

회귀분석을 이용한 절연열화의 수명예측

A Life Prediction of Insulation Degradation Using Regression Analysis

김성홍* 광운대학교 전기공학과
김재환 광운대학교 전기공학과
박재준 중부대학교 컴퓨터공학부
김순기 호서대 전자공학과
심종탁 광운대학교 전기공학과
최재관 광운대학교 전기공학과
이영상 광운대학교 전기공학과

Sung-Hong Kim* Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University
Jae-Hwan Kim Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University
Jae-Jun. Park Dept. of Computer Sci., Joong - Bu University
Soon-Gi Kim Dept. of Electronic Eng., Hoseo University
Jae-Kwan Choi Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University
Jong-Tak Shim Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University
Yong-Sang Lee Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon University

Abstract

Treeing due to partial discharge(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, 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. 서론

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 또는 도체의 경계면에서 보이드, 갈라진 금 등의 결함이 존재하면 부분방전의 원인이 되어 재료를 열화시키고 절연파괴를 일으키게 된다. 이와 같은 현

상은 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 파피 예지를 위한 절연 열화 진단법이 확립되어야만 한다.

본 연구에서는 부분방전 감지 시스템과 음향방출 감지 시스템의 장점을 이용하여, 유중 상태 고분자 시편에서 전기적 트리를 유발시켜 트리 개시로부터 파피사까지의 트리 열화 과정을 관찰하였다.

파피를 미연에 방지할 목적으로 회귀분석을 이용하여 열화초기에 절연물의 수명추정을 함으로써 부분방전을 효과적으로 감지하는 목적으로 연구하였다.[2][3]

2. 시편제작 및 실험방법

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

그림 2-1에 복합시스템 장치도를 나타내었다. 자체 제작한 음향방출 감지 시스템의 인가전압은 11[kV] 60[Hz]이며 전압 인가방식은 승압속도 1[kV/s]로 11[kV]까지 전압을 인가한 후 파피사까지 일정하게 유지하였다. 고전압 회로는 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일에 함침 하였다.

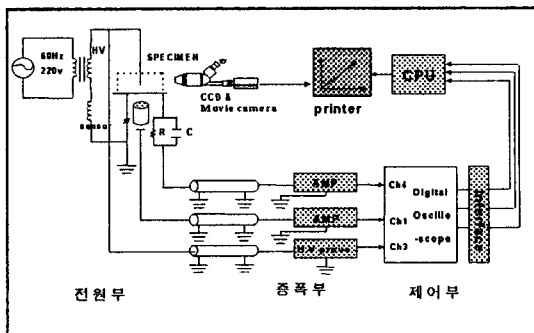


그림 2-1 복합시스템의 실험장치 블록선도
Fig. 2-1 A experiment device block diagram of Sensing system

음향센서는 공진 주파수 480[kHz]되는 PZT 변환기

를 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 인가 하였으며 High Pass Filter를 사용하여 전원 주파수를 제거 하였다.

위상각 특성을 보기 위해 인가전압을 고전압 Probc(HIP 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. Filtering 된 부분방전 펄스도 같은 방법으로 디지털 오실로스코프에 채널 4에 입력되어 PC로 전송된다.[4]

부분방전과 음향방출의 평균 펄스는 인가 전압 1 사이클을 정의 제로 크로스점을 42개의 위상각으로 구분하여 각위상각 구간 마다 1분 동안의 펄스를 평균한 값으로 사용하였다.

3. 실험 결과 및 검토 고찰

3-1. G, C 파라메타에 의한 파피예지[6]

본 연구에는 부분방전 분포의 형상을 나타내는 파라메타로서 분포의 중심 G값과 경도 C값을 정의 하여 파피예지의 유효성을 검토하였다.

파라메타에 의한 파피예지의 판별기준은 G값이 증가하고 C값이 감소할때 방전의 균소화가 일어나며 이 때가 파피의 전조현상일 것이다. 얇은 시편이기 때문에 방전이 균소화하여 트리가 발생하면 단시간에 파피에 이르는 것이라 생각하여 실험결과에 의한 데이터도 이 값을 기준으로 파피를 예지 하였다.

그림 3-1은 PDA와 PDN간의 G값의 시간 변화를 나타낸 그래프로서 7~10분 사이에 최초의 방전 균소화가 일어났고 이때에 각종 파라메타를 이용하여 회귀분석에 의거하여 파피를 예지해 보았다. 열화가 진행됨에 따라서 균소화가 몇번 더 발생하는 것은 열화 면적이 넓어져서 각각의 가지마다 독립적

으로 방전이 발생하는 것으로 사료되며 G값이 적어지고 C값이 증가하는 것으로 보아 열화중기를 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다.

그림 3-2는 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. 그러므로 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.

