

전력용 변압기 운전수명 특성의 통계적 분석(I)

강동식^{*)}, 김광화^{*}, 권동진^{**}, 김문덕^{**}

* 한국전기연구소, ** 전력기술연구원

The Statistical Analysis of Operating Life Characteristic on Power Transformers(I)

Dong Sik Kang^{*)}, Kwang Hwa Kim^{*}, Dong Jin Kweon^{**}, Moon Duk Kim^{**}

* Korea Electrotechnology Research Institute,

** Korea Electric Power Research Institute

Abstracts

Power transformers are the most important facilities in the substation of electrical power, yet they do not have the efficient operating life characteristics which are the important elements of repairing and maintenance in regional conditions.

This paper describes the statistical analysis of operating conditions and troubles on transformers for the operating life assessment using Statistical Analysis System programs, Hazard method and Weibull distributions. We analyze transformers in several methods, and compares correlation relationship of operating life and troubles. Therefore, this study will be the useful basic operating life prediction technique of power transformers in the future.

1. 서론

변전설비중 전력용 변압기는 발전과 송, 배전을 연결하는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 국내의 경우 1960년대 후반부터 경제개발 계획의 추진에 따라 각종산업의 발달로 전력수요가 급격히 증가되어 많은 변전설비가 설치되었으며, 현재 이들 설비 중 일부가 노후화되고 있어 예상하지 못한 변전설비 고장이 발생될 가능성이 증가하고 있는 실정이다. 이에 따른 전력공급의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 설비의 운전수명 특성에 따른 적절한 예방점검과 보수정비에 많은 노력이 필요하다.

본 논문에서는 국내에서 사용되고 있는 전력용 변압기에서 발생한 운전, 보수실적과 고장이력에 대하여 포괄적인 조사를 실시하였다. 조사한 자료로 부터 운전 및 고장 특성을 파악하기 위하여 여러가지 통계분석 방법중 Statistical Analysis System을 이용한 고차분석과 적합도 검정작업을 실시하였으며, 운전수명 특성을 도출하기 위하여 Hazard 분석방법 그리고 Weibull 분포를 이용하였다. 이를 통하여 현재 국내에서 이용되는 전력용 변압기의 파괴수명, 운전한계수명, 교체한계수명 및 운전수명에 영향을 주는 특성 인자를 찾는 분석작업을 실시하였다.

2. 운전상태 및 고장상태 조사

2-1. 전반적 현황

국내에 현재 사용되는 주요 변전기기인 전력용 변압기에 대한 현황조사 및 사용내역을 검토하였다. 또한 10년간(1984년~1993년) 고장이 발생되어 한전에 보고된 내용을 토대로하여 각종 고장내역에 대한 조사도 실시하였다.

1993년말 현재 한전에서 사용되는 전력용 변압기의 수량은 798대이며, 이들 기기중 국내제품은 704대, 외국제품은 94대로 나타났다. 외국제품은 1974년까지 주종을 이루었으나 1978년부터는 국내제품이 주종을 이루는 형태로 바뀌었으며, 1983년부터는 외국제품 변압기의 증설설치는 없어졌다.

이들 변압기를 사용년수별로 구분하면 20년 이상 사용 중인것이 65대로 전체사용수량의 8%를 차지하고 이들중 대부분인 60대는 외국제품으로 나타났다. 사용기간이 10년에서 20년 사이인 것이 192대로 전체수량의 24%를 차지하며, 사용기간이 10년 미만인 것이 541대로 전체수량의 68%를 점유하고 있었다.

2-2. 고장기 조사

고장내역에 대한 조사는 13년간(1981 - 1993년도)송변전처에서 매년 발행된 "송변전설비 사고분석 및 대책"을 통하여 변압기에 대한 전체적인 고장수량과 고장내용을 조사하였다.

조사된 고장 중에서 신품으로 운전이력이 1년이내인 초기고장과 오동작에 의하여 발생한 고장, 고장 후 10년이상이 경과되어 고장당시의 이력에 대한 정밀 추적이 곤란한 83년 이전의 고장을 제거한 139건의 고장 변압기에 대한 년도별 고장수량을 조사한 것을 그림 1에 나타내었다. 연간 고장수량은 80년대 중반의 평균 10건에서 90년대에는 2배가량 증가하였으나, 연간 고장율은 1988년의 4%를 제외하고는 2%에서 3%근처로 거의 일정하게 나타났다.

