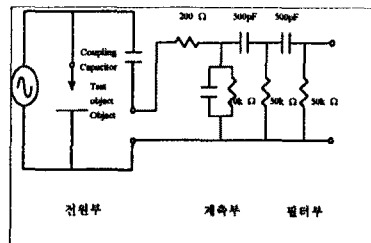


그림 2-1 부분방전 측정 장치도
 Fig. 2-1 A set up of partial discharge measurement

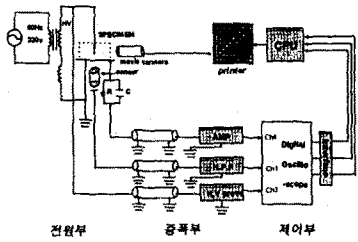


그림 2-2 복합시스템의 실험장치 블록선도
Fig. 2-2 A experiment device blockdiagram of Sensing system

3. 실험 결과 및 검토 고찰

3.1 복합 시스템 활용을 위한 상호간의 회귀분석[5][6]

무보이드 시편(LDPE)에 각각 전압 10[kV]을 인가할 때 발생하는 부분방전의 평균펄스진폭(이하 PD라 약한다), 음향방출 평균 펄스진폭(이하 AEA라 약한다.)을 동시에 계속하였다. 여기에서 발생하는 부분방전 펄스와 음향방출 펄스를 회귀분석하여 각각의 정량적인 파라메타로 선형성 여부를 논한 후, 상호간의 장점을 이용하여 열화의 정보로 이용하였다.

그림 3-1은 무보이드 시편에서 PDA와 AEA상호간의 회귀분석과 통계표를 나타내고 있다. 그림 3-1을 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 y 절편이 0.231279이고 기울기 0.003193인 $y = 0.231279 + 0.003193x$ 인 회귀선에 대해 AEA의 관찰값이 흩어져 있음을 나타내고 있다.

다음은 통계표에 의하여 정량적인 값으로 비교해 보면, PDA와 AEA의 선형 관련성의 여부를 결정 하는 상관계수(r)는 33%로서 낮은 선형 관련성을 보이고 있다. 상관계수가 33%가 된다는 것은 PDA와 AEA에서 얻은 값을 단독으로 상호 비교 할 때 33% 정도의 관련성이 있다고 할 수 있다. PDA와 AEA의 값을 복합적으로 이용하기 위해서는 두 관계를 하나의 정량적인 값으로 표현할 필요성이 있다. 이 값이 바로 결정계수이다. 먼저 PDA와 AEA 값에 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 열화감지에 많은 도움을 준다.

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

(a) PDA와 AEA의 회귀 통계표

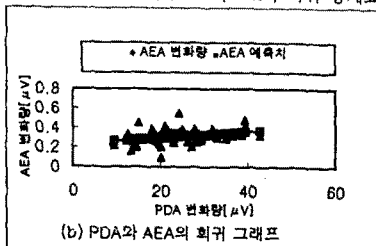


그림 3-1 부분방전의 평균펄스진폭(PDA)과 음향방출 평균펄스진폭(AEA) 상호간의 (a)회귀분석 통계표와 (b)그래프 (무보이드)

Fig.3-1 The regression analysis and statistical table of correlation between PDA and AEA (No void)

3-2. 복합 시스템을 이용한 코로나 방전시 ϕ -PDA-t와 ϕ -AEA-t 특성

코로나가 발생하면 코로나의 전류는 1[μ A]정도로 한 점에서 나오는 전류는 적지만 전 구간을 합하면 상당한 전력 손실을 가져오게 되며, 전파장이나 급속도체를 부식시키며 유기물 절연체를 열화시키는 원인이 되고 특히 고주파 코로나의 해는 더욱 크다는 것이다. 코로나가 발생시 부분방전 진폭과 음향방출 진폭은 현저하게 차이가 나고 있음을 그림 3-2와 3-3에서 볼 수 있다. 열화초기(1분에서 10분 사이)에 부분방전 진폭은 넓은 위상 영역에서 진폭이 큰 펄스가 발생하고 있고 음향방출 진폭은 변화가 없음을 볼 수 있다. 이는 코로나가 발생시 3차원 분포양상으로 만별이 가능함을 볼 수 있고 부분방전은 코로나의 영향을 많이 받고 음향방출 진폭은 영향을 받지 않음을 볼 수 있다.

3-3. G, C 파라메타에 의한 파괴예지[7] 본 연구에는 부분방전 분포의 형상을 나타내는 파라메타로서 분포의 중심 G값과 경도 C값을 정의하여 파괴예지로의 유효성을 검토하였다. 이들의 파라메타는 파괴의 전조현상이라 생각되어지는 방전의 군소화를 상징하며 또 검보기 부분방전 펄스의 값을 이용해서 다른 실험계로의 적용 가능성이 높다고 생각된다.