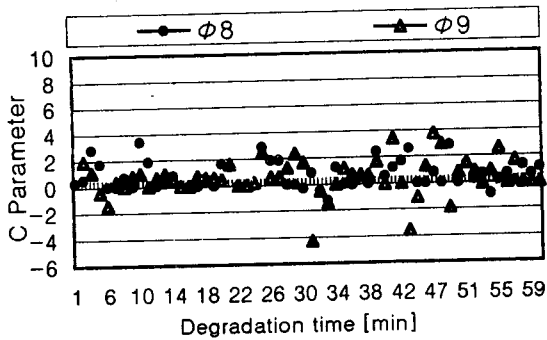


그림3-2 PDA 와 PDN간의 경도(C)의 시간 변화 (무보이드)

Fig. 3-2 The variation of C-parameter between PDA and PDN in each phase(No void)

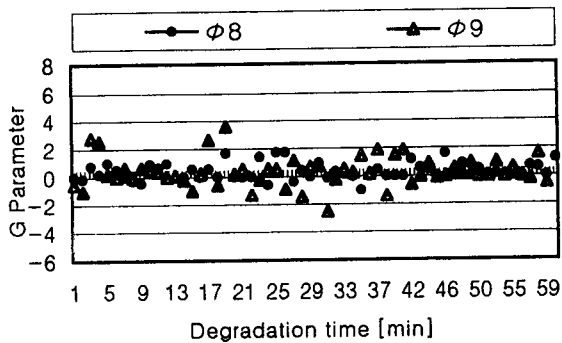


그림 3-1 PDA 와 PDN 간의 무게중심 G값의 시간 변화(무보이드)

Fig. 3-1 The variation of G-parameter between PDA and PDN in each phase(No void)

3-2. 회귀분석에 의한 수명추정[6,7]

1 차 회귀분석 식을 나타내면 각각 아래의 식과 같다.

$$L_1 = 58.33987 - 0.3128QA \dots\dots\dots(1)$$

$$L_2 = 45.00793 + 9.28631QN_s \dots\dots\dots(2)$$

$$L_3 = 50.5668055 + 1.67246QA_s \dots\dots\dots(3)$$

$$L_4 = 65.222261 - 3.05717QN_k \dots\dots\dots(4)$$

$$L_5 = 53.4977531 - 0.4703757QA_k \dots\dots\dots(5)$$

$$L_6 = 49.8543802 + 0.97228886AEN_s \dots\dots\dots(6)$$

$$L_7 = 50.40207862 + 2.305954AEN_k \dots\dots\dots(7)$$

$$L_8 = 51.3389 - 0.33596AEA_k \dots\dots\dots(8)$$

이들의 식에서 추정할 수 있는 수명의 예를 표3-1에 나타내었다. 이들의 실제 수명은 (a)가 67분 (b)가 63분을 나타내고 이 결과에 대하여 (1) ~ (8) 식에서 수명 추정치 값을 구하였다. 비교적 부분방전 펄스의 값이 잘 일치 하였으며 다른 계량의 결과는 다소 차이가 나지만 많은 데이터를 축적하는 것에 의해 추정정도도 향상하는 것이 기대되며 열화진단을 행할 때에 그 초기에 있어서 어느 정도의 수명추정을 행할 수 있는 것이 열화 진단을 행하데 있어서 유효하리라 기대된다.

표 3-1 회귀 분석에 의한 수명추정 값

Table 3-1 Estimated values by the regression analysis

	a	b
실제수명 (Life[time])	67	63
예측수명(QA)	50	59
예측수명(QN _s)	57	51
예측수명(QA _s)	46	48
예측수명(QN _k)	51	52
예측수명(QA _k)	49	63
예측수명(AEN _s)	49	59
예측수명(AEA _s)	43	56
예측수명(AEN _k)	50	50

4. 결 론

자체 개발한 부분방전 감지 시스템과 음향방출 감지 시스템을 복합적으로 이용하여 LDPE의 열화 현상을 동시에 자동으로 계측하여 열화진단과 수명 추정을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수명추정을 위한 G, C파라미터

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

2. 회귀분석에 의한 수명추정

- 1) 이들의 실제 수명은 (a)가 67분 (b)가 63분을 나타내고 비교적 부분방전 펄스의 값이 잘 일치 하였으며 다른 결과도 다소 차이는 나지만 많은 데이터를 축적하는 것에 의해 추정정도도 향상될 것으로 기대된다.
- 2) 열화진단을 행할 때에 그 초기에 있어서 어느 정도의 수명추정을 행할 수 있는 것이 열화 진단을 행하는데 있어서 유효하리라 기대된다.

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 Treecing 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.
- [6] Tairo et. al., Prediction of Breakdown by Void Discharge Aging ", JIEE Vol. 110, No. 11, pp. 1990 .
- [7] 박석윤외 3명, 통계학개론, 정익사, pp. 431~464, pp. 189~237, 1989.