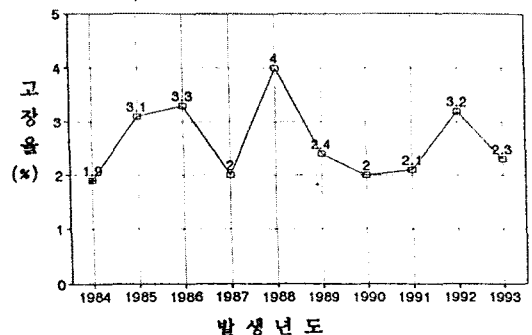


그림 1. 전력용 변압기의 년평균 고장율

이 고장 변압기 139대에 대한 정밀조사를 실시하기 위하여 설문지를 각 전력관리처로 배포하고 방문하여 조사한 결과 109건의 내용이 파악되었다. 조사된 고장의 특징을 살펴본 결과, 고장부위별로 분류하여 보면 권선부 고장이 74대로 67.9%, 탭 절환기부 고장이 19대, 주회로 및 제어부고장이 9대, 기타부위가 7대로 나타났다.

고장원인별로 분류하면 자연열화가 15대로 15.5%, 설비 불완전 고장이 62대로 64%, 외부 고장이 16대, 6대의 기타고장이 있었다.

운전기간별 특징으로는 운전경력 1년 이하의 고장은 모두 설비불완전 고장으로서 1차권선에서 발생되었다. 1년 이상 10년 이하의 운전경력을 지닌 고장은 대부분 설비불완전 고장으로서 1차권선, 2차권선 및 탭 절환기 고장이 대부분을 차지한다. 또한 운전경력이 10년 이상인 고장은 고장부위와 고장원인이 다양하게 나타났다.

2-3. 건전기기 조사

기기의 특성을 분석하려면 건전한 변전기기들이 지니고 있는 운전상태와 고장난 기기와의 통계적 분석이 필요하다. 건전 변압기에 대한 자료들을 조사하기 위하여 각 전력관리처별로 1개 전력소를 샘플하여 98대의 운전 및 보수 이력상태가 조사되었다.

조사된 내용중 가스분석내용별 및 점검회수별 상태를 살펴본 결과, 각변압기 절연유 가스분석 총시험회수는 10회로 나타났고 년평균 시험회수는 1.1회로 나타났다. 가스분석 중요주의 발생건수는 1.4회, 년평균 중요주의 발생건수는 0.15회로 나타났다. 가스분석 중이상 발생건수는 0.37회, 년평균 이상 발생건수는 0.03회로 나타났다. 이로 미루어 볼 때 가스분석 7회당 1회의 중요주의 발생가스가 나타났고, 중요주의 발생 4-5회당 1회의 이상가스가 검출되었던 것을 알 수 있다.

각변압기에서 보통점검회수는 2.78회로 나타났고 보통점검 년평균 회수는 0.32회로 나타났으며, 정밀점검회수는 0.53회로 나타났고 정밀점검 년평균 회수는 0.05회로 나타났으며, 경보수회수는 1.92회로 나타났고 경보수 년평균 회수는 0.22회로 나타났다. 또한 337회의 보통 및 정밀점검결과 정상으로 나타난 것이 214회로 63.5%를 차지하고, 외부일반부위의 청소 및 도색이 42회로 12.5%이며, 붓싱류 수리가 20회로 6%를 차지하고 있다.

3. 운전수명 특성의 통계적 분석 및 고찰

기기의 신뢰도를 평가하는 일반적 척도로는 평균고장수명, 평균고장간격, 순시고장율, 잔존율 등이 있고, 이들 외에 고장기기의 상태를 분석하기 위하여는 통계적 방법을 이용하여 기기들의 상태를 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 신뢰성있는 통계 패키지 프로그램인 Statistical Analysis System(SAS) 소프트웨어 및 Hazard 분석방법을 이용한 Weibull 분포로 전력용 변압기 운전수명 특성을 파악하였다.

3-1. Weibull을 이용한 운전수명 특성 분석

수명평가 시험시 경우에 따라서 공시시험중 일부는 시험의 파괴결과가 얻어지지 못하는 단계에서 시험을 중지해야 되는 일이 발생한다. 이와같이 불완전한 데이터나 중도에 중지된 데이터 등을 유효하게 수명추정에 이용하기 위하여 사용하는 분석방법으로 Hazard 해석법이 있다. 이 방법을 이용한 고장율 $\lambda(t)$ 와 신뢰도 $R(t)$ 는 Weibull

분포에서 다음과 같이 나타난다.

