

변전설비 유지보수를 위한 신뢰성평가기술

선종호*, 김광화*, 홍정기**, 최영준**, 신양섭***, 이용희***

*한국전기연구원 ** (주)호성 ***LS산전(주)

Reliability Evaluation Technology for management of Substation Power Equipments

J. H. Sun, K. H. Kim, C. K. Hong, Y. C. Choi, Y. S. Shin, Y. H. Lee

Abstract - 전력기기가 고급화, 복잡화, 고기능성을 요구하면서 고신뢰도 설계를 위한 신뢰성 기술이나 고장없이 일정기간동안 사용하기 위한 품질관리활동의 중요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 시스템이나 이를 구성하고 있는 부품의 성능에 대한 신뢰도를 분석해서 설계 및 보수기술에 적용해야 한다. 본 연구에서는 신뢰도 평가를 기반으로하는 변전기기의 유지보수를 위하여 이에 필요한 점검주기, 수명산출, 고장모드와 영향평가 등과 같은 신뢰도 평가기술에 관하여 논하였다.

1. 서 론

고도의 정보화 사회의 확대에 수반하여 전력의 안정공급의 중요성은 더욱 더 높아 지고 있다. 전력의 안정공급을 위하여 전기설비의 신뢰성에 대한 요구는 계속 증가하고 있으며 순간의 정전도 허용되지 않고 있다. 전력의 안정된 공급을 위하여 전력설비의 신뢰성 향상과 고장 등에 의한 정전이 발생되지 않도록 해야 하며 그에 따라 보수관리의 중요성도 더욱 커지고 있다. 그러나 이와 같은 상황에서 시대적 흐름으로 유지보수에 필요한 인력은 감소하고 있어 전력설비의 보수를 지원하는 새로운 감시기술, 진단기술, 신뢰성 평가기술 등 전력설비의 유지보수에 필요한 여러 가지 기술의 지원이 강하게 요구되고 있다.

전력설비의 유지보수를 지원하는 기술은 대상 부품 또는 시스템의 수명예측에 의한 고장예방에 있다. 전력설비의 유지보수를 효율적으로 하기 위해서는 초기 고장율을 낮추고 마모특성을 일정하게 하여 고장율에 대한 신뢰성을 향상시키고 경제적인 점검주기나 교체주기를 설정하여 고장율을 낮추어야 한다. 이와 같은 방법으로 고장율을 저감시키기 위해서 고장모드와 영향평가 등을 실시하여 전력기구나 그 부품의 중요도를 분석하고 고장율이나 평균수명 등의 산출에 의한 통계적인 수법을 기반으로 한 신뢰성 분석을 실시하여야 한다.

본 연구에서는 변전설비 유지보수를 위한 신뢰성 평가 기술에 관하여 논 하였다. 신뢰성 평가에 필요한 정보를

고려한 고장자료 수집 방법과 수집된 고장자료를 이용한 고장모드와 영향평가 실시방법, 이를 이용한 치명도 계산방법, 와이블 분포 그래프를 이용한 점검주기 및 수명 산출방법 등에 관하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 고장자료 수집방법

전력기기는 운전중 고장이 발생하며, 사용되는 전력기기의 마모특성이 일정할 경우 같은 제조회사나 일정한 환경에서 사용되는 전력기기는 일정 사용기간이 경과하면 고장을 보이게 된다. 이와 같은 마모특성을 이용하면 고장전에 점검을 하거나 부품의 교체를 통하여 고장을 예방할 수 있다. 그러나 일정한 마모특성을 보이지 않는 기기에 대하여 유지보수 시기를 적용하게 되면 잦은 점검 및 교체주기 적용으로 비용이 과다해 지거나 늦은 주기로 유지보수 행위전에 고장이 일어날 수 있다. 그러므로 통계적 방법에 의한 신뢰성 평가를 이용한 유지보수는 실제 고장자료를 이용하여 고장상태를 평가한 후 정상적인 마모성 고장에 대하여 유지보수 방법을 제시하고 초기고장이나 외력에 의한 고장은 부품의 중요도에 따라 설계변경이나 제조공정 변경 또는 재료관리를 통하여 고장율을 저감시킬 필요가 있다. 이렇게 되기 위해서는 우선 신뢰성 있고 유용한 현장 고장 데이터가 확보되어야 한다. 현장고장데이터는 실제 현장의 설비 담당자를 통하여 얻을 수 있지만 자유형식으로 고장데이터를 받으면 사용하고 있는 용어 등의 차이로 의사전달이 잘 못 되어 고장현상이나 원인 등의 분류가 잘 못 되어 고장모드와 영향평가나 수명산출 등이 잘 못 해석 될 수 있다. 그러므로 이와 같은 오류를 줄이기 위해서는 고장정보를 얻을 수 있는 고장조사양식을 사용하는 것이 바람직하다. 표 1은 전력용 변압기의 고장을 조사하기 위한 양식의 예이다. 표 1에서와 같이 구성은 세부적인 해당 부품과 열화모드, 열화원인, 설치 및 수리시기 등으로 되어 있으며 이 들 고장내용은 수명평가나 고장모드와 영향평가에 활용한다.

