

## 고압회전기 진단데이터의 통계적분석

김현일\*, 장정호\*, 이성훈\*, 변두균\*, 오봉근\*, 선종호\*\*

\*한국수자원공사, \*\*한국전기연구원

### Statistical Analysis of Diagnosis Data for High Voltage Rotation Machine

H. I. Kim\*, J. H. Jang\*, S. H. Lee\*, D. G. Byun\*, K. H. Lee\*, J. H. Sun\*\*

\*K-Water, \*\*KERI

**Abstract** - 본 연구에서는 한국수자원공사 고압회전기 고정자권선 절연체의 진단데이터에 대한 통계적 분석연구에 관하여 설명하고 있다. 10년 이상 수집된 진단데이터를 사용하여 와이블 함수를 이용한 누적확률을 구하였으며, 그 결과로부터 각 진단항목에 대하여 정상모수와 절연상태를 판정하는 진단기준치를 제시하였다. 그 결과로 수력발전기의 대지간 전압에 대한 부분방전량의 기준값으로 10,000pC이하를 제시하였다.

#### 1. 서 론

고도의 정보화 사회의 확대에 수반하여 전력의 안정공급의 중요성은 더욱 더 높아지고 있다. 이에 따라 전기설비의 신뢰성에 대한 요구는 점차 증가하고 있으며 순간의 정전도 허용되지 않고 있다. 한국수자원공사의 고압 유도전동기나 수력발전기와 같은 고압회전기는 수돗물공급 및 전력생산등을 위한 전력설비로서 해당기기의 고장 발생시에는 수돗물 공급의 중단 및 전력공급의 중단과 같은 공공기능에 막대한 지장을 초래할 것이다. 그러므로 이러한 고장을 예방하고 고장비용을 저감시키기 위해서는 신뢰성 있는 진단 및 유지보수가 수행되어야 한다.

고압회전기의 고장은 구성기기별로 고정자와 회전자 그리고 고장종류별로 절연이나 철심 이상과 같은 전기적 고장과 축이나 베어링고장과 같은 기계적 고장으로 분류할 수 있다. 이 중 고정자 권선의 절연고장은 발생빈도가 높고 고장의 심각성면에서 가장 중요한 고장이며 또한 발전기의 수명을 결정하는 고장으로 알려져 왔다. 이와 같은 고정자 권선 절연사고의 중요성 때문에 고압회전기를 제작 또는 사용하거나 전력을 생산하는 기관에서는 기기의 열화상태를 판정하기 위한 진단업무를 수행하고 있다. 고압회전기 절연 열화 진단 절차는 측정과 평가로 구성되며, 따라서 상태를 정확히 판정하기 위해서는 각 측정요소에 대하여 정확한 측정이 이루어 져야 하고 판정기준치의 신뢰성이 높아야 한다. 전 세계적으로 인정받고 있는 국제규격이나 전력기기 제작사 등[1-3]에서는 연구를 통하여 고정자 권선의 재료 성능 평가에서부터 진단시험방법 그리고 평가기준까지의 시험법을 개별적으로 정하여 사용하고 있지만 국내에서는 이러한 기준을 인용하여 사용하고 있는 실정이다. 그러나 고압회전기는 부하상태, 사용환경, 운영조건에 따라 열화율이 결정되기 때문에 측정이 정확하다는 가정하에 고압회전기 사용상태가 다른 조건에서 만들어진 진단기준을 사용하여 고압회전기의 오진율이 높아지고 그에 따라 진단에 따른 비용지출이나 고장비용은 높아지게 된다.

한국수자원공사에서는 이러한 고압회전기 고정자 권선의 열화상태를 진단하고 고장을 사전에 예방하기 위하여 지난 10년 이상 고압 전동기 및 수력발전기 고정자 권선의 열화진단을 수행하여 왔다. 본 연구에서는 수력발전기와 고압전동기와 같은 고압 회전기 고정자 권선 현장 실측 절연진단 데이터의 통계적 분석을 이용한 진단기준치 설정과정에 대하여 살펴보았다. 사용된 신뢰성 함수로서 매디안 랭크를 누적확률로 사용한 와이블 함수를 사용하였고 각 진단항목에 대하여 정상모수와 절연상태를 판정하는 진단기준치를 제시하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 고압회전기의 진단항목과 통계처리 방법

