

4.16kV 전동기 고정자 권선의 절연열화 특성

김희동, 공태식
한전 전력연구원

Characteristics of Insulation Aging in 4.16kV Motor Stator Windings

Hee-Dong Kim and Tae-Sik Kong
KEPCO Korea Electric Power Research Institute

Abstract- Nondestructive tests were performed on two 4.16kV motors. Epoxy-mica coupler(80pF) was connected to 4.16 kV motor stator windings. The voltage applied to the stator windings was 2.4 kV, 3.0kV, 3.5kV and 4.16kV, respectively. Digital partial discharge detector(PDD) and turbine generator analyzer(TGA) were used to measure partial discharge(PD) activity. TGA summarizes each plot with two quantities such as the normalized quantity number(NQN) and the peak PD magnitude(Qm). The PD levels in pC were measured with PDD. PD patterns of stator windings were indicated the internal discharge. PD patterns are consistent with the result of measurement using PDD and TGA.

No. 2는 절연과피 전압이 각각 12.4kV와 5.6kV로 나타났다. 따라서 No. 2 전동기 고정자 권선의 교체 판정은 적절한 것으로 판단할 수 있다.

1. 서 론

고압전동기 고정자 권선에 존재하는 결함여부를 사전에 확인하기 위해 정지중(off-line)과 운전중(on-line)에 부분방전 특성을 측정하고 있다[1, 2]. 결함 종류에 따라 내부방전, 슬롯방전 및 표면방전 등과 같은 부분방전 패턴이 나타나며, 분석을 통해 절연열화 정도를 판정할 수 있다. 고압전동기 고정자 권선의 단자함에 에폭시-마이카 커플러(epoxy-mica coupler)를 설치하고 TGA(turbine generator analyzer)를 사용하여 운전중에 부분방전 크기와 패턴을 분석한다[3]. 따라서 고압전동기 정지중과 운전중에 여러 종류의 부분방전 패턴과 크기를 측정하여 비교 및 분석을 통해 고정자 권선에서 절연재료의 열화상태를 판정하는데 활용하고 있다.

<표 1> 고압전동기 고정자 권선의 절연진단 특성

고압 전동기	성극지수	$\Delta \tan \delta$ [%]	ΔI [%]	부분방전 크기[nC]
양호 판정기준	1.50 이상	4.0 이하	5.0 이하	5,000 이하
No. 1	2.77	1.84	2.61	2,700
No. 2	1.50	4.63	9.89	6,600

본 논문에서는 4.16kV 전동기 고정자 권선의 절연열화 상태를 분석하기 위해 정지중에 절연진단 시험을 수행하였다. 운전중 모의를 위해 고정자 권선에 80 pF의 에폭시-마이카 커플러를 설치하고 TGA를 사용하여 NQN(normalized quantity number), 부분방전 크기(Qm) 및 부분방전 패턴 등을 분석하였다.

<표 2> 고압전동기 부분방전 크기 및 패턴 분석

고압전동기		2.4kV	3.0kV	3.5kV	4.16kV
No.1	PD 크기[nC]	2.0~2.3	2.3~2.7	2.4~2.9	2.4~3.0
	PD 패턴	내부방전	내부방전	내부방전	내부방전
No.2	PD 크기[nC]	4.0~4.7	5.5~6.6	6.5~7.3	6.8~7.5
	PD 패턴	내부방전	내부방전	내부방전	내부방전

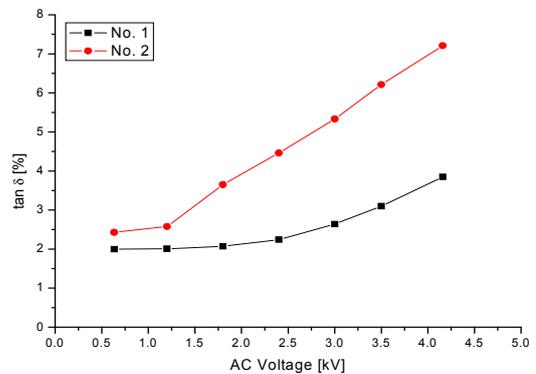
2. 시험방법

고압전동기 고정자 권선에서 교류전류와 유전정접 시험을 위해 셰링브리지(schering bridge, Tettex Instruments)를 사용하였다. 셰링브리지는 전원장치(HV supply, Type 5283), 브리지(bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(resonating inductor, Type 5285)로 구성되었다. 고압전동기 고정자 권선에 셰링브리지를 연결하여 전원장치에서 교류전압을 인가하면서 교류전류와 유전정접을 측정하였다. 그리고 고압전동기 고정자 권선에 전원장치를 연결하여 교류전압을 인가하면서 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4000pF)를 통해 유입된 신호를 커플링 유닛(coupling unit, Tettex Instruments, AKV 572)에 보내어 증폭한 후에 디지털 부분방전 측정기(Tettex Instruments, TE 571)에서 방전크기를 측정하였다. 운전중 모의를 위해 고압전동기에 에폭시-마이카 커플러(80pF, Iris Power Engineering)를 설치하였다. 그리고 TGA(Iris Power Engineering)를 사용하여 NQN, 최대부분방전 크기(Qm) 및 부분방전 패턴 등을 분석하여 절연열화 상태를 평가하였다. TGA의 주파수 대역은 0.1~350MHz이다.

