

절연재료의 수명예측을 위한 프로그램개발에 관한 연구

A study on development of program for estimation the Lifetime of insulating materials

박성민*, 배덕권*, 정인재**, 박우현***, 이기식****, 이준웅*****
(Sung-Min Park, Duck-Kweon Bae, In-Jae Jeong, U-Hyun Park, Ki-Sik Lee and Joon-Ung Lee)

Abstract

Today, electrical machine is being large capacitor and EHV(Extra High Voltage) of power equipment is a need of high reliability of insulating materials . Therefore, it is a need of fixed appraisalment of lifetime to used data of breakdown.

This paper studied a development of the program for estimation the lifetime of insulating materials and the long-time breakdown voltage by experimentation.

The estimation program is based on the "Inverse Power Law", defined $V^n t$ is constant. After gaining the life exponent n , it is mapping the long-time breakdown voltages. On the base of life exponent, the estimation of lifetime and usefulness of the insulation systems are possible, furthermore easy calculation is possible.

1. 서론^{[1],[2]}

오늘날 산업의 발전으로 인하여 대도시와 같은 부하집중지역이 증가 되고있어, 전력설비가 대용량화 그리고 초고압화로 진행되고 있다.

-
- * : 광운대학교 전기공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax: 02-942-0107,
E-mail: minipark@emlab2.kwangwoon.ac.kr)
 - ** : (주)일진산전
(경기도 화성군 태안읍 안녕리 112-88)
 - *** : (주)나라기술단
(서울시 강남구 논현동 86-4 호림B/D)
 - **** : 단국대학교 전기공학과
(서울시 용산구 한남동 산8)
 - ***** : 한국전기전자재료학회 학회장
(서울시 강남구 역삼동 과학기술회관 본관 609호)

이러한 현실에서의 안정된 전력 전송을 위하여 절연 시스템의 고신뢰성이 요구되고 있다.

현재 고신뢰성 절연재료의 연구·개발이 진행되고 있으나 이 밖의 시간 경과에 따른 재료의 수명 예측 또한 신뢰도 높은 전력 공급을 위해서 중요한 부분으로 대두되고 있다. 따라서 수명시간 및 절연파괴에 관한 데이터를 정량적인 가속화 예측으로 설비의 적절한 교체시기의 설정을 평가할 필요가 있다.

본 논문에서는 절연재료의 V-t 특성을 이용하여 수명예측을 위한 프로그램을 개발하였고, 이를 이용한 유기고분재료인 에폭시와 절연유의 수명예측을 행하였다.

2. 프로그램 작성

2.1 Inverse Power Law^{[3],[4]}

$V^n t$ 가 일정함을 이용하여

$$V_1^n t_1 = V_2^n t_2 = Const. \quad (2-1)$$

$$V_1^n = V_2^n \frac{t_2}{t_1} \quad (2-2)$$

$$n \log V_1 = n \log V_2 + \log \frac{t_2}{t_1} \quad (2-3)$$

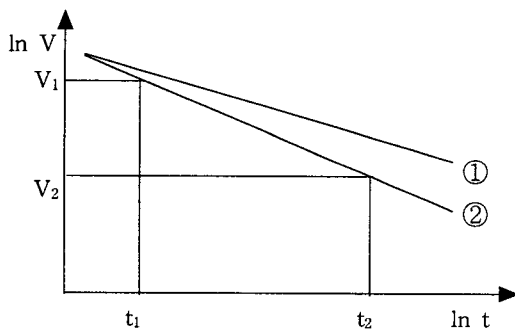
$$n(\log V_1 - \log V_2) = \log \frac{t_2}{t_1} \quad (2-4)$$

n 에 대해서 정리하면,

$$n = \frac{\log \frac{t_2}{t_1}}{(\log V_1 - \log V_2)} \quad (2-5)$$

각 값(V_1, V_2, t_1, t_2)들로부터 식 (2-5)을 이용하여 적당한 n 값을 정하며 수명 지수 n 이 정해지면 이 식에 대입하여 파괴 전압과 시간과의 관계를 추정할 수 있다.

그림 2-1은 수명지수에 따른 열화 속도의 변화를 개략적으로 나타낸 그림이다.



- ① 수명지수 大: 열화속도 느림
- ② 수명지수 小: 열화속도 빠름

그림 2-1 수명지수에 따른 열화 속도

2.2. 프로그램 작성

본 프로그램은 위에서 보인 Inverse Power Law를 기반으로 C++를 컴파일러로 사용하였다.

실험을 통한 시료의 순간파괴값(V_1, t_1)과 순간파괴값 이하의 임의의 일정전압(V_2)의 파괴 시간(t_2)을 입력하여 결과로 수명지수 n 값을 구하고 이것들로부터 시간의 변화에 따른 파괴 전압을 예측하는 수명그래프를 나타내었으며, 시간변화에 따른 파괴수명값을 얻었다.