표 1 전력용변압기 고장데이터 조사 양식 예

구성재료(소재)			열화모드 (표현방법)	열화 추정원인 (진전요인)	최초설치 시기	이전수리 시기	수리 시기
1차	2차	3차					
변성부 ()	고압권선 () 저압권선 () 3차권선 () 기타: ()	동선 () 알루미늄 선() 기타: ()	균열() 침식() 단선() 용단() 탄화() 기타: ()	열() 충격하중() 세지침입() 부하고장전류 () 절연열화 () 접지간단락 () 턴간단락 () 층간단락 () 고지압간단락 () 상간단락() 기타: ()			
	철심 ()	방향성 규소강판 () 접지선 () 볼트 () 기타: ()	발청() 침식() 탄화() 기타: ()	수분() 와전류() 순환전류() 아크() 기타: ()			
절연부							

2.2 통계적 정보량 결정

고장자료가 조사되면 내용을 이용하여 유지보수에 필요한 고장율, 평균 사용시간, 평균수명시간 등을 결정할 수 있다. 여기서는 유지보수에 중요한 항목인 평균 사용시간과 수명을 결정하는 방법에 대하여 살펴보고자 한다. 평균 사용시간과 수명을 결정하기 위해서는 각 부품의 고장이 어떠한 통계적 분포함수를 따르는 있는가가 결정되어야 한다. 일반적으로 사용되고 있는 고장분포함수는 지수분포함수, 와이블분포 함수, 정규분포함수 등이 있으며 각 부품에 대하여 이전에 조사된 통계분포함수 있을 경우에는 그 분포함수를 사용하면 되지만 전력기기의 경우에는 거의 이러한 경험치 없는 것으로 알려져 있다. 이 경우에 있는 모든 분포함수 특성을 모두 가지고 있는 와이블분포 함수가 가장 많이 사용된다. 따라서 본 논문에서도 와이블 분포함수를 이용하여 고장이 발생된 시료만에 의한 평균수명과 고장이 발생하지 않은 경우의 시료를 포함했을 때의 평균수명을 산출하는 것을 예를 통하여 설명하고자 한다. 식(1)은 와이블 분포의 고장확률함수를 나타낸다.

$$F(E) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{E - EI}{Es}\right)^m\right] \quad (E \geq EI)$$

$$= 0 \quad (E < EI)$$

E: 성능치 또는 시간

EI: 위치모수, Es : 척도모수, m: 형상모수

표 2는 문헌에서 조사된 가상시료의 고장시간과 사용시간을 나타내고 있다. 표 2의 시료70개에 대하여 고장 유형과 고장 시료의 평균고장시간과 고장이 발생하지 않은 시료를 포함한 시료전체의 평균수명시간을 구하였다.

표 2 시료의 고장시간분포

시료 번호	시간	시료 번호	시간
1(70)	4500*	19(52)	22000
2(69)	4600	20(51)	30000
3(68)	11500*	21(50)	30000
4(67)	11500*	22(49)	30000
5(66)	15600	23(48)	30000
6(65)	16000 *	24(47)	31000*
7(64)	16600	25(46)	32000
8(63)	18500	26(45)	34500*
9(62)	18500	27(44)	37500
10(61)	18500	28(43)	37500
11(60)	18500	29(42)	41500
12(59)	18500	30(41)	41500
13(58)	20300	31(40)	41500
14(57)	20300	32(39)	41500
15(56)	20300	33(38)	43000
16(55)	20700*	34(37)	43000
17(54)	20700*	35(36)	43000
18(53)	20800*	36(35)	43000

시료 번호	시간	시료 번호	시간
37(34)	46000*	54(17)	78000
38(33)	48300	55(16)	78000
39(32)	48500	56(15)	81000
40(31)	48500	57(14)	82000
41(30)	48500	58(13)	85000
42(29)	50000	59(12)	85000
43(28)	50000	60(11)	85000
44(27)	50500	61(10)	87500
45(26)	61000	62(9)	87500
46(25)	61000*	63(8)	87500*
47(24)	61000	64(7)	94000
48(23)	61000	65(6)	99000
49(22)	63000	66(5)	101000
50(21)	64500	67(4)	101000
51(20)	64500	68(3)	101000
52(19)	67000	69(2)	101000
53(18)	74500	70(1)	115000

(*는 고장시료)

표 2의 고장시료에 대한 와이블 분포는 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 누적확률 63.2%에서의 고장시간인 평균 고장시간은 약 38,000시간정도(4.3년)로서 전력 기기의 수명을 30년으로 볼 때 정상적인 마모에 의한 고장이라고는 볼 수 없다.

