

대형모터 절연상태 판정기준 및 절연보강 방안 연구

김 영 규, 박 덕 규, 송 영 철, 김 현 일  
수자원연구소

A study on the Insulation Condition Evaluation and Insulation Reinforced Method of Large Motors

Young-Kyu, Kim Duk-Kyu, Park\* Young-Cheol, Song Hyeon-Il, Kim  
Water Resources Research Institute

**ABSTRACT** - This is the first report of a series of field test result of large high voltage generator & motors. Major specimens were 6.6/13.2kV class hydronic power & pump motor that was installed and operated for public water service by KOWACO(KOrea Water resources COperation). The capacity of specimen generator & motors were in range of several hundred kVA~50MVA. Until now, we get the 100 field test result by testing technique discribed in IEEE standards and Discharge map technique from Japanese manufactures. The test result was varied very wide range, and there was a tendency according to insulation material and manufacture.

본 논문은 고압 전력기기인 대형모터에 대해 현장에서 정밀 진단한 것으로 주로 6.6/3.3kV급을 대상으로 하였으며, 수백 kW ~ 5MW까지의 용량을 지니고 있는 것으로 현재 수자원공사 각 현장에서 설치 운용되고 있는 설비이다. 진단결과 값이 제조업체, 사용재료 등에 의한 절연값이 다양하게 그리고 넓은 범위로 나타났으며, 판정기법은 IEEE<sup>1)</sup> 기준과 일본 제조업체에서 개발한 Discharge-map를 이용하였으며 '99년까지 100여 개소에 대하여 진단을 실시하였다.

1. 서론

1.1. 연구목적

일본, 미국, 스웨덴 등 선진기술에서는 전력설비에 대한 진단기술이 70년대 초부터 개발 실용화되었고 이를 토대로 국내에서도 일부 국내설비에 진단을 실시하고 있으나 외국의 연구자료에 의한 진단 및 판정기준이 국내설비 적용에 문제가 없는지 검증되지 않아 이를 규명하는 것이 매우 중요하다. 따라서 고전압(3.3kV 이상)설비가 580여 개소

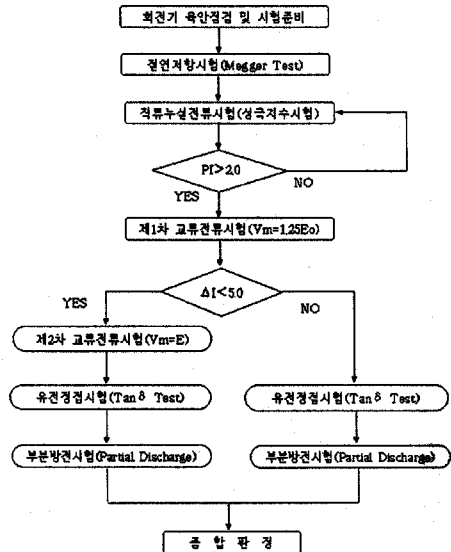
정도로 비교적 많이 보유하고 있는 수자원공사는 노후설비의 증가와 더불어 설비의 시설 대체시기 도래로 진단의 필요성이 크게 요구되고 이러한 설비를 대상으로 현재까지 국내의적으로 연구된 진단 및 판정기준을 현장 적용하여 그 실용성과 문제점에 대한 대책을 연구코자 한다.

2. 본 론

2.1. 진단시험항목

구 분	진 단 항 목	비 고
고압모터	절연저항측정시험, 직류누설전류측정시험, 직류저항측정시험, 교류전류시험, tan δ 시험, 부분방전시험.	6

2.2. 진단시험 기본절차



1) IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineers

### 2.3. 종합 판정 기준

#### 2.3.1 판정 기준표

비파괴측정치	권선의 정격전압 (kV)		
	3.3kV	6.6kV	11kV
PI	> 2.0	> 2.0	> 2.0
PI2(kV)	> 4.58	> 8.55	> 13.86
$\Delta \tan \delta$ (%)	< 0.7	< 6.5	< 6.5
$\Delta I$ (%)	< 4.0	< 8.5	< 12.0
Qm(pC)	< 10.000	< 10.000	< 10.000

#### 2.3.2. 판정 기법

교류전류 시험에서 PI2가 확실하게 정격전압 이내에 있는 경우에는 권선이 운전 전에 필요한 절연내력을 보유하고 있지 않는 것으로 한다. PI2가 정격전압 이내에 있지 않는 경우에는 다음 사항에 해당하면 권선이 운전 전에 필요한 절연내력을 보유하고 있는 것으로 한다.