프로그램에 관한 흐름도는 다음 그림 2-2와 같다.

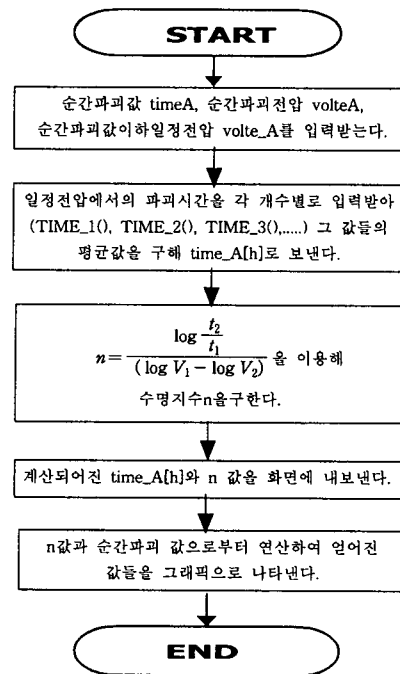


그림 2-2 프로그램에 관한 흐름도

3. 예측결과 및 검토^{[5],[6]}

각 시료의 순간파괴값은 10번의 실험치의 평균값을 사용하였으며, 교류를 1[kV/sec]인 승압 속도로 인가하였다.

절연재료인 Epoxy의 파괴실험에서는 스테인레스인 구전극(지름 3.96[mm ϕ])과 Silver Paste로 평판전극(10[mm ϕ])을 구성하여 사용하였으며, 전극간

격은 100[μm] 이고 순간파괴전압은 8.5[kV]로 측정되었다.

아래 표3-1은 Epoxy의 순간파괴값 이하의 일정 전압 인가 시 얻어지는 파괴시간을 나타낸다.

표3-1 Epoxy의 파괴시간

인가전압 [kV]	t1 [min]	t2 [min]	t3 [min]	t4 [min]	t5 [min]
6	53	56	63	64	66

실험에서 얻어진 값들을 프로그램에 적용하여 실행하면 그림3-1과 그림3-2와 같은 과정을 통하여 그림3-3의 결과그래프를 얻을 수 있다.

본 프로그램의 결과로서 Epoxy의 수명지수 $n=17.4$ 이며, 각각의 10년 후, 20년 후, 30년 후의 예측되는 파괴전압값은 6.5[kV], 5.5[kV], 3[kV]이다.

```

순간 파괴값을 입력합니다.
평균 파괴 시간(단위는 [min]) : 0.14
평균 파괴 전압(단위는 [kV]) : 8.5
순간 파괴전압 이하에서의 측정치를 입력합니다.
순간파괴값 이하에서 측정된 기준 전압(단위는 [kV]) : 6
일정 전압에 따른 파괴시간 값은 몇개입니까? (숫자로 기입) : 5
1번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 53
2번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 56
3번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 63
4번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 64
5번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 66
    
```

그림 3-1 Epoxy파괴의 프로그램 실행과정 1

```

순간 파괴전압 이하에서의 측정치를 입력합니다.
순간파괴값 이하에서 측정된 기준 전압(단위는 [kV]) : 6
일정 전압에 따른 파괴시간 값은 몇개입니까? (숫자로 기입) : 5
1번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 53
2번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 56
3번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 63
4번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 64
5번째 파괴 시간을 입력하십시오(단위는 [min]) : 66
평균 파괴 시간 : 60.400
수명지수 n = 17.419
입력값이 맞으면 1을 입력하세요
    
```

그림3-2 Epoxy파괴의 프로그램실행과정 2

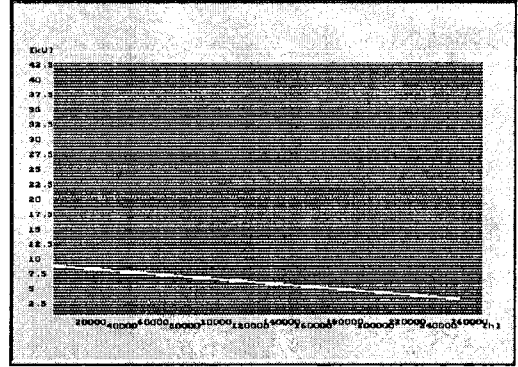


그림3-3 Epoxy파괴의 프로그램 결과그래프

Epoxy/EPDM 계면의 파괴실험은 전계의 방향이 Epoxy와 EPDM의 계면 방향으로 되도록 전극의 형상을 설계하였다. 사용된 전극은 직경 3.96[mm \varnothing]의 스테인레스 구(球) 전극과 직경 1[mm \varnothing]인 구리 원통전극을 결합하였으며, 전극 밑 부분과 계면 사이의 거리는 50[μm]이다. 순간파괴평균전압은 38[kV]이다.