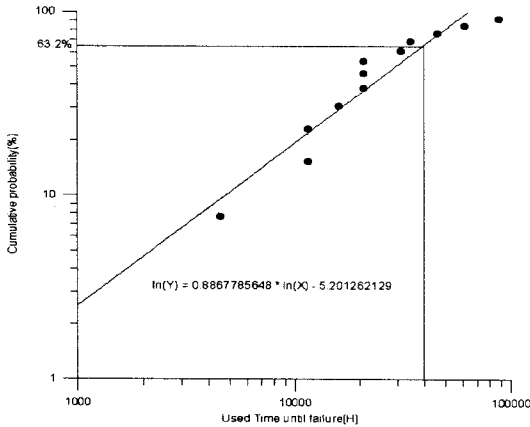


그림 1 와이블 분포

또한 와이블 분포에서는 형상모수 m 을 구하면 고장유형을 알 수 있는데 그림 2는 고장데이터에 대한 기울기를 구하기 위한 그래프를 보여주고 있다. 와이블 분포에서 일반적으로 사용되는 형상모수 크기에 의한 고장유형을 살펴보면 $m < 1$: 초기형고장, $m = 1$: 우발형고장, $m > 1$: 마모형고장으로 분류된다. 그림 2에서 형상모수는 약 1.24로서 마모형의 고장유형을 보여주고 있다. 그림 1과 그림 2의 결과로부터 표 2의 부품의 고장은 평균 4년 이내에 고장이 집중되어 나타나는 것으로 생각할 수 있다.

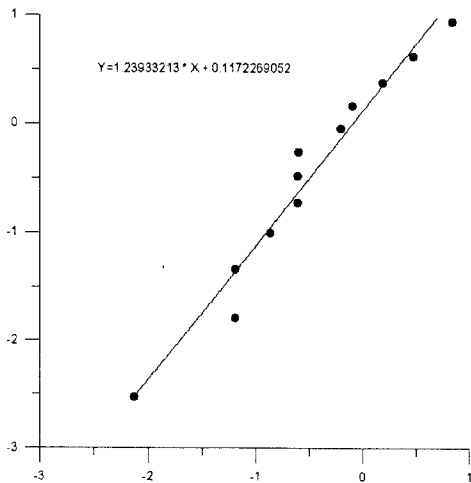


그림 2 형상모수를 구하기 위한 그래프

한편 위의 그림 1에서 구한 고장평균시간은 고장시료만 적용한 것이므로 평균수명이라고 할 수 없다. 평균수명은 고장시료에 실제 고장이 발생하지 않은 시료의 사

용시간도 포함해서 구해야 하며 이는 와이블 분포를 이용한 해저드 분석에서 구할 수 있다. 그림 3은 해저드 분석으로부터 구한 그래프를 보여주고 있으며, 종축에 와이블 누적확률 대신에 해저드 누적확률을 사용한다. 그림 3에 의하면 표 2의 시료들의 평균수명은 해저드 누적확률 100%(와이블 누적확률 63.2%)에 해당하는 값인 약 250,000시간(28.5년)으로서 그림 1에서 구한 평균 고장시간보다는 매우 긴 것으로 나타났다.