$R(t)$ 와 $\lambda(t)$ 의 관계는 다음과 같이 나타난다.

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$$

이 지수부분을 누적 Hazard $H(t)$ 라 부른다.

$$H(t) = \int_0^t \lambda(x) dx$$

본 논문에서는 자료의 속성상 Hazard 해석법을 이용하기 위하여, 93년말을 기점으로한 전체 전력용 변압기에서 1년이하의 운전기간에서 고장난 변압기를 제외한 788대에 대한 운전년수를 조사하였다. Hazard 분석을 수행하기 위하여는 운전시간에 따라 전체 변압기를 순서적으로 배열한 후 고장난 기기에 대한 계산을 실시하였다. 계산된 변압기의 Hazard와 누적 Hazard를 이용하여 Weibull 분포특성을 나타낸 것이 그림2이다.

그림2에서 나타난 특징을 살펴보면 누적파괴 확율이 63.2%에 해당하는 운전기간이 490개월(40.8년)로 나타났으며, 초기고장 구간인 36개월까지의 결과를 제외한 내용에서는 누적파괴 확율이 63.2%에 해당하는 운전기간이 536개월(44.6년)로 나타났다. 그러므로 국내에서 사용중인 변압기의 파괴기준점(파괴수명)은 누적파괴 확율이 63.2%에 해당하는 운전기간인 42년으로 볼 수 있다.

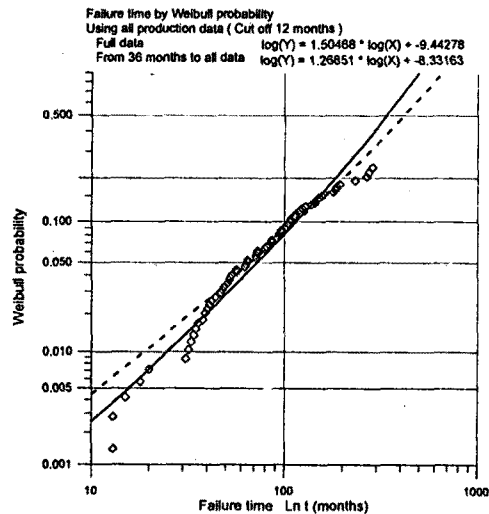


그림 2. 변압기의 운전시간과 Weibull 분포특성

3-2. SAS를 이용한 운전수명 특성 요인 분석

조사된 고장기기 및 건전기기 이력내용을 SAS로 분석하기 위하여는 필요한 자료를 얻기 위한 프로그램을 작성한 후 조사내용을 입력하여 Dataset을 만들고 필요한 결과를 출력한다. 조사된 자료중 운전기간등과 같은 분석변수(Analysis Variable)를 통하여 각종 평균값과 표준편차등의 통계량을 구하였고, 이자료들을 범주화자료(Categorical Data)로 변형시켜 빈도표나 교차표 형식으로 결과를 얻었으며, 이를 근간으로하는 각종 범주형 자료 분석에 관한 통계량들을 구하였다.

특히 본 논문에서 나타난 것과 같은 범주형 자료의 분석검정방법중 두 분류변수 사이의 관련성을 검정하는 독립성 검정을 실시하였다. 이는 표본의 정보를 이용하여 모집단에 대한 추측 하는 가설검정(Hypothesis Testing)

으로 기본적으로 인정되는 가설인 영가설과 자료로부터 얻어진 증거에 의하여 입증하고자하는 가설인 대립가설을 설정하여 모집단에 대한 추측을 판정하는 통계적 검정과 같다.

본 논문에서는 고장자료와 견전자료 내용을 제작사별, 국산 및 외산별, 변압기 전체를 동일 lot로 한 경우에 대하여 전체 조사된 자료의 통계분석과 독립성 검정을 다음과 같이 실시하였다. 운전기간별 부하형태, 운전기간별 고장원인과 고장부위, 운전기간별 이상발생회수, 운전기간별 탭절환기 동작회수, 가스분석 시험회수별 요주의 판정회수와 이상 판정회수, 고장원인별 탭절환기 동작회수와 부하형태 등 총 400여 항목에 대하여 실시한 분할표와 독립성 검정결과의 예를 표1에 나타내었다.