고압 회전기의 주절연 재료는 마이카에 결합체를 혼합하여 테이프 형태로 제작된 마이카 테이프를 사용한다. 결합체는 폴리에스터(polyester)와 에폭시(epoxy) 수지로 분류되는데, 습기와 화학 성분에 대한 내구성, 기계적 및 절연특성이 우수하여 대부분의 고압전동기 제작 업체가 에폭시를 사용하고 있다. 이러한 절연시스템은 장시간 사용됨에 따라 전기적, 열적, 기계적으로 열화되고 그에 따라 보이드, 박리, 균열, 산화와 같은 결합 현상이 발생하게 된다. 고전압 회전기의 장시간 사용은 결합에 부분방전과 누설전류를 증가시키고 최종적으로 절연을 파괴시킨다. 따라서 부분방전이나 누설전류의 측정으로 절연 열화 정도

를 판정할 수 있고 이를 위한 진단 항목으로 부분방전은 규정전압에서의 최대 부분방전량, 부분방전 개시전압 및 소멸전압 그리고 누설전류로는 직류 성극지수, 유전손실, 교류전류 증가분 등이 있다. 이러한 진단시험을 통하여 절연열화의 정확한 진단을 위해서는 각 진단 항목의 신뢰성 있는 기준치가 필요하다.

일반적으로 진단항목의 기준치는 모델고정자 권선이나 실 권선을 가속열화 시키면서 측정된 진단항목 데이터의 변화경향과 열화상태의 관계로부터 또는 현장에서 실제 측정된 진단항목 데이터의 평균치를 통계적 절차를 통하여 구한 후 평균치와의 비교로부터 구하게 된다[4]. 본 연구에서는 현장데이터의 통계적 분석 절차를 통하여 진단기준치를 설정하는 방법을 사용하고자 한다. 통계적 분포함수로서 진단 데이터에 대한 분포형태를 알 수 있는 와이블 함수를 사용하고자 하며 진단 데이터에 대한 평균 누적확률 분포를 구하고 평균 누적확률을 기준으로 각 진단항목에 대한 정상치와 비정상치를 결정하였다. 다음은 와이블함수의 누적 확률함수를 보여주고 있다.

$$F(E) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{E - E_1}{E_s}\right)^m\right] \quad (E \geq E_1)$$

$$= 0 \quad (E < E_1)$$

여기서,  $E$  : 진단데이터

$E_1$  : 위치모수(일반적으로 0)

$E_s$  : 척도모수,  $m$  : 형상모수

형상모수 : 진단데이터 크기 분포유형분석

척도모수 : 평균 진단데이터 분석

위치모수 : 최저 진단데이터 분석

진단 데이터 누적확률식은 다음과 같이 매디안 랭크법을 사용하여 누적확률 50%를 평균치로 사용하였다.

$$P = \frac{r - 0.3}{n + 0.4}$$

$P$ : 누적확률,  $r$ :  $r$ 번째 진단데이터,  $n$ : 진단데이터 수

정상치와 비정상치를 구분하는 누적확률은 전체 데이터 중 평균치에 해당되는 50%를 기준으로 평균치보다 양호한 값은 정상으로 평균치보다 좋지 않은 값은 이상으로 구분하였으며 또한 평균이상인 값 중 전체에서 특성이 좋지 않은 측정치 중 상위 5%정도는 매우 이상이 있는 값으로 분류하여 불량으로 판정하였다. 진단기준치가 결정되는 회전기의 종류는 발전기와 전동기로 구분되며 전동기는 다시 3.3kV급과 6.6kV급으로 구분된다. 또한 진단데이터 분석위에 사용시간에 대한 각 진단항목의 데이터 분포경향도 조사되었다.

##### 2.2 진단데이터의 확률분포

앞에서 설명된 와이블 확률분포를 사용하여 각 진단항목의 진단데이터에 대한 통계적 분포를 구하였다. 그 예로서 그림 1은 약 10년 동안 수집된 한국수자원공사 수력발전기의 대지간 전압에서의 부분방전량의 와이블 분포를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 평균 부분방전량은 약 9,000pC으로 나타나고 있고, 누적확률 95%에서의 부분방전량은 24,000pC으로 계산되고 있다. 이와 같은 계산결과를 통하여 본 연구에서는 수자원 공사 수력발전기의 대지간 전압에서의 부분방전량 기준을 정상치는 10,000pC이하, 주의는 10,000pC에서 25,000pC 그리고 불량은 25,000pC 이상으로 하였다.