표3-2는 Epoxy/EPDM 계면의 순간파괴값 이하의 일정전압에서의 파괴시간을 나타낸다. 이때 인가전압은 25[kV]와 30[kV]로 변화를 주어 비교하였다.

표3-2 Epoxy/EPDM 계면의 파괴시간

인가전압 [kV]	t1 [min]	t2 [min]	t3 [min]	t4 [min]	t5 [min]
25	510	600	1182	1218	1470
30	42	44	55	63	120

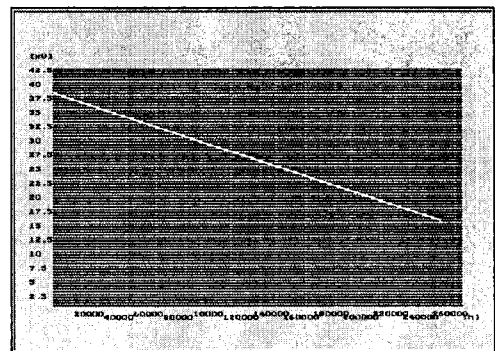


그림3-4 25[kV]인가한 Epoxy/EPDM 계면의 프로그램결과그래프

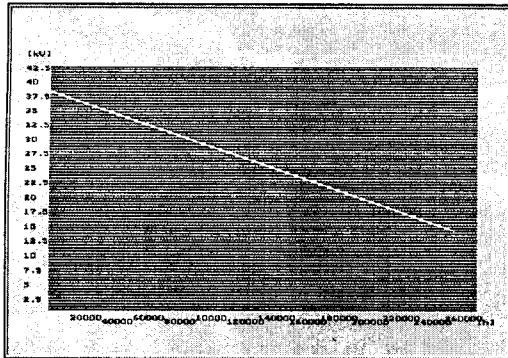


그림3-5 30[kV]인가한 Epoxy/EPDM 계면의 프로그램결과그래프

위의 그림3-4와 그림3-5는 각각의 Epoxy/EPDM 계면에 25[kV]와 30[kV]의 전압 인가 시에 얻어지는 프로그램의 결과 그래프이다. 프로그램의 결과로 수명지수는 25[kV]는 $n=19.6$, 30[kV]는 $n=17.59$ 이다.

그리고 각각의 인가전압에 따라서 Epoxy/EPDM 계면의 시간변화에 예측되는 파괴전압은 다음 표 3-3에 나타내었다.

표3-3 시간변화에 따른 절연유의 파괴전압예측

인가전압	n	10년[kV]	20년[kV]	30년[kV]
25[kV]	19.6	30	22.5	17.5
30[kV]	17.59	28	21	13.6

4. 결론

본 연구에서 파괴 시간에 따른 수명 진단을 통하여 장기적인 성능을 사전 평가, 기기나 설비의 고장, 그리고 앞으로의 기기, 설비에 발생할 수 있는 사고를 미리 예측해 볼 수 있는 다음과 같은 결과를 나타내었다.

먼저 프로그램을 통한 수명예측으로 절연시스템의 사전 평가가 가능해지며, 보다 간편하게 절연시스템의 수명지수 계산이 가능해졌다. 그리고 수명지수를 기준으로 한 절연시스템 수명예측의 가능성으로, 설계 시 수명지수에 의한 시스템의 절연 두께를 산정 할 수 있다. 절연재료의 각 시스템의 적합 여부 판별 또한 용이하게 되었다.

참고 문헌

- [1]. J. J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon Press. Oxford, 1973
- [2]. 加門 "エポキシ樹脂プレポリマーの構造の物性", 高分子論文集, Vol. 34, No. 12, pp.833-841, 1977.
- [3] IEEE Standard 275-1981, Recommended Practice for thermal Evaluation of Insulation System for ac Electric Machinery Employing Form-wound Preinsulated Coils for Machines Rated 6900 V and Below, 1981.
- [4]. IEC Standard 216, Guide for Determination of Thermal Endurance Properties of Electrical Insulating Materials, (Parts 1 to 4), 1990.
- [5] 足立敏夫, 黒坂紘, 佐川博敏, 岡山清明, "グリシジルエーテル系エポキシ樹脂 特殊なエポキシ樹脂: 新エポキシ樹脂, 昭光堂, pp.15-97, 1985
- [6] 元起巖, 時光 富士雄, 喘貫 勇次郎, "エポキシ樹脂の柱形技術と應用", 富士時報, 第47巻. 第8號, pp.25-30, 1974