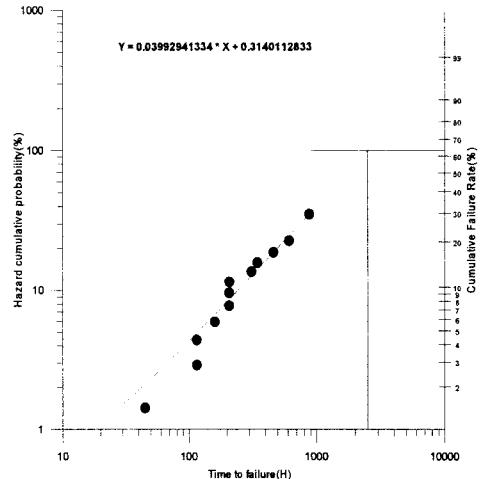


그림 3 해저드 분포

2.3 고장모드분석과 영향평가

그림 2에서 형상모수에 의한 고장유형을 구하는 예에서 고장유형이 마모형으로 나타났지만 실제 기울기 m 이 충분히 크지 않아서 초기형이나 우발형으로도 판별할 수 있다. 이 경우 제품에 대한 신뢰성은 저하되므로 이를 예방하기 위하여 고장모드분석과 영향평가가 실시되어야 한다. 이 분석법은 품질개선 활동, 고장원인분석, 신뢰성 시험항목 결정 등에 효과적인 방법으로서 다음 표와 같은 순서로 실시될 수 있으며, 각 단계에서 그에 따른 효과를 기대할 수 있다.

표 3 고장모드분석과 영향평가와 그 효과

순서	실시내용	실시효과
1	고장자료 수집	
2	고장자료 분류	
3	고장모드 및 원인분석	신뢰성시험 항목결정 문제해결 매뉴얼 제공
4	치명도 결정	치명적 고장 우선방지에 따른 큰 손실 예방

먼저 1항과 2항의 고장자료 수집과 분류방법에 관해서는 표 1을 통하여 설명한 바 있으며, 3항의 고장자료

분류는 수집된 고장자료를 이용하여 결합나무분석(FTA) 분석을 실시하고 4항의 치명도 분석은 분류된 각 시스템 또는 부품에 대한 성능 개선을 위한 제작변경 및 설계개선은 물론 유지보수에 대한 우선도를 부여한다. 이를 위해서는 치명도가 수치적으로 계산되어야 하는 데 우선 치명도에 영향을 미치는 고장중요도, 고장빈도, 이상검출 방법의 용이성 등과 같은 여러 가지 변수들을 설정 하며, 설정된 각 변수들을 치명도에 영향을 주는 상태에 따라 몇 가지 단계로 분류한다. 각 단계들은 계산을 위하여 수치화되어야 하며, 각 부품들을 적절한 단계에 소속시킨다. 각 부품이 소속된 변수들의 단계에 부여되어 있는 수치들을 적절히 처리하여 치명도를 계산한다. 그림 4는 유입식변압기의 고장모드분석과 영향평가 예를 보여주고 있으며 도체절연과 절연유의 치명도는 각각 20 과 24로서 나타나서 절연유의 치명도가 더 큼을 알 수 있다. 이상에서 기술된 신뢰성 분석은 기초되는 데이터가 모두 고장자료로부터 나오기 때문에 올바른 신뢰성분석이 되기 위해서는 고장자료로부터 정확한 고장시간이나 고장원인 등을 알 수 있어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 小野寺勝重, “實踐FMEA手法”, 日科技連, 2001
- [2] 일본 전기협동연구회, “수전설비의 운영한도평가”, 제 61권 제 2호, 2005
- [3] 송준엽 외, “고장모드 및 영향, 치명도 해석”, 교우사, 2005
- [4] 일본 전기협동연구회, “劣化診斷 マニュアル”, 電氣書院, 1991

그림 4 유입식변압기의 고장모드분석과 영향평가 예

1차	2차	3차	열화모드 (표현법)	열화의 추정원인	구성재료 의 영향	고장 빈도 (1)	고장중 요도 (2)	이상 검출 도(3)	치명도 (1)X(2) X(3)
절연체	도체 절연	극간 부트 지	탄화	열 전계 수분	절연내력 저하	1	4	5	20
	절연 유	분해 가스 흡착 신	열, 산소 수분	절연내력 저하 신뢰성감	절연내력 저하	2	3	4	24

3. 결 론

본 연구에서는 변전설비의 유지보수를 위한 기본적인 신뢰성 평가기술에 대하여 살펴보았다. 신뢰성 평가를 목적으로 한 고장자료 수집방법과 이를 바탕으로 와이블 함수를 고장분포함수로 한 고장평균시간 계산방법과 고장모드분석방법, 해지드분포함수를 기본으로 한 평균수명 계산방법에 관하여 고찰하였고 마지막으로 고장나무 분석이나 치명도 산정에 필요한 시스템이나 부품에 대한 고장모드분석과 영향평가 실시방법에 관하여 살펴보았다. 이러한 과정에서 가장 중요한 것은 고장자료 수집으로서 정확한 신뢰성분석이 되기 위해서는 고장자료 조사로부터 사용기간, 고장모드, 고장원인 등의 내용을 알 수 있어야 한다.