- 1) 정격전압 3.3kV 권선에서는  $\Delta \tan \delta$  및  $\Delta I$  중 1개 이상이 위 값을 만족할 경우
- 2) 정격전압 6.6kV 및 11kV 권선에서는  $\Delta \tan \delta$ ,  $\Delta I$ , Qm 중 2개 이상이 위 값을 만족할 경우

### 2.4. 현장 모터 진단 및 분석사례

#### 2.4.1. 진단항목별 판정기준에 의한 평가

##### ① A군 모터

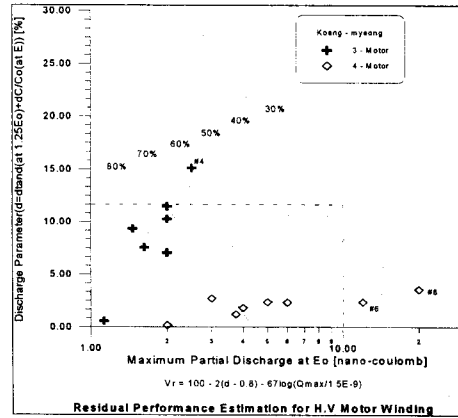
특성치	측정조건	임계판정 기준	표기별 시험 결과						
			1	2	4	5	6	7	
Roadtest(M)	(SW 40℃)	>10-(B+1)	2.144	2.040	1.360	473	1.776	430	
PI	1/10분	>2.0	6.21	5.28	6.14	3.99	5.33	4.55	
$\tan \delta$ (%)	at 2kV	<10	4.06	5.91	3.94	5.16	4.50	3.16	
$\Delta \tan \delta$ (%)	at 1.25SE	<2.5	8.38	4.48	8.58	3.80	4.84	0.56	
P <sub>eff</sub> (W)		>E	-	-	4.16	-	-	-	
$\Delta I$ (%)	at E	<8.5	4.21	7.38	9.59	6.69	4.52	0	
Q <sub>m</sub> (pC)	at E <sub>0</sub>	<10*	1.625	2.000	2.500	2.900	1.465	1.124	
상대평가			B	C	D	C	C	A	

\* 7호기('98. 3) 재권선 모터

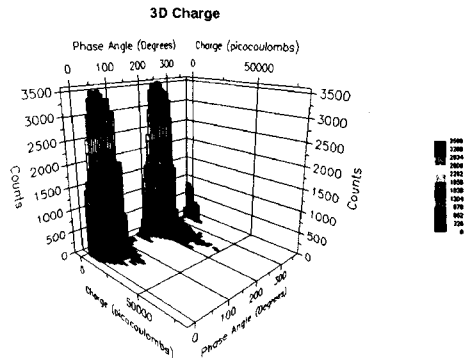
##### ② B군 모터

특성치	측정조건	임계판정 기준	표기별 시험 결과						
			1	2	4	5	6	7	
Roadtest(M2)	<SW 40℃	>10-(B+1)	716	3,600	437	756	809	1,873	
PI	1/10분	>2.0	4.54	5.17	4.54	4.96	3.96	3.72	
$\tan \delta$ (%)	at 2kV	<10	1.30	0.74	2.06	1.87	0.90	0.49	
$\Delta \tan \delta$ (%)	at 1.25SE	<2.5	0.39	0.26	0.83	0.51	0.78	0.39	
P <sub>eff</sub> (W)		>E	-	-	-	-	-	-	
$\Delta I$ (%)	at E	<10	1.44	0.96	1.90	1.83	1.60	1.39	
Q <sub>m</sub> (pC)	at E <sub>0</sub>	<10*	4,000	3,746	3,000	6,000	12,000	5,000	
상대평가			A	B	A	A	B	B	

#### 2.4.2. D-map에 의한 분석평가



#### 2.4.3. 부분방전 특성



### 2.5. 절연보수 및 보강 사례

신설 설비인데도 불구하고 절연특성 값이 아주 나쁘게 나타난 경우로 절연보강을 시도한 사례

#### [A모타]

구분	현지측정	새측, 건조 후측정	진공합침 후측정	비고
$\Delta I(\%)$	12.1	13.0	11.3	
$\tan \delta_o(\%)$	3.56	1.23	0.50	at 2000V
$\tan \delta_g(\%)$	11.62	11.11	9.91	at 6600V
$\Delta \tan \delta(\%)$	8.06	9.88	9.41	$\tan \delta_g - \tan \delta_o$
Qm(pC)	10000	11200	9500	at $E_0$