그림 2는 수력발전기 부분방전량의 형상모수를 보여주고 있다. 그림 2에서와 같이 형상모수는 약 1이며 이는 진단데이터의 크기에 대한 확률 밀도함수가 지수함수를 취하므로 작은 부분방전량의 수가 많으며 크기가 증가 할수록 지수함수 형태로 급격히 감소하다가 일정한 값으로 포화하는 향상을 보이게 된다. 또한 그림 3은 발전기 경년별 부분방전

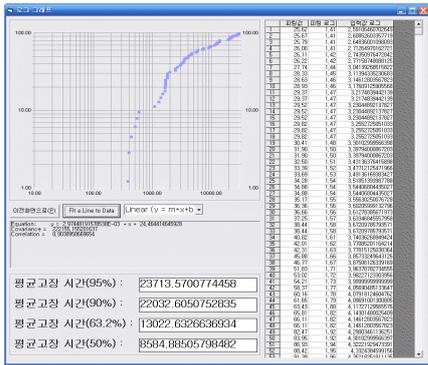
크기를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 경년에 대하여 뚜렷한 증가 경향을 보이지 않지만 어느 정도의 증가경향도 나타나고 있다.

### 3. 결 론

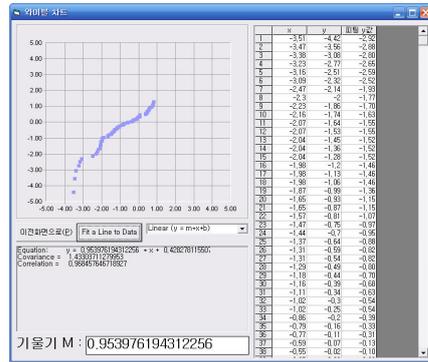
본 연구에서는 수력발전기 및 고압전동기와 같은 고압 회전기의 고정자 권선에 대한 현장 실측 절연진단 데이터를 이용한 통계적 분석을 통하여 진단기준치 설정과정에 대하여 살펴보았다. 신뢰성 함수로서 매디안 랭크의 누적확률을 사용하여 와이블 함수 구현하였고 각 진단항목에 대하여 형상모수와 누적확률 50%와 95%를 기준으로 절연상태를 판정하는 진단기준치를 제시하였다. 그 결과로서 수력발전기 부분방전의 경우 정상은 10,000pC 이하, 주의는 10,000 ~ 25,000pC 및 불량은 25,000pC 초과로 기준치를 제시하였다. 향후 설정된 진단 기준치의 신뢰성을 높이기 위하여 열화상태와 진단기준치와의 상관관계를 검증할 수 있는 연구의 수행이 요구된다.

### [참 고 문 헌]

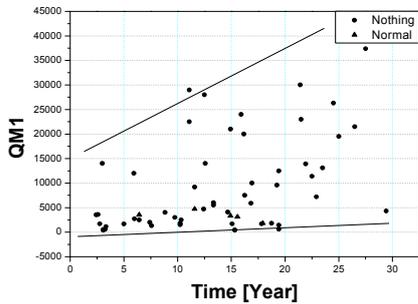
- [1] 일본 전력중앙연구소보고, “합성레진 절연발전기권선의 절연열화관정법”, 연구보고 W88046, 1989. 6
- [2] ANSI/IEEE C57.104-1978, “Guide for the detection and determination of generated gases in oil-immersed transformer and their relation to the serviceability of the equipment”
- [3] IEEE Std 56-1958, “IEEE Guide for Insulation Maintenance for Large AC Rotating Machinery”
- [4] IEC 60599, “Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis”, 2007-05



<그림 1> 발전기 부분방전량의 와이블 분포



<그림 2> 부분방전량의 형상모수



<그림 3> 발전기의 경년별 부분방전량 경향

이와 같은 방법으로 와이블 함수를 이용하여 각 진단항목의 진단 기준치를 정리하면 표 1과 같다. 향후 실제 열화상태와 진단기준치와의 상관관계를 검증할 수 있는 연구의 수행을 통하여 표 1과 같이 설정된 진단 기준치의 신뢰성을 높일 필요가 있다.

<표 1> 설정된 수력발전기 진단기준

발전기	PI	tanδ0	Δtanδ1	Δtanδ2	QM1	QM2	DIV	DEV	
95%	3.413	2.827	1.582	2.007	23713.570	38016.852	2.262	1.862	
90%	3.597	2.670	1.493	1.949	22032.605	35453.864	2.370	1.957	
63.2%	5.076	1.829	1.014	1.639	13022.633	21716.248	3.175	2.703	
50%	6.369	1.415	0.778	1.487	8584.885	14949.960	3.817	3.333	
판정 기준	양호	PI > 5	1.5 > tanδ0	1 > Δtanδ1	1.5 > Δtanδ1	10000 > QM1	15000 > QM2		
	주의	3 < PI < 5	1.5 < tanδ0 < 2.5	1 < Δtanδ1 < 1.5	10000 < QM1 < 25000	15000 < QM2 < 40000			
	불량	3 > PI	2.5 < tanδ0	1.5 < Δtanδ1	2 < Δtanδ1	25000 < QM1	40000 < QM2		