표 1. 운전기간별 가스분석 총시험회수 독립성검정 결과

	-5회	6-10회	11회이상	· 계
-5년이내	6	1	0	7
-10년	11	19	17	47
-15년	2	7	14	23
-20년	2	4	11	17
계	21	31	42	94

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	6	24.178	0.000

표1의 가설검정치인 χ^2 통계량을 살펴보면, 유의확률 값이 0.000이므로 두 변수는 상호 관련성이 있는 것을 나타낸다. 400여 항목의 독립성 검정결과 60여 항목에서 상관성을 보였으나, 이들중 수명과 관련되어진 Parameter는 다음 3가지로 고려되어 진다.

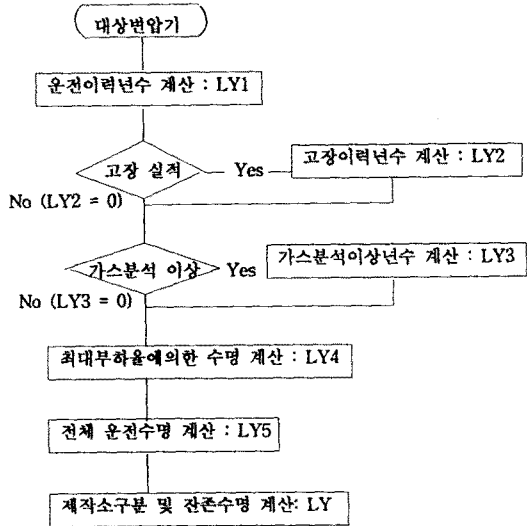
- ① 고장유무 및 고장회수
- ② 절연유 가스분석 이상회수
- ③ 평균부하율과 최대부하율

3-3. 운전수명 도출을 위한 계산방법 제시

앞서 언급된 변압기의 파괴수명과 수명관련 Parameter를 이용하여 잔존수명을 계산하기 위하여는 각수명 관련 Parameter가 변압기에 미치는 영향정도를 계산하여 고려하여야 한다.

본 연구결과 얻어진 내용을 토대로 하여 제안하고자 하는 변압기의 수명진단식은 다음과 같으며, 잔존수명을 계산하는 방법을 그림 3에 나타내었다.

변압기 수명 = 파괴수명(계산가능 최소 lot 구분)
 - 고장유무 및 고장회수 관련 수명
 - 절연유 가스분석 이상 관련 수명
 - 평균부하율과 최대부하율 관련 수명



LY1 = 현재년월 - 운전개시년월 - 운전정지년월
 LY2 = 중고장회수 x A + 경미고장회수 x B (Max. : C)
 LY3 = 가스분석이상회수 x D (Max. : E)
 LY4 = 최대(평균)부하율 F% 이상 개월수 x H + 최대(평균)부하율 G% 이상 개월수 x I (Max. : J)
 LY5 = LY1 + LY2 + LY3 + LY4
 LY = 변압기 해당 Lot 파괴수명 - LY5

그림 3. 변압기 잔존수명 계산 프로그램 흐름도

4. 결론

- 1) Hazard이론을 고려한 Weibull 분포특성에서 누적파괴 확률 63.2%에 해당되는 국내 변압기 전체의 파괴기준점은 42년으로 산출되었다.
- 2) 상관도 분석(Chi-square) 결과 변압기의 수명과 관련된 Parameter를 도출하였다. 이들 항목은 고장유무 및 고장회수, 절연유 가스분석 이상회수 및 평균부하율과 최대부하율인 것으로 나타났다.
- 3) 각 변압기의 수명을 파악하는 운전수명 도출을 위한 계산방법 제시하였으나, 각각 수명 관련 Parameter가 변압기에 미치는 영향정도를 계산하는 기법에 관한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

5. 참고문헌

- 1) 강동식, 김광화 외, "전력용 변압기의 고장 및 수명에 관한 통계적 분석", 대한전기학회 방전 및 고전압 연구회 춘계논문집, 1995.
- 2) 박경수, "신뢰성 개념", 영지문화사, 1993.
- 3) 김우철 외, "현대통계학", 영지문화사, 1993.
- 4) 일본전기협동연구회, "전력유통설비의 운용·보수의 신발전", 전기협동연구 제46권 제5호, 1990.12.
- 5) 전기설비진단.경신기술조사전문위원회, "전기설비진단.경신기술에관한 조사보고", 일본전기학회기술보고(II) 부 제376호, 1991.7.