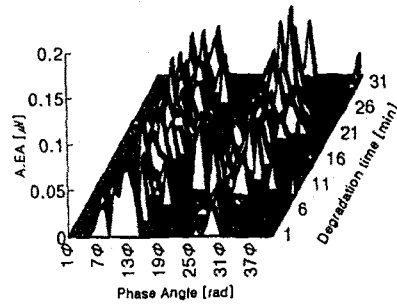


그림 3-3 부분방전 중의 음향방출 진폭 (무보이드)

Fig. 3-3 The acoustic emission in the partial discharge (No void)

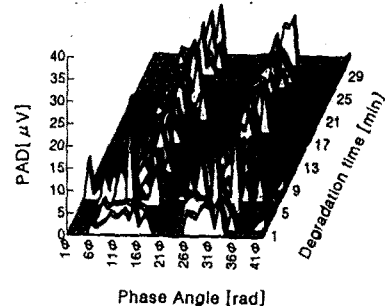


그림 3-2 부분방전 중의 코로나 방전의 진폭 (무보이드)

Fig. 3-2 The corona discharge in the partial discharge (No void)

파라메타에 의한 파괴예지의 판별기준은 G값이 증가하고 C값이 감소할때 방전의 군소화가 일어나며 이 때가 파괴의 전조현상일 것이다. 많은 시편이기 때문에 방전이 군소화하여 트리가 발생하면 단시간에 파괴에 이르는 것이라 생각하여 실험결과에 의한 데이터도 이 값을 기준으로 파괴를 예지 하였다.

그림 3-4는 PDA와 PDN간의 G값의 시간 변화를 나타낸 그래프로서 7-10분 사이에 최초의 방전 군소화가 일어났고 이때에 각종 파라메타를 이용하여 회귀분석에 의거하여 파괴를 예지해 보았다. 열화가 진행됨에 따라서 군소화가 몇번 더 발생하는 것은 열화 면적이 넓어져서 각각의 가지마다 독립적으로 방전이 발생하는 것으로 사료되며 G값이 적어지고 C값이 증가하는 것으로 보아 열화중기를 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다.

그림 3-5는 PDA와 PDN간의 C값의 시간변화를 나타내는 것으로서 3-4와 같이 위상 영역이 8과 9에서 C파라메타를 나타내는 것으로 7분에서 10분 사이에 C값이 감소하고 있음을 보여주고 있다. 이는 G파라메타와 비교하여 좋은 대조를 보여주고 있다. 그

르므로 이 그림에서 파괴의 전조에 C값의 감소에 의해 파괴예지가 가능하다. 이와 같은 C값 G값은 같은 방전의 군소화를 포착하기 위한 파라메타이지만 G값보다는 C값이 보다 군소화를 명확히 표시하는 경우가 많다.

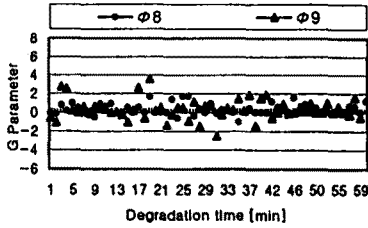


그림 3-4 PDA 와 PDN 간의 무게중심 G값의 시간 변화(무보이드)

Fig. 3-4 The variation of G-parameter between PDA and PDN in each phase (No void)

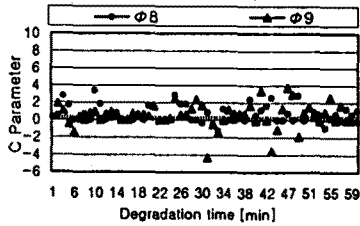


그림3-5 PDA 와 PDN간의 경도(C)의 시간 변화 (무보이드)

Fig. 3-5 The variation of C-parameter between PDA and PDN in each phase (No void)

4. 결 론

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

1. 복합 시스템의 이용을 위한 부분방전 펄스와 용량방출 펄스 상호간의 회귀분석하여 얻어지는 정량적인 값과 선형적인 기울기를 상호 보완적으로 이용함으로써 부분방전을 효과적으로 감지할 수 있다.
2. 코로나가 발생시 3차원 분포상으로 코로나 유무의 판별이 가능함을 볼 수 있고 부분방전 펄스는 코로나의 영향을 많이 받고 용량방출 진폭은 영향을 받지 않음을 볼수있다. 이는 복합 시스템의 효과적인 이용이라 생각된다.

3. 수명추정을 위한 G, C파라메터

- 1) 파라메터에 의한 파괴예지의 판별기준은 G값이 증가하고 C값이 감소할때 방전의 군소화가 일어나는데 이는 파괴의 전조현상을 알 수 있다.
- 2) G값이 적어지고 C값이 증가하는 현상일 때는 열화중기를 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] L.A Dissade, J.C Fothergill, Electrical Degradation and Breakdown in Polymers Peter Peregrinus, 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] 박석윤외 3명, "통계학개론", 정익사, pp. 431~464, pp. 189~237, 1989
- [7] Tairo et. al., Prediction of Breakdown by Void Discharge Aging ", JIEE Vol. 110, No. 11, pp. 1990