표 2는 고압전동기 No. 1과 No. 2의 부분방전 크기 및 패턴을 나타내었다. 외부잡음은 각각 200pC과 220pC 정도이며, 부분방전 패턴은 내부방전으로 분석되었다. No. 1과 No. 2의 부분방전 개시전압은 각각 1.9kV와 1.0kV로 나타났다.

3. 시험결과 및 고찰

4.16kV 전동기 No. 1과 No. 2는 정격용량 600kW, 회전수 1187rpm, 절연등급 B종으로 동일한 제작사이며, 발전소에 설치되어 20년 이상 동안 운전하였다. 표 1은 4.16kV 전동기 2대의 성극지수, 유전정접, 교류전류 및 부분방전 크기 등을 나타내었다. 4.16kV 전동기 절연열화 판정기준에 의하면, No. 1은 양호하고 No. 2는 권선 교체로 판정되었다[4]. 4.16kV 전동기에서 운전에 필요한 최소의 절연내력은 2E+1kV, 즉 9.32kV에서 1분 이상 견뎌야 사용이 가능하다. 고압전동기 No. 1과



<그림 1> 고압전동기의 $\tan \delta$ -전압 특성

그림 1은 고압전동기 No. 1과 No. 2의 $\tan\delta$ -전압 특성을 나타내었다. No. 1의 유전정접은 1.8kV 이상에서 서서히 증가하고 있으며, No. 2의 유전정접은 1.2 kV 이상에서 급격하게 증가하고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 No. 1과 No. 2의 유전정접 증가점은 부분방전 개시전압 1.9kV, 1.0kV와 밀접한 관련성이 있다. 다시 말하면 $\tan\delta$ -전압 특성에서 유전정접이 급격하게 증가하는 전압이 부분방전 개시전압과 거의 일치하게 된다. 이 전압은 다시 교류전류-전압 특성에서 교류전류의 제1급증점과도 일치하게 된다. 따라서 고압전동기 고정자 권선이 절연열화됨에 따라 유전정접의 증가점, 교류전류의 제1급증점 및 부분방전 개시전압 등이 낮은 전압으로 이동하게 된다.

<표 3> 고압전동기 NQN과 Qm의 크기

고압전동기			2.4kV	3.0kV	3.5kV	4.16kV
No. 1	NQN	+	659	794	1227	1536
		-	682	848	1392	1364
	Qm	+	310	379	554	640
		-	288	413	650	550
No. 2	NQN	+	1654	1721	2003	2413
		-	2049	1817	2093	2343
	Qm	+	790	854	973	1079
		-	1112	939	1054	1166

표 3은 고압전동기 No. 1과 No. 2에서 인가전압을 각각 2.4kV, 3.0kV, 3.5kV 및 4.16kV로 증가시키면서 NQN과 Qm 크기를 나타내었다. 표 2에 나타낸 바와 같이 부분방전 크기(pC)와 마찬가지로 전압이 증가함에 따라 NQN과 Qm의 크기 증가하였다. 고압전동기 2대의 부분방전 패턴은 모두 Qm(+)와 Qm(-)가 거의 동일하기 때문에 내부방전을 나타내고 있다[5]. 따라서 정지중에 부분방전 측정기와 운전중 모의를 위해 고정자 권선에 80pF의 에폭시-마이카 커플러를 설치하고 TGA를 사용하여 측정된 부분방전 패턴이 상호 일치하고 있음을 확인하였다.

4. 결 론

고압전동기 No. 1은 성극지수, 유전정접, 교류전류, 부분방전 크기 및 절연과피 전압 등을 분석한 결과 절연상태가 양호하며, No. 2는 절연열화로 분석되어 권선 교체 판정이 적절한 것으로 평가되었다. $\tan\delta$ -전압 특성에서 유전정접이 급격하게 증가하는 부근의 전압이 부분방전 개시전압과 거의 일치하게 측정되었다. 정지중에 부분방전 측정기와 운전중 모의를 위해 고정자 권선에 80pF의 에폭시-마이카 커플러를 설치하고 TGA를 사용하여 분석한 결과 전압이 증가함에 따라 NQN과 Qm 크기가 증가되었다. 그리고 부분방전 측정기와 TGA를 사용하여 부분방전 패턴을 분석한 결과 내부방전으로 나타났으며, 두개의 측정 시스템이 상호 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std 1434-2000, IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery.
- [2] G. C. Stone and V. Warren, "Objective Methods to Interpret Partial-Discharge Data on Rotating- Machine Stator Windings", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 42, No. 1, pp. 195~200, 2006.
- [3] H. Zhu, V. Green, M. Sasic. and S. Halliburton, "Increased Sensitivity of Capacitive Couplers for In-Service PD Measurement in Rotating Machines", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, pp. 1184~1192, 1999.
- [4] 김희동, "4.16kV 및 6.6kV 전동기 고정자 권선의 절연열화 판정기준", 전기학회논문지, Vol. 58, No. 4, pp. 788~794, 2009.
- [5] G. C. Stone, Partial Discharge Seminar, Iris Power Engineering Inc., Vol. 1, pp. 56~78, 2005.