#### [B모타]

구분	현지측정	새측, 건조 후측정	진공합침 후측정	비고
$\Delta I(\%)$	10.4	14.3	9.9	
$\tan \delta_o(\%)$	3.82	0.81	0.47	at 2000V
$\tan \delta_g(\%)$	11.92	11.32	10.08	at 6600V
$\Delta \tan \delta(\%)$	8.10	10.51	9.61	$\tan \delta_g - \tan \delta_o$
Qm(pC)	4,000	4,500	3,800	at $E_0$

### 3. 결론

국내외적으로 연구 발표된 진단 판정기준을 수자원공사가 운영관리 하고 있는 고압모타에 적용하여 본 결과 설비별 예상되는 노후 정도와 상당히 일치하는 경향을 보여 적용에는 별다른 문제점이 없는 것으로 보이나, 보다 정확한 진단과 기술 축적을 위해 다음과 같은 개선이 필요하다.

첫째 한번 제작된 모타가 절연열화되면 재권선을 하지 않는 한 근본적인 절연보강이 어렵기 때문에 제작공정부터 절연특성에 대한 품질관리가 필요하며,

둘째 통상적으로 전압 구분없이 상전압 기준으로 판정값(10,000pC)이 일정하게 적용되는 부분방전량에 대하여 사용기기 전압별로 적용을 달리하는 것이 보다 실용적인 것으로 나타났다.

따라서 노후설비 절연특성 한계 기준값 및 신설 또는 재권선 모타 절연특성 판정기준값을 제시하여 대형모타 제작부터 수명한계까지의 품질관리 방안에 도움을 주고자 한다.

또한 사고모타 및 노후모타 절연파괴시험을 통해 얻은 경험으로 보다 효과적인 절연보강방안을 제시 하고자 한다.

### 3.1. 노후모타 열화 한계 판정기준값

측정항목	정격전압(E)	권선의 정격전압(kV)			
		별 기준 값			
		3.3 kV	6.6 kV	11 kV	
직류누설전류시험 (PI)	1~5kV	> 2.0	> 2.0	> 2.0	
교류전류시험	$\Delta I(\%)$	E kV	< 4.0	< 8.5	< 12.0
유전정점시험	$\Delta \tan \delta(\%)$	E kV	< 0.7	< 6.5	< 6.5
부분방전시험	Qm(pC)	$E/\sqrt{3}$ kV	-	-	< 10,000
		4.5 kV	-	-	< 10,000
		E kV	< 5,000	-	-

### 3.2. 신규 또는 재권선모타 판정기준값

측정항목	정격전압(E)	권선의 정격전압(kV)			
		별 기준 값			
		3.3 kV	6.6 kV	11 kV	
직류누설전류시험 (PI)	1~5kV	> 2.0	> 2.0	> 2.0	
교류전류시험	$\Delta I(\%)$	E kV	< 3.0	< 6.0	< 8.5
유전정점시험	$\Delta \tan \delta(\%)$	E kV	< 0.5	< 4.5	< 4.5
부분방전시험	Qm(pC)	$E/\sqrt{3}$ kV	-	-	< 7,000
		4.5 kV	-	-	< 7,000
		E kV	< 3,500	-	-

### 3.3. 절연보강 방안

앞에서 절연보강을 시도한 일례에서 현장 진단과 세척 후 진단의  $\tan \delta$  값이 현격하게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 운전중 Oil, 먼지 등에 오염된 경우 절연물의 고유성질을 나타내는  $\tan \delta$  값이 높아지는 예로서, 권선의 세척이 절연강화 방안이 됨을 알 수 있다. 또한 노후모타 권선 절연파괴 시험에서 절연파괴 되는 부분이 주로 coil의 곡각 부분으로 이곳이 기계적 부하 및 전기적 자장집중현상에 의한 곳으로 반도체성 paint를 도포 할 경우 절연파괴전압이 낮아지는 결과가 나타났다. 따라서 절연보강방안으로 기존에 주로 사용하고 있는 바니쉬 처리, 세척 등과 함께 곡각부 반도체성 paint 도포는 절연보강의 중요방안으로 권장된다.

#### [참고문헌]

- [1] 한국수자원공사·한국전기연구소, "전력기기 절연수명 진단시험기술 연구", 1997.02
- [2] 한국수자원공사, "특별고압회전기 및 케이블의 절연열화 진단연구", 1990.11
- [3] 한국수자원공사, "99 고전압설비 정밀절연진단결과 종합보고